



Rationalisierungs-Kuratorium
für Landwirtschaft

Feldberegnung IV



Dr. Heinz Sourell

Mit Beiträgen von E. Fricke, G. Hennies, Dr. F. Höppner, F.-J. Löpmeier,
Dr. E.Lübbe, Prof. Dr. P.-J. Paschold, Dr. I. Pfleger, H.-H. Thörmann

Feldberechnung

September 2010

Dipl.-Ing. agr. Ekkehard **Fricke**, Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Johannsenstr. 10, 30159 Hannover

Dipl.-Met. Franz-Josef **Löpmeier**, Leiter des Deutschen Wetterdienstes, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung Braunschweig (ZAMF), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Prof. PD Dr. habil. Peter-J. **Paschold**, Forschungsanstalt Geisenheim - Fachgebietsleiter Gemüsebau, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim

Dr. rer. hort. Heinz **Sourell** und Hans-Heinrich **Thörmann**, Mitarbeiter im Inst. für Agrartechnologie und Biosystemtechnik (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Dr. Frank **Höppner**, Mitarbeiter im Inst. für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Dr. Eiko **Lübbe**, Leiter des Ref. 415 des BMELV, Rochusstraße 1, 53123 Bonn

Dr. Ingrid **Pfleger**, Mitarbeiterin der Thüringer Landesanstalt (TLL), Naumburger St. 98, 07743 Jena

Godehard **Hennies**, Geschäftsführer vom Wasserverbandstag Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt, Am Mittelfelde 169, 30519 Hannover

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110, Fax: 04331-7081120

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Feldberechnung

| | Seite |
|---|--------------|
| Vorwort (H.Sourell, E. Lübbe) | 502 |
| 1 Wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen/ Gesetzliche Vorgaben (G. Henniges) | 503 |
| 1.1 Anforderungen an die Qualität des Berechnungswassers (I. Pfleger) | 508 |
| 2 Berechnungsbedürftigkeit | 511 |
| 2.1 Klima (F.-J. Löpmeier) | 511 |
| 2.2 Boden (H. Sourell, H.-H. Thörmann) | 519 |
| 2.3 Pflanze (F. Höppner) | 523 |
| 3 Verfahren der Feldberechnung (H. Sourell und H.-H. Thörmann) | 534 |
| 3.1 Planung von Berechnungsanlagen | 534 |
| 3.2 Verfahren der Wasserbereitstellung | 537 |
| 3.3 Zuleitung | 544 |
| 3.4 Anlagenart der Berechnungsverfahren | 546 |
| 3.5 Verfahren der Wasserverteilung | 546 |
| 3.6 Kenndaten der Wasserverteilung | 561 |
| 3.7 Normen für die Bewässerungstechnik | 571 |
| 4 Beregnung und Stoffverlagerung (E. Fricke) | 574 |
| 4.1 Nährstoffversorgung | 575 |
| 4.2 Nährstoffverlagerung | 576 |
| 4.3 N_{\min} -Tiefenbohrungen | 578 |
| 4.4 Fazit | 579 |
| 5 Beregnungsplanung und Beregnungssteuerung (P.-J. Paschold) | 579 |
| 5.1 Wasser- und Bewässerungsbedarf | 581 |
| 5.2 Beregnungsplanung | 585 |
| 5.3 Bewässerungssteuerung | 586 |
| 6 Kapitalbedarf und Verfahrenskosten der Beregnung (H. Sourell, H.-H. Thörmann) | 594 |
| 6.1 Kosten der Wasserbereitstellung | 594 |
| 6.2 Zuleitung | 596 |
| 6.3 Beregnungsverfahren | 597 |
| 7 Wirtschaftlichkeit der Beregnung (E. Fricke) | 602 |

Vorwort

Feldberegnung ist für die Betriebe, die auf leichtem Boden wirtschaften, ein unverzichtbares Betriebsmittel zur Sicherung der Erträge und zur Verbesserung bzw. Erhaltung guter Qualitäten. Die Beregnungsfläche beträgt heute in Deutschland ca. 560.000 ha, das sind ca. 3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Die Ausdehnung der beregneten Fläche weist eine zunehmende Tendenz auf. Damit steigt der Druck auf die Grundwassernutzung durch die Landwirtschaft gegenüber anderen Nutzerinteressen in den entsprechenden Beregnungsschwerpunktgebieten. Die Landwirtschaft muss daher mit dem verfügbaren, aber auch teuren Betriebsmittel „Wasser“ möglichst sparsam umgehen. Deshalb werden u. a. künftig noch höhere Erwartungen an die Beregnungsverfahren hinsichtlich der Verteilgenauigkeit des Wassers gestellt als heute.

In der Entwicklung der Bewässerungstechnik sind während der letzten 40 Jahre entscheidende Fortschritte erzielt worden. Entsprechend der Forderungen der Landwirte nach besser regulierbaren Bewässerungsverfahren, nach weniger arbeitsintensiven Methoden und schließlich nach Verfahren, die eine möglichst günstige Wasserausnutzung gewährleisten und einen niedrigen Energiebedarf erfordern, ist heute bereits die dritte Generation von Bewässerungsverfahren im Einsatz. Von der Rohrberegnung erfolgte der Übergang zur mobilen Beregnungsmaschine sowie zur Tropf- bzw. mobilen Tropfbewässerung mit Ideen und Techniken zur teilflächenspezifischen Wasserverteilung.

Die bisherigen Auflagen dieses Buches haben ein reges Interesse und viel Zustimmung gefunden. In Einzelfragen sind uns auch kritische Anmerkungen und Hinweise auf wünschenswerte Ergänzungen zugegangen, für die die Autoren dankbar sind. Die Konzeption des Buches hat sich somit bewährt und ist beibehalten worden.

Einige Kapitel wurden, zum Teil unter Mitwirkung bislang nicht beteiligter Kollegen, erweitert oder überarbeitet. Wesentlich stärker ist jetzt das Fachwissen aus Landesanstalten, Fachhochschulen und der Beratung vertreten. Alle Beteiligten wünschen sich, dass auch die vierte Auflage allen, die in der Feldberegnung tätig oder an dieser Technik interessiert sind, eine gute Hilfe sein möge.

Der Herausgeber
Dr. Heinz Sourell

und

MinR Dr.-Ing Eiko Lübbe
Bundesministerium für Ernährung
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Ref. 415 Ländliche Infrastruktur

Braunschweig, Juni 2010

1 WASSERWIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN / GESETZLICHE VORGABEN

Godehard Hennies

Die Bundesrepublik Deutschland ist ein wasserreiches Land. Die verfügbaren Wasserressourcen, die sich jährlich erneuern, betragen etwa 188 Mrd. m³ Wasser. Nur 19 % dieser gewaltigen Wassermenge werden von unterschiedlichen Nutzern jährlich entnommen und gebraucht. So sind die Landwirtschaft, der Bergbau und das verarbeitende Gewerbe mit 4,1 % gleich 7,7 Mrd. m³ jährlich wesentliche Nutzer. Die öffentliche Wasserversorgung ist mit 2,9 % oder 5,4 Mrd. m³ am Gebrauch beteiligt. Aber mit 81 % oder 152,4 Mrd. m³ jährlich verfügbarem Wasser ist keine Nutzung verbunden, **Abbildung 1-1**.

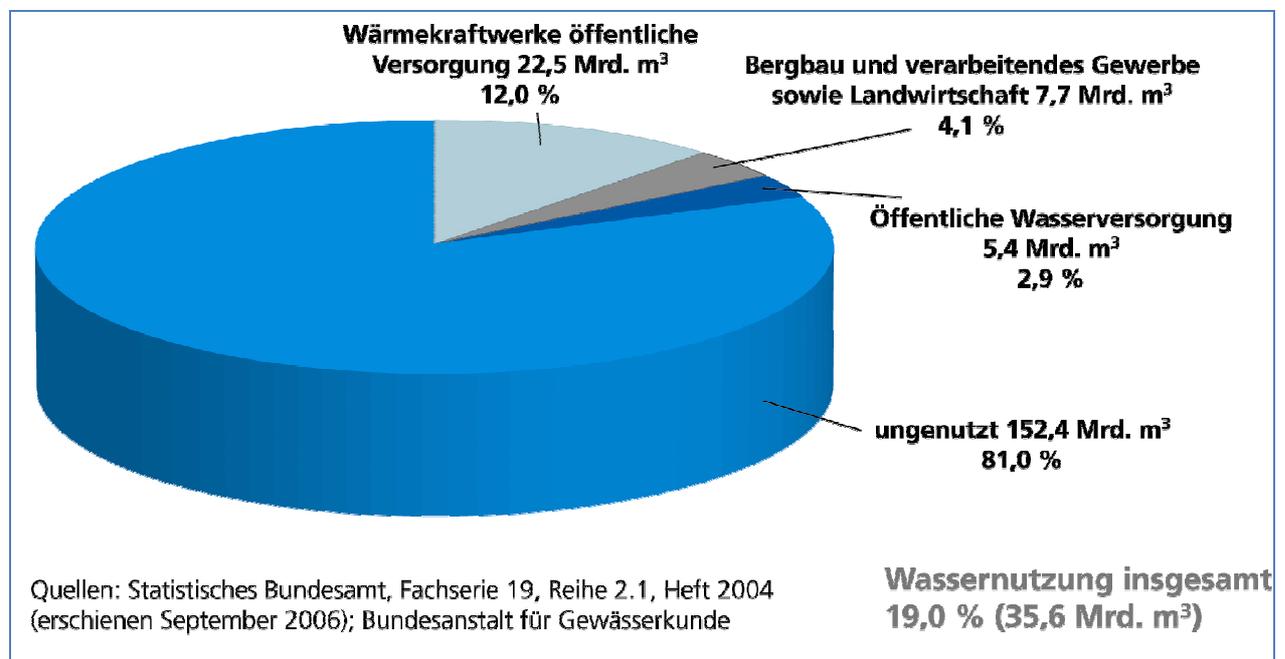


Abb. 1-1: Wassernutzung in Deutschland

Angesichts dieser Verhältnisse ist eine langfristige Sicherstellung der Nutzungen und des Umgangs mit der Ressource Wasser in Deutschland vorhanden.

Mit der Verabschiedung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, kurz EG-Wasserrahmenrichtlinie genannt, ist für die europäische Wasserwirtschaft ein neuer Rahmen der integrativen Bewirtschaftung aller Wasserressourcen geschaffen worden. Nach der Übernahme in dem Geltungsbereich des Bundes- und Landesrechts sind in den vergangenen Jahren Bestandsaufnahmen der Grundwasserkörper in den 10 deutschen Flussgebieten vorgenommen worden. Wesentliche Prinzipien der Wasserrahmenrichtlinie sind die Erreichung des guten Zustandes, das Verschlechterungsverbot sowie eine Umkehr bei

Trends, die dieses Ziel unterlaufen würden. Das Verursacherprinzip und Vorsorgeprinzip sowie ein enger Zeitrahmen geben konkrete Handlungsschritte vor. Für den Zustand des Grundwassers nach Einordnung durch die Wasserrahmenrichtlinie zeigen sich für die Qualität und den mengenmäßigen Zustand unterschiedliche Zielerreichungsquoten:

Die Wahrscheinlichkeit, den guten Zustand im Grundwasserbereich zu erreichen, liegt bei 47 %, in Bezug auf die Menge sogar dieser bei 95 %. 48 % der Grundwasserkörper in Deutschland haben einen guten chemischen Zustand, allerdings 52 % nicht, **Abbildung 1-2**.

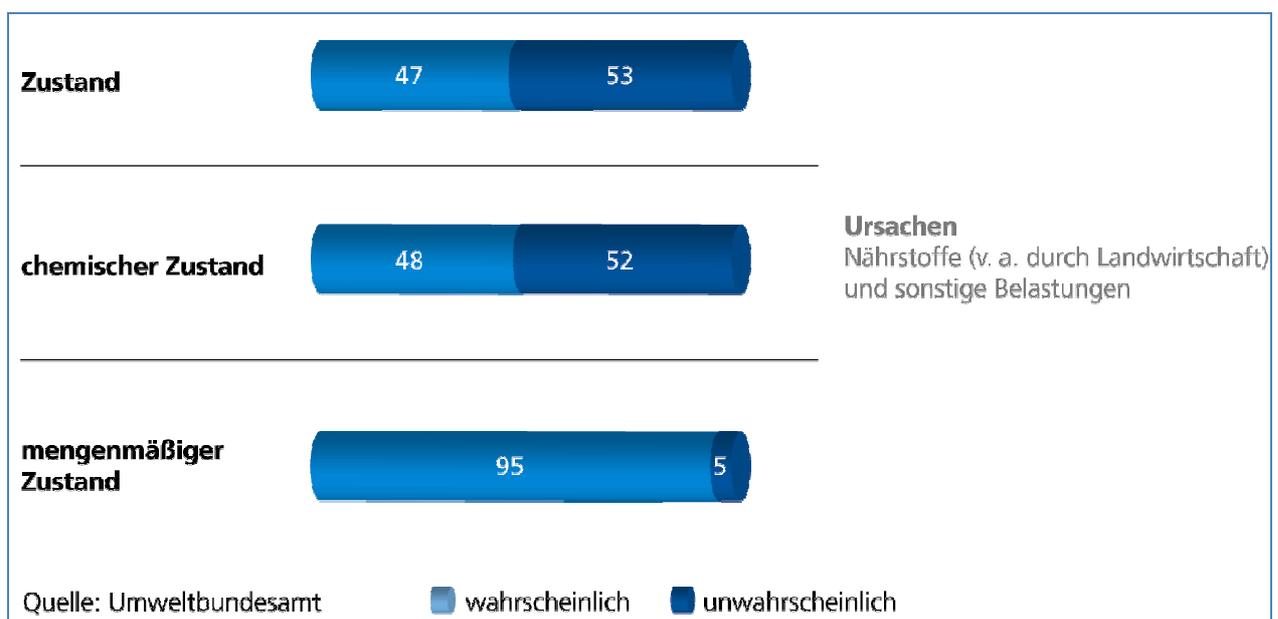


Abb. 1-2: Zustand des Grundwassers

Die gute Nachhaltigkeit, der Grundwasserkörper in Deutschland, muss regional betrachtet, relativiert werden. So sind beispielsweise in Niedersachsen wenige, aber doch wichtige Grundwasserkörper im Osten durch die Inanspruchnahme der landwirtschaftlichen Beregnung, der öffentlichen Wasserversorgung und der Versorgung der Industrie in mengenmäßig schlechtem Zustand. Hier gilt es, auch unter dem europäischen Blickwinkel, nachhaltige Lösungsansätze zur Versorgung der landwirtschaftlichen Beregnungsflächen, abgestimmt mit allen anderen Nutzern, zu finden. Das Verschlechtsverbot der Wasserrahmenrichtlinie, die Vorgabe, falsche Trends umzukehren und langfristig, nämlich bis 2027, den guten Zustand zu erreichen, stellen in diesen Grundwasserkörpern eine große Herausforderung dar.

In diesem Zusammenhang ist die Fortschreibung der landwirtschaftlichen Flächen, die in den einzelnen Bundesländern beregnet werden wichtig.

Der Trend ist unverkennbar: Der Anteil an berechneten Flächen steigt bei gleichzeitigem Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Ausstattung mit ausreichenden Wasserrechten ist daher auch langfristig von herausragender Bedeutung!

Tab. 1-1: Berechnungsflächen in Deutschland 2008, Umfrage des Bundesfachverbandes Feldberechnung

| Bundesland | Ldw. gen. Fläche (LF) ha | Berechnungsfläche ha | Berechnungsfläche % von LF |
|------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| Baden-Württemberg | 1.437.200 | 23.000 | 1,6 |
| Bayern | 3.224.700 | 31.200 | 1,0 |
| Brandenburg | 1.336.400 | 25.000 | 1,9 |
| Hessen | 773.600 | 43.000 | 5,6 |
| Mecklenb.-Vorp. | 1.368.600 | 20.000 | 1,5 |
| Niedersachsen | 2.617.700 | 300.000 | 11,5 |
| Nordrhein-Westfalen | 1.505.200 | 31.000 | 2,1 |
| Rheinland-Pfalz | 708.400 | 38.700 | 5,5 |
| Saarland | 77.000 | 300 | 0,4 |
| Sachsen | 910.800 | 15.000 | 1,6 |
| Sachsen-Anhalt | 1.175.100 | 20.000 | 1,7 |
| Schleswig-Holstein | 997.600 | 5.900 | 0,6 |
| Thüringen | 793.800 | 6.600 | 0,8 |
| Berlin, Bremen, HH | 24.700 | 300 | 1,2 |
| Gesamt / total: | 17 Mio ha LF | 560.000 ha | 3,3% |

Neben der Verabschiedung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und ihrer Integration in den entsprechenden Bundes- und Landesgesetzen hat die Reform des Grundgesetzes in der Föderalismusreform I einen weiteren wesentlichen Merkposten für das nationale und regionale Wasserrecht geschaffen. Die mehrjährige Diskussion um die Schaffung eines Umweltgesetzbuches mit zuletzt 6 Büchern hat nicht zu einer gesamten Neukodifikation des Umweltrechts, und damit auch des Wasserrechts geführt. Im Sommer 2009 sind das dort geschaffene neue Wasserhaushaltsrecht und des Bundesnaturschutzgesetz übrig geblieben. Beide Gesetze sind zum 1. März 2010 in Kraft getreten. In ihnen ist die größte Reform des deutschen Grundgesetzes seit der Gründung der Bundesrepublik abgebildet. War vorher Jahrzehnte lang das sogenannte Rahmenrecht gültig, in dem der Bund Rahmen und Leitlinien im jeweiligen Wasserhaushaltsgesetz abgebildet hatte und die Bundesländer diesen Rahmen ausfüllen konnten, so ist nun die Vollregelung durch den Bund die Vorgabe. Der Bund regelt im neuen Wasserhaushaltsrecht mit den einzelnen Paragraphen die Sachverhalte abschließend. Im Grundgesetz ist nur für Regelungen, die nicht stoff- oder anlagebezogen sind, ein Abweichungsrecht für die Bundesländer vorgesehen. Im Naturschutzrecht ist alles abweichungsfest, was als Grundsatz in diesem Regelungsbereich angesprochen werden kann. So hat Niedersachsen auch kein eigenes Naturschutzrecht mehr, son-

dern zum 1. März 2010 ein Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz verabschiedet und in Kraft gesetzt.

Der zentrale Regelungsbereich des gescheiterten Umweltgesetzbuches (UGB) war die so genannte integrierte Vorhabensgenehmigung. Diese sollte die bewährten Rechtsinstrumente der Bewilligung, Erlaubnis und gehobenen Erlaubnis ablösen und in einem Genehmigungstatbestand alle Rechtsaspekte, die durch die zu Grunde liegenden Sachverhalte zu genehmigen wäre, beinhalten. Diese Regelung ist nicht gekommen. Das seit 1. März 2010 in Kraft getretene Wasserhaushaltsgesetz des Bundes beinhaltet daher noch die auch für die Beregnung wichtigen Rechtsinstrumente der Bewilligung, der Erlaubnis und die insofern bewährte Umsetzung dieser Instrumente. Damit bleibt es beim bewährten Vollzug der Erlaubnis für den Antrag einen Grundwasserleiter zwecks Beregnungsmöglichkeit in Anspruch zu nehmen. Aber nicht nur Grundwasserleiter sind Gegenstand von Wasserrechten, auch Oberflächengewässer, wie auch die Verregnung von gereinigtem Abwasser und die Kombination von allem werden mittels dieser Rechtsinstrumente genehmigt.

Inhaltlich ist im Wasserhaushaltsgesetz im Gegensatz zum Begriff des sparsamen Umgangs mit Wasser neuerdings der sorgsame Umgang mit Wasser formuliert, um deutlich zu machen, dass im natürlichen Wasserkreislauf Wasser nicht verbraucht sondern nur gebraucht wird und sich damit auch und gerade im wasserreichen Deutschland lokale, regionale und überregionale Wasserkreisläufe abbilden und in diesen Wasserkreisläufen sorgsamer Umgang notwendig ist. Auch dieser Grundsatz findet sich quasi als roter Faden in der integrierten Politik der Wasserrahmenrichtlinie wieder.

Die Wasserwirtschaft, und insbesondere die Beregnungswasserwirtschaft ist unter anderem durch Aspekte betroffen, die in einzelnen Regionen von den Beregnungsverbänden und Unternehmen individuell überprüft werden müssen: Hinsichtlich der Zunahme von Trockenperioden ist die Auslegung der Anlagen bei steigenden Spitzenbedarfsfaktor zu überprüfen, die eigenen Reserven sind zu ermitteln, die Wasserentnahmerechte müssen ausreichen, gibt es eventuell Verbundmodelle und wie groß ist der Einfluss von anderen Nutzungen im Einzugsgebiet des jeweiligen Grundwasserkörpers oder des Wasserrechts, was der Beregnung zu Grunde liegt. Auch die Zunahme von Starkregenereignissen und Hochwässern kann die Beregnung betreffen, so zum Beispiel ob der Schutz der Anlagen ausreichend ist, sind entsprechend Sicherheitsvorkehrungen getroffen, ist die Betriebsweise auch in Ordnung vor dem Hintergrund von Überschwemmungen und Starkregenereignissen!

Der Klimawandel insgesamt wird auch Chancen bieten, wenn unter sorgfältiger wirtschaftlicher Betrachtung Beregnungsanlagen in Anspruch genommen werden, um die Ertragssituation der landwirtschaftlichen Produktion zu sichern und zu gewährleisten.

Die in vielen Ländern eingeführte Wasserentnahmegebühr ist ein Faktor, der sich auch auf die landwirtschaftliche Beregnung auswirkt.

Nachstehende Übersicht zeigt die Zusammenhänge auf:

1) 5 Cent: für Gewerbebetriebe als Endverbraucher, sofern mehr als 1.500 m³ Wasser im Veranlagungszeitraum abgenommen werden,
11 Cent: von sonstigen Endverbrauchern
2) Verrechnung mit Aufwendungen im Rahmen der Kooperation mit der Landwirtschaft möglich

| Bundesland | Höhe Wassercent/m ³ | | Anmerkungen | Verwendung |
|------------------------|--------------------------------|------------|--|--|
| | Trinkwasser | Berechnung | | |
| Baden-Württemberg | 5,1 | 5,1 | seit 1988 ("SchALVo") | keine Zweckverbindung |
| Bayern | - | - | | |
| Berlin | 31 | 31 | | Schutz des Grundwassers |
| Brandenburg | 10,2 | 0,7 | mit zweimaliger Erhöhung seit 1994 | Umsetzung der WRRL, Unterhaltung der Deiche etc. |
| Bremen | 5 | 0,5 | seit 1993 existent, in 4/04 bestätigt | |
| Hamburg | 7 bzw. 8 | 10 | seit ca. 12 Jahren, in 12/05 erhöht | |
| Hessen | - | - | in 1/03 abgeschafft | |
| Mecklenburg-Vorpommern | 1,8 | 1,8 | Fortschreibung des Wasserpfeffennings der DDR, in 1/03 bestätigt | für "grundwasserschonende Maßnahmen" |
| Niedersachsen | 5,1 | 0,51 | in 12/04 bestätigt | für "grundwasserschonende Maßnahmen" |
| Nordrhein-Westfalen | 2,3 | 2,3 | seit 1.2.2004 | Landeshaushalt, Umsetzung der WRRL |
| Rheinland-Pfalz | - | - | | |
| Schleswig-Holstein | 5 bzw. 11 | 2 | seit 1.1.2004 | Zweckbindung wurde auf 50% gekürzt |
| Saarland | 6 bzw. 7 | - | Einführung in 2007 von Landesregierung vorgeschlagen | (teilweise Zweckbindung) |
| Sachsen | 1,5 | 2,6 | | Zweckbindung |
| Sachsen-Anhalt | - | - | | |
| Thüringen | - | - | | |

Literatur

ROTH, D., EGGERS, Th., SEESSELBERG, F. und ALBRECHT, M. (1995): Analyse des Bundesfachverbandes Feldberechnung (BFVF) zum Stand der Berechnung in Deutschland. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 30 (2), S. 113-120

1.1 Anforderungen an die Qualität von Beregnungswasser: Hygienische und chemische Belange

Dr. Ingrid Pflieger

Wasserherkunft / Wasserverfügbarkeit für die Bewässerung

Wasser steht in unterschiedlichen Herkünften zur Verfügung. Die Wasserentnahme für Bewässerungsmaßnahmen erfolgt länderspezifisch unterschiedlich. In Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern und Hessen wird das Bewässerungswasser zu 80 bis 90 % aus Grundwasservorkommen, dagegen in Thüringen, Sachsen und Mecklenburg aus Oberflächengewässern (Speicher, Seen und Fließgewässer) verwendet.

Allgemein kann nach der Herkunft des Wassers eine Grobeinschätzung der Qualität vorgenommen werden. Das Grundwasser wird durch den Gesetzgeber unter besonderen Schutz gestellt und verfügt in der Regel über eine gute bis sehr gute Qualität. Wasser aus stehenden Gewässern (Stauanlagen, Kiesgruben, Teiche) besitzt meist eine ausreichende Qualität für die Bewässerung von Gemüse, Obst, landwirtschaftlichen Fruchtarten und Sonderkulturen. Im Vergleich dazu enthalten die Fließgewässer oft große Verunreinigungen und erfüllen insbesondere die bakteriologischen Güteanforderungen meist nicht.

Bedeutung der Wasserqualität für die Gemüseproduktion

Gemüse dient der menschlichen Ernährung. Die Inhaltsstoffe und anhaftende Substanzen sowie Mikroorganismen sind deshalb insbesondere beim Rohverzehr von frischen Erzeugnissen von großer Bedeutung. Eine Bewässerungsmaßnahme mit verschmutztem Wasser kann unter Umständen zu Kontaminationen der Pflanzen mit pathogenen Mikroorganismen führen. Der überwiegende Teil chemischer Inhaltsstoffe übt keine Schädigung aus. Hohe Konzentrationen können aber den Pflanzenwuchs beeinflussen oder im Boden sowie in Mensch und Tier akkumuliert werden (Blei, Cadmium und Quecksilber). Doch auch Inhaltsstoffe im Wasser, die für den Menschen unproblematisch sind, wie Kalzium und Eisen, können die Vermarktung in Frage stellen, wenn sie das Aussehen der Produkte negativ beeinflussen.

Bei der Produktion von frischem Gemüse und Obst sind unter dem Aspekt der Produkthaftung und Vorsorge für den Konsumenten durch den Betreiber von Bewässerungsanlagen quantitative und qualitative Aspekte zu erfüllen. Das Einhalten von Richt- und Grenzwerten gibt den Produzenten eine hohe Sicherheit im Rahmen des Verbraucherschutzes. Die Anforderungen resultieren insbesondere aus folgenden Normen, Verordnungen und Gesetzen:

- DIN 19650: Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser (1999)
- Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte – Produkthaftungsgesetz (1989)
- GLOBALGAP-Standards bzw. QS-GAP Zertifizierungssysteme für landwirtschaftliche und gärtnerische Produkte (2007)
- Bundes-Bodenschutzgesetz (1998) und Bundes-Bodenschutzverordnung (1999).

Bewertung der Wasserqualität für die Bewässerung

Die **DIN 19650 (1999)** beinhaltet nur die hygienischen Belange für das Bewässerungswasser. Diese werden aus bakteriologischer Sicht nach vier Eignungsklassen (EK) bewertet.

Im Ministerialblatt Nordrhein-Westfalen wurden Güteanforderungen an Beregnungswasser für Freilandkulturen als Entscheidungshilfe (1991) formuliert.

Der Arbeitsbehelf des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (2003) enthält qualitative und quantitative Aspekte der Wasserbeschaffenheit sowie chemisch-physikalische und mikrobielle Anforderungen.

Die aktualisierten Empfehlungen (Albrecht und Pfleger, 2004) „Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung gärtnerischer und landwirtschaftlicher Fruchtarten in Thüringen“ berücksichtigen zur Qualitätsbeurteilung von Bewässerungswasser mikrobiologische Kenngrößen (Richtwerte) in Anlehnung an die DIN 19650 (1999) nach vier Eignungsklassen und chemische sowie sonstige Parameter einschließlich Schwermetalle (Toleranzbereiche). Darüber hinaus beinhalten die Empfehlungen auch Hinweise zur Wasserprobenahme, zu Untersuchungsprogrammen (Beprobungszeiten und -umfang) und Einsatzmöglichkeiten des qualitativ unterschiedlichen Bewässerungswassers.

• Mikrobiologische Bewertungskriterien

Die mikrobiologisch-hygienische Wasseranalyse nach der DIN 19650 und den Empfehlungen (Albrecht und Pfleger, 2004) umfasst den Nachweis spezieller Keimarten als Verschmutzungsindikatoren, wie

- * Fäkalstreptokokken und
- * Escherichia coli (E. coli).

Sie sind als Indikatorbakterien selbst nicht pathogen, lassen aber aufgrund ihres Auftretens bei hohen Belastungen auf pathogene Keime schließen. Salmonellen dürfen nicht im Beregnungswasser nachweisbar sein. Bei begründetem Verdacht auf Vorhandensein von potenziell infektiösen Stadien von Mensch- und Haustierparasiten im Beregnungswasser, kann eine entsprechende Untersuchung angeordnet werden.

Für die Qualitätsbeurteilung von Bewässerungswasser sind die bakteriologischen Kriterien von ausschlaggebender Bedeutung, **Tabelle 1-2**. Diese werden in vier Eignungsklassen (EK) eingeteilt:

- Wasser der **EK 1** verfügt über die beste Qualität und ist der von Trinkwasser gleichzusetzen. Es muss frei von Krankheitserregern sein.
- Im Bewässerungswasser mit **EK 2** sind geringe Besatzdichten an Indikatorbakterien erlaubt. Ungeachtet dessen kann das Wasser zur Bewässerung von Freiland- und Gewächshauskulturen einschließlich Rohverzehr eingesetzt werden.

- In **EK 3** erfolgt eine Differenzierung des Anwendungsbereiches zwischen Gewächshaus- und Freilandkulturen und bei Freilandkulturen für Gemüse und Obst zwischen Rohverzehr und zur Konservierung und Lagerung. Dieses Wasser kann für den Frischmarktanbau von Gemüse und Obst nur bei Einhalten einer Karenzzeit von zwei Wochen verwendet werden. Für Gemüse und Obst zur Konservierung und Lagerung bestehen jedoch keine Einschränkungen. Zu anderen Freilandkulturen einschließlich Heil- und Gewürzpflanzen ist der Beregnungswassereinsatz ohne Begrenzungen gegeben.
- Mit einer Wasserqualität von **EK 4** darf Gemüse prinzipiell nicht bewässert werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Einschränkungen nach den genannten hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen entfallen, wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist.

Heute wird oft noch wegen mangelnder Kenntnisse über spezifische Bewertungsmethoden davon ausgegangen, dass die Wasserqualitätsanforderungen für Trinkwasser auch an das Beregnungswasser zu stellen sind. Eine Übernahme der Qualitätsparameter von Trink- und Badewasser auf das Bewässerungswasser erscheint jedoch nicht gerechtfertigt, da der direkte Kontakt von Wasser und Mensch beim Beregnen nicht oder nur in Ausnahmefällen gegeben ist.

• **Chemische Bewertungskriterien**

Die chemische Beschaffenheit bestimmt ebenfalls die Eignung des Wassers zur Bewässerung, zur Gesunderhaltung des Bodens und zur Vermeidung von Grundwasserbelastungen. Die Untersuchung chemischer Parameter dient der allgemeinen Beurteilung des Wassers. Eine negative Einflussnahme bei hohen Konzentrationen einzelner Inhaltsstoffe (Salze, Schwermetalle) auf Pflanze, Boden, Mensch und Tier ist jedoch nicht auszuschließen. Äußere Merkmale wie Farbe und Geruch des Wassers geben zunächst noch keine Anhaltspunkte für die Eignung des Wassers.

In den Empfehlungen (Albrecht und Pfleger, 2004) werden für die chemischen Parameter einschließlich Schwermetalle sowie weitere Kennwerte Toleranzbereiche aufgeführt, **Tabelle 1-3**. Sie basieren auf den Anforderungen zur Vermeidung oder Verminderung von Stoffeinträgen gemäß BBodSchV (1999) und überschreiten nicht die zulässigen Frachten an Schadstoffen. Dabei ist eine jährliche Zusatzwassermenge von mindestens 200 mm auf der gleichen Fläche unterstellt.

Höhere Nitratgehalte im Beregnungswasser müssen bei der Düngungsempfehlung und somit bei der Stickstoffdüngung berücksichtigt werden. Sie haben eine düngende Wirkung und können für das Düngungsregime sogar einen kostensparenden Effekt darstellen. Bei einem Zusatzwassereinsatz von 100 mm mit einem Nitratgehalt von 200 mg/l werden dem Boden und Pflanzen etwa 45 kg N/ha zugeführt.

Die Leitfähigkeit stellt das Maß für den Gesamtsalzgehalt dar. Unter Bezugnahme auf die pflanzenspezifische Salzverträglichkeit kann Wasser mit erhöhten Salzgehalten vorzugsweise für salztolerante Fruchtarten verwendet werden. Andernfalls ist dieses salzhaltige Wasser mit Wasser geeigneter Wasserqualität zu verschneiden.

Tab. 1-2: Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendungsbedingungen von Bewässerungswasser nach DIN 19650 (1999) und Empfehlungen der TLL (Albrecht und Pflieger, 2004)

| Eignungsklasse (EK) | Anwendungsbereiche für Fruchtarten | Einschränkungen / Hinweise | Nicht-anwendung | Biologische Kenngrößen | | |
|---|--|--|--|---|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | Fäkalstreptokokken je 100 ml | E. coli je 100 ml | Salmonellen ¹⁾ je 1000 ml |
| 1 | alle Gewächshaus- und Freilandkulturen | | | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| 2 ²⁾ | Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr | | | ≤ 100 ⁴⁾ | ≤ 200 ⁴⁾ | nicht nachweisbar |
| 3 ²⁾ | nicht zum Verzehr bestimmte Freilandkulturen | | für Gewächshauskulturen und Rohverzehr in den Karenzzeiten | 100 bis 400 | 200 bis 2000 | nicht nachweisbar |
| | Freilandkulturen für den Rohverzehr (Gemüse und Obst) | Gemüse bis 2 Wochen vor Ernte, Obst bis Fruchtansatz | | | | |
| | Gemüse und Obst zur Konservierung und Lagerung | | | | | |
| | Heil- und Gewürzpflanzen | | | | | |
| | alle anderen Freilandkulturen | | | | | |
| 4 ^{2),3)} nach DIN 19650 (1999) | Kartoffeln, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut | bis 2 Wochen vor der Ernte | Gewächshauskulturen, Obst, Gemüse in den Karenzzeiten | Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe durchlaufen hat | | |
| | Wein- und Obstkulturen | Frostschutzberegnung | | | | |
| 4 ^{2),3)} nach Empfehlung TLL (2004) | Heil- und Gewürzpflanzen | bis 2 Wochen vor der Ernte | Gewächshauskulturen, Obst, Gemüse in den Karenzzeiten | > 400 ⁵⁾ | > 2000 ⁵⁾ | nicht nachweisbar |
| | Kartoffeln, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut | bis 2 Wochen vor der Ernte | | | | |
| | Wein- und Obstkulturen | Frostschutzberegnung | | | | |

- 1) Salmonellen und potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten dürfen nicht im Bewässerungswasser in 1000 ml nachweisbar sein.
- 2) Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.
- 3) Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.
- 4) Richtwert, der analog der TrinkwV § 2 Abs. 3 [3] so weit unterschritten werden sollte, „wie dies nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist“.
- 5) Die 10-fache Menge sollte nicht überschritten werden.

Tab. 1-3: Toleranzbereiche für chemische und sonstige Parameter im Bewässerungswasser

| Chemische und weitere Kenngrößen | | | Schwermetalle | | |
|----------------------------------|------------------|------------|---------------|------------------|------------|
| | Toleranzbereiche | Maßeinheit | | Toleranzbereiche | Maßeinheit |
| Kalium | ≤ 200 | mg/l | Blei | ≤ 100 | µg/l |
| Natrium | ≤ 100 | mg/l | Cadmium | ≤ 4 | µg/l |
| Chlorid | ≤ 250/500 *) | mg/l | Chrom | ≤ 100 | µg/l |
| Sulfat | ≤ 1200 | mg/l | Eisen | ≤ 1500 | µg/l |
| Nitrat | ≤ 300 | mg/l | Kupfer | ≤ 100 | µg/l |
| pH-Wert | 5,0-9,5 | | Mangan | ≤ 1500 | µg/l |
| Wasserhärte | 30/60 | °dH | Nickel | ≤ 40 | µg/l |
| Leitfähigkeit | 2000/3000 *) | µS/cm | Quecksilber | ≤ 0,5 | µg/l |
| | | | Zink | ≤ 300 | µg/l |

*) salzempfindliche / salzunempfindliche Pflanzen

Literatur

ALBRECHT, M. und PFLEGER, I. (1997, 1999, 2004): Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thür. Landesanstalt für Landwirtsch. Jena, 1. bis 3. Auflage, Eigenverlag, 21 S.

Bundes-Bodenschutzgesetz (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 16, Bonn, 24. März 1998

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999): BBodSchV - Anhang 2: Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999, Teil I, Nr. 36, Bonn, 16. Juli 1999

Deutsche Norm DIN 19650 (1999): Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 4 S.

Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (1989): Produkthaftungsgesetz. Bundesgesetzblatt I, Bonn, 15. Dez. 1989, 2198-2200.

2 BERECHNUNGSBEDÜRFTIGKEIT

Ausreichende Wasserversorgung ist eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für eine hohe und stabile Stoffproduktion von Pflanzen. Das beruht darauf, dass Wasser an fast allen Lebensprozessen der Pflanze beteiligt ist. Wachsende Pflanzen bestehen zu 80-90 % aus Wasser. Die Berechnungsbedürftigkeit prüft den Standort darauf, wie weit der Wasserbedarf der Pflanzen aufgrund natürlicher Gegebenheiten gedeckt werden kann. Die folgenden Ausführungen behandeln daher die drei Faktoren Klima, Boden und die Pflanze selbst.

2.1 Klima

Dipl.-Met. Franz-Josef Löpmeier

Im feucht gemäßigten Klima Deutschlands mit oft trockenen Sommern hat die Berechnung die Aufgabe, fehlende Niederschläge in der Vegetationszeit zu ergänzen. Für die Berechnungsbedürftigkeit sind aus meteorologischer Sicht primär die Parameter Niederschlag und Verdunstung bestimmend. Die weiteren Glieder der Wasserhaushaltsgleichung, oberirdischer Abfluss und Sickerwassermenge, spielen im Berechnungseinsatz nur eine untergeordnete Rolle. Im deutschen Klimaraum nehmen grundsätzlich die Niederschläge von West nach Ost und von der Küste zum Binnenland hin ab. Leicht modifiziert wird diese typische Niederschlagsverteilung durch Staueffekte an den Luvseiten der Mittelgebirge, die für eine Erhöhung der Niederschlagsmenge bzw. auf den Leeseiten für eine Abnahme der Niederschläge sorgen. Während in den westlichen Regionen und den Küstengebieten die Jahresniederschläge meistens über 700 mm betragen, werden in den östlichen Gebieten Werte von 450-600 mm gemessen. Für die Vegetationszeit April bis September liegen die Niederschlagsmengen im Westen und an der Küste bei 400-450 mm und im Osten bei 275-350 mm.

Bei der potentiellen Verdunstung liegen die Verhältnisse aufgrund des zunehmenden kontinentalen Einflusses im Osten genau umgekehrt. Die Jahresverdunstungswerte steigen temperatur- und strahlungsbedingt von Westen mit Werten zwischen 450 und bis 500 mm auf Werte von 600-650 mm nach Osten hin an.

Von den o. a. langjährigen Durchschnittswerten von Niederschlag und Verdunstung sind jedoch beachtliche Abweichungen möglich. Da die berechnungsrelevanten Niederschläge im Vegetationszeitraum überwiegend als Schauer fallen, mit großen Intensitätsunterschieden in der Niederschlagsverteilung, ergeben sich auch räumlich große Variabilitäten in der Bodenfeuchte. Für ein kontinuierliches Wachstum der Pflanzen ist jedoch nicht allein die Jahressumme der Niederschläge entscheidend, sondern die

zeitliche Verteilung. Trockenzeiten von 3-4 Wochen treten bei den klimatischen Verhältnissen in Mitteleuropa häufiger auf. Diese Wahrscheinlichkeit nimmt in den östlichen Bundesländern zu. **Abbildung 2-1** zeigt den typischen Verlauf der Verdunstung sowie des Niederschlags für vier Standorte im langjährigen Durchschnitt.

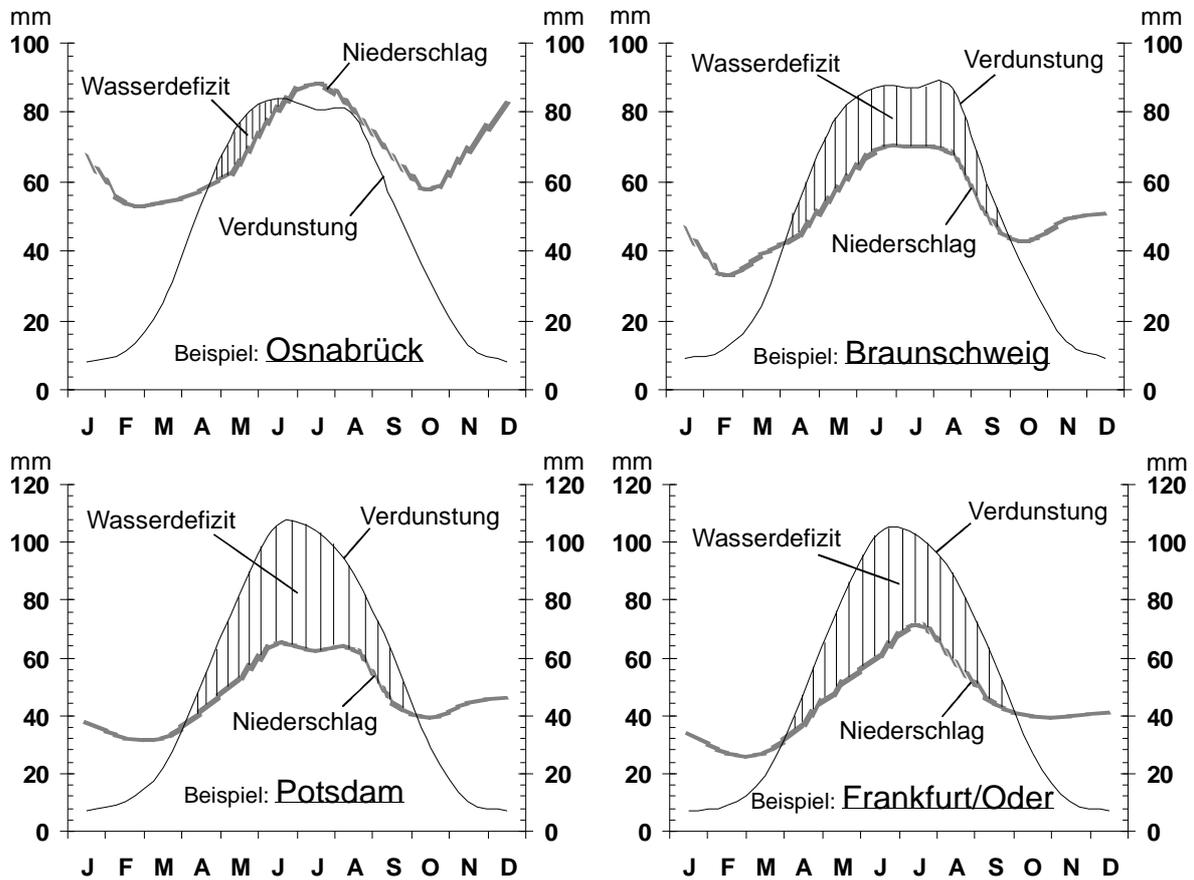


Abb. 2-1: Verlauf der klimatischen Wasserbilanz auf verschiedenen Standorten Deutschlands (langj. Durchschnitt)

Tab. 2-1: Langjährige Mittelwerte (1961-1990)

| April-Juni | Lüneburg | Uelzen | Lüchow | Soltau | Braunschw. | Helmstedt |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| pot. Verdunstung | 215 | 214 | 224 | 215 | 211 | 222 |
| Niederschlag | 162 | 170 | 150 | 197 | 180 | 175 |
| klim. Wasserbilanz | -53 | -44 | -74 | -18 | -31 | -47 |
| Juli-September | Lüneburg | Uelzen | Lüchow | Soltau | Braunschw. | Helmstedt |
| pot. Verdunstung | 220 | 219 | 223 | 214 | 227 | 235 |
| Niederschlag | 181 | 184 | 158 | 215 | 170 | 164 |
| klim. Wasserbilanz | -39 | -35 | -65 | 1 | -57 | -71 |

Für einige ausgewählte Standorte enthält die **Tabelle 2-1** die langjährigen Mittelwerte der potentiellen Verdunstung, des Niederschlags sowie der klimatischen Wasserbilanz (= Niederschlag minus Verdunstung) für die relevanten Berechnungszeiträume für Getreide bzw. Hackfrüchte und Mais für einige ausgewählte Standorte.

Neben diesen klimatologischen Faktoren spielen die Böden mit ihren unterschiedlichen Speicherkapazitäten für pflanzenverfügbares Wasser eine wesentliche Rolle beim Beregnungseinsatz. Während in den westlichen und südlichen Bundesländern überwiegend leichte Böden beregnet werden, müssen in den östlichen Ländern verstärkt auch schwere Böden beregnet werden, um das Bodenwasserdefizit für ein gleichmäßiges Pflanzenwachstum jeweils auszugleichen.

Pflanzen verdunsten zumindest tagsüber fast ununterbrochen Wasser. Die erforderliche Energie für die Verdunstung - je Liter Wasser werden etwa 2,4 Megajoule (580 cal) benötigt - liefert die Sonneneinstrahlung, den größten Teil auf direktem, teilweise aber auch indirekt durch Erwärmung des Bodens oder durch das Heranführen erwärmter Luftmassen.

Die Verdunstung kann sowohl vom Boden als auch von der Pflanzenoberfläche aus erfolgen. Dafür werden folgende Begriffe verwendet:

Evaporation (= *Bodenverdunstung*)

Aus landwirtschaftlicher Sicht stellt sie einen echten Wasserverlust dar (unproduktive Verdunstung). Sie spielt in geschlossenen Pflanzenbeständen und bei trockenen Bodenoberflächen nur eine untergeordnete Rolle, bei nicht geschlossenen Beständen und feuchten Bodenoberflächen kann die Evaporation jedoch Werte wie die Transpiration erreichen.

Transpiration (= *Pflanzenverdunstung*)

Biochemisch und physiologisch geregelte Verdunstung des von der Pflanze aufgenommenen und transportierten Wassers. Sie erfolgt vorwiegend durch die Spaltöffnungen (Stomata) der grünen Pflanzenteile (produktive Verdunstung).

Evapotranspiration (= *Summe aus Evaporation und Transpiration*)

Beide Komponenten sind auf bewachsenen Standorten schwierig zu trennen. Man unterscheidet zwischen der potentiellen Evapotranspiration (kein Wasserstress) und der realen Evapotranspiration (mit Wasserstress). Maximale Evapotranspirationsraten sind etwa 7 mm/Tag.

Interzeption (= *Speicherung von Niederschlagswasser sowie Tau und Beregnungswasser im Pflanzenbestand*)

Die Verdunstung dieses Wassers wird als Interzeptionsverdunstung bezeichnet. Je nach Witterung, zeitlicher Niederschlagsverteilung bzw. des Beregnungszeitraumes, kann die Interzeptionsverdunstung bei geschlossenen Beständen zwischen 1, 2 und 3 mm betragen. Die Höhe der Verdunstung wird zweckmäßigerweise in Millimeter (= Liter/m²) angegeben. Sie ist damit direkt mit den Niederschlägen vergleichbar und bilanzierungsfähig.

Während die potentielle Verdunstungsbeanspruchung der Atmosphäre über verschiedene Formeln (z. B. Haude, Penman) berechnet werden kann, ist die reale Verdunstung über komplexere Modellansätze zu beschreiben, LÖPMEIER [1994]. Zur Messung der realen Verdunstung bieten sich u. a. wägbare Großlysimeter an.

Eine wichtige Bezugsgröße für die Beregnungssteuerung bildet die sogenannte potentielle Evapotranspiration, d. h. Wasserverbrauch von Pflanzenbeständen bei uneingeschränkter Verdunstung. Die potentielle Evapotranspiration setzt ausreichend hohe Bodenfeuchtegehalte oder ständigen Grundwassereinfluss im Wurzelraum der Pflanzen voraus. Aus mehrjährigen Lysimeteruntersuchungen geht hervor, dass im mitteleuropäischen Klimaraum geschlossene Pflanzenbestände mit intaktem, gesundem Blattapparat unter potentiellen Verdunstungsbedingungen in den Monaten Mai bis August im Durchschnitt 4 mm Wasser pro Tag verbrauchen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Fruchtarten sind dabei wesentlich geringer als die Streubreiten der Messung (vgl. auch Tab. 5-1 in Kap. 5).

Die potentielle Verdunstung übersteigt während der Vegetationsperiode in den meisten Teilen Deutschlands die in diesem Zeitraum fallenden Niederschläge beträchtlich und führt damit zu einer negativen klimatischen Wasserbilanz. Diese weist z. B. im mitteleuropäischen Binnentiefland von April bis September im langjährigen Durchschnitt ein Defizit von ca. 110 mm (s. auch Tab. 2-1), im Mittel trockener Jahre sogar 268 mm auf. Können diese Fehlbeträge nicht aus dem Bodenfeuchtevorrat, dem Grundwasser oder aber durch Bewässerung ausgeglichen werden, sind die Pflanzen gezwungen, ihren Wasserverbrauch einzuschränken. Bei allen nicht ständig ausreichend mit Wasser versorgten Pflanzenbeständen liegt deshalb die aktuelle, d. h. die in einem bestimmten Zeitraum realisierte Verdunstung, unter der potentiellen Evapotranspiration. Eine durch Wassermangel erzwungene, anhaltende Einschränkung der Transpiration ist stets mit einer verminderten Stoffproduktion und meist mit Ertrags- und Qualitätsminderung verbunden.

Die Abbildungen 2-2 und 2-3 zeigen beispielhaft einen typischen jährlichen Verlauf der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten eines Zuckerrübenbestandes für einen Berechnungsstandort; hier mit drei Berechnungsgaben. Dabei wird deutlich, dass die reine Evaporation über einen längeren Zeitraum einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtverdunstung beiträgt. Die täglichen Sickerwasserraten in 80 cm Tiefe beginnen in diesem Beispiel erst spät Anfang April aufgrund von Bodenfrost, wobei Ende Juli auch ein leichter kapillarer Aufstieg (negative Werte) auftritt. Die Ergebnisse beruhen auf Modellrechnungen. Die Auswertung von 10jährigen Lysimetermessungen der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Braunschweig ergibt für landwirtschaftliche Kulturen eine mittlere reale Evapotranspiration von 510 mm. Diese Werte schließen die vegetationsfreien Zeiten mit reiner Bodenevaporation ein.

Abbildung 2-4 (nach SCHÄFER et al., 1992) zeigt den typischen jahreszeitlichen Verlauf der realen Evapotranspiration einzelner Fruchtarten. Bei den Verdunstungswerten im April/Mai für Zuckerrüben bzw. Weizen und Gerste im August/September handelt es sich überwiegend um Verluste durch Bodenevaporation eines unbewachsenen Bodens.

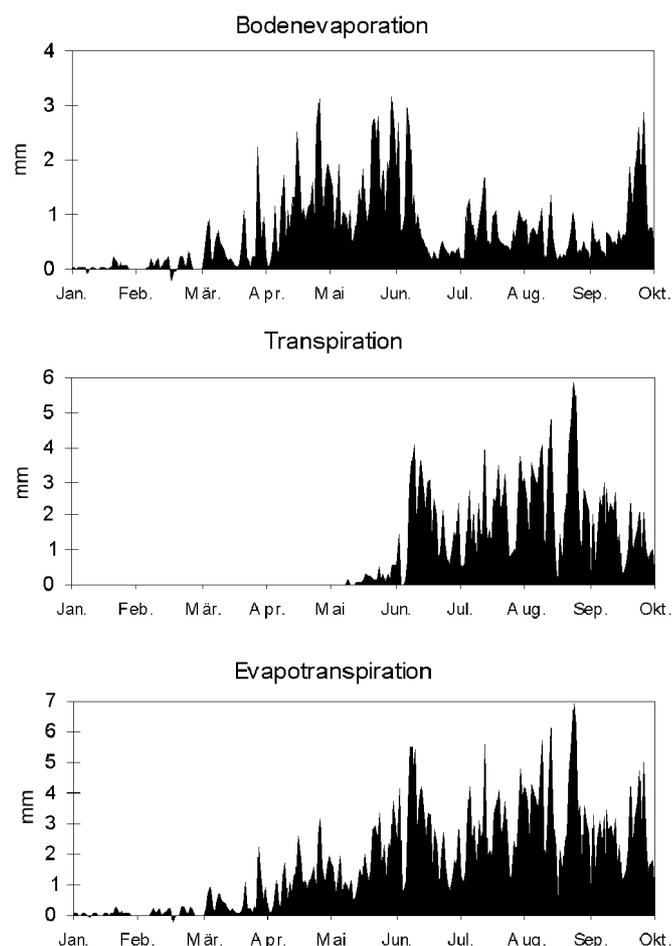


Abb. 2-2: Beispielhafter Verlauf der Evapotranspiration eines Zuckerrübenbestandes für einen Berechnungsstandort

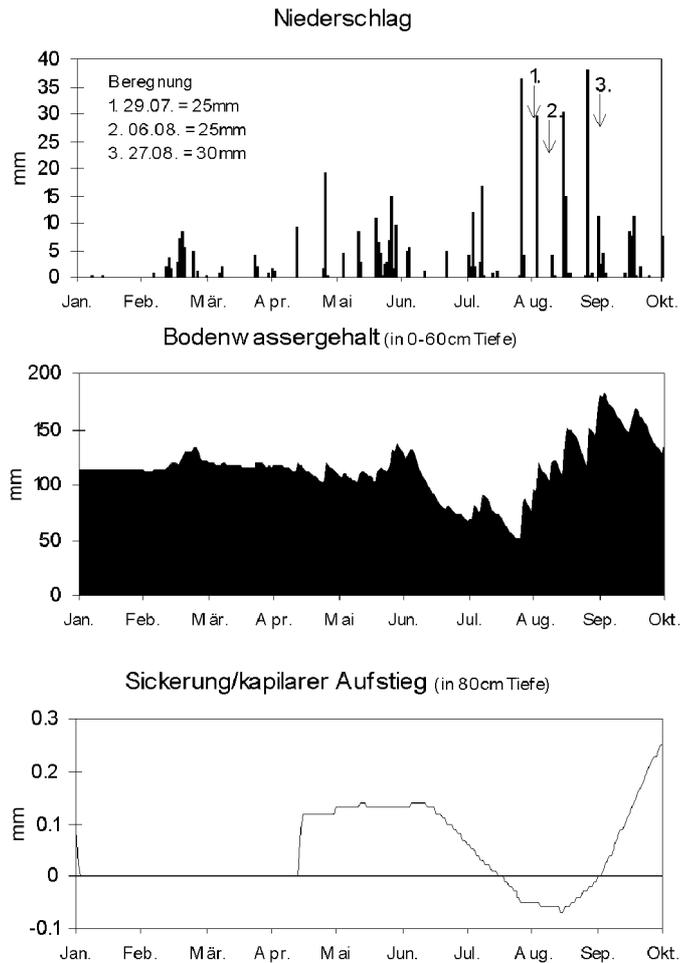


Abb. 2-3: Beispielhafter Verlauf des Bodenwassergehaltes eines Zuckerrübenbestandes für einen Beregnungsstandort

Im Rahmen der Beregnung sind die witterungsbedingten direkten Verluste durch Verdunstung, Abwehung und Interzeption von Bedeutung [SOURELL, 1991]. Über die Wahl des Beregnungszeitpunktes (Tag/Nacht) bietet sich die Möglichkeit, diese Verluste, die am Tag im Mittel etwa 9 % betragen, auf 4 % im Mittel in der Nacht zu drücken. Im langjährigen Mittel treten in weniger als 3 % aller Zeiten Verluste über 15 % und in weniger als 0,5 % der Fälle Verluste über 20 % auf. Die Verluste werden im Wesentlichen durch meteorologische Größen, wie Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit bestimmt und oft überschätzt.

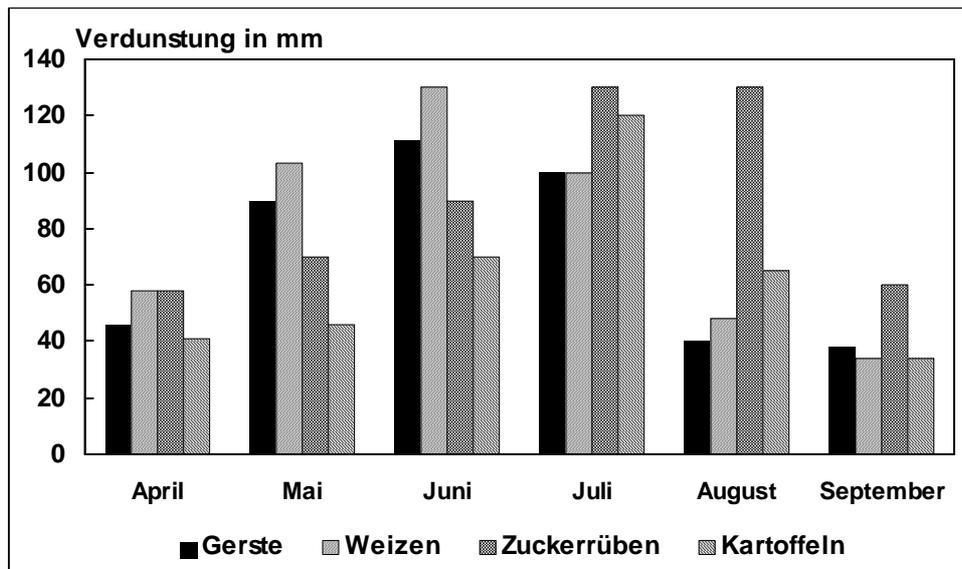


Abb. 2-4: Typischer Verlauf der realen Evapotranspiration einzelner Fruchtarten während der Vegetationszeit nach Lysimetermessungen der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes, Braunschweig

Literatur

LÖPMEIER, F.-J. (1994): Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 29 (2), s. 157-167

SCHÄFER, W., E. SIEGERT und R. HENNINGS (1992): Zum Wasserhaushalt von landwirtschaftlichen Fruchtfolgen auf anlehmigem Sandboden – dargestellt anhand einer 10jährigen Messreihe (1982-1991) der wägbaren Lysimeterstation der Zentralen Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes Braunschweig-Völkenrode. Landbauforschung Völkenrode 42 (3), S. 146-155

SOURELL, H. (1991): Verringerung des Wasser- und Energieaufwandes bei mobilen Beregnungsmaschinen. Landbauforschung Völkenrode SH 121

2.2 Boden

Dr. H. Sourell und H.-H. Thörmann

Für die Wasserversorgung der Pflanzen und damit auch für die Feldberegnung ist der Boden hauptsächlich als Speichermedium von Wasser von Bedeutung.

Die Bindungskräfte der Wassermoleküle untereinander sowie zwischen Wasser- und Bodenteilchen führen zum Kapillareffekt und letztlich dazu, dass Wasser in verschiedenen großen Bodenporen unterschiedliche Energiezustände hat. Dieser Zusammenhang kann durch die Wasserspannungskurve (pF-Kurve) ausgedrückt werden, die den volumetrischen Wassergehalt in Abhängigkeit von der Wasserspannung angibt, **Abbildung 2-5**.

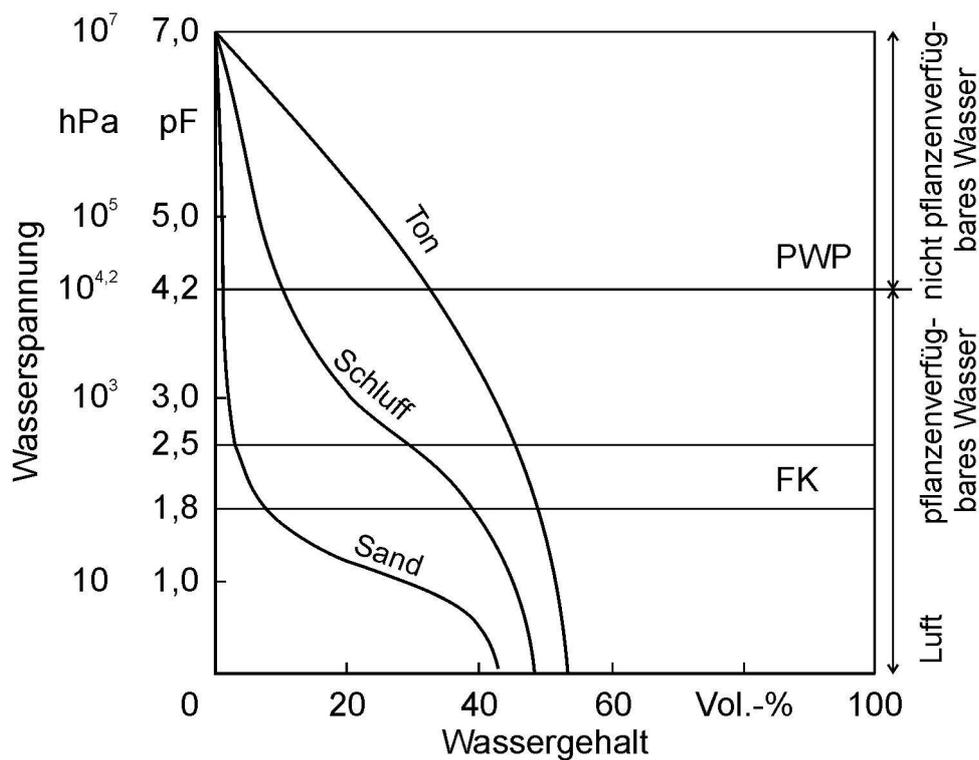


Abb. 2-5: Wasserspannungskurven einiger Bodenarten

Da die Anteile der Korngrößenfraktionen und die der Porenvolumina in einem engen Zusammenhang stehen, hängt der Verlauf der Kurve von den Volumenanteilen der verschiedenen Porengrößen ab und ist damit von der Bodenart abhängig.

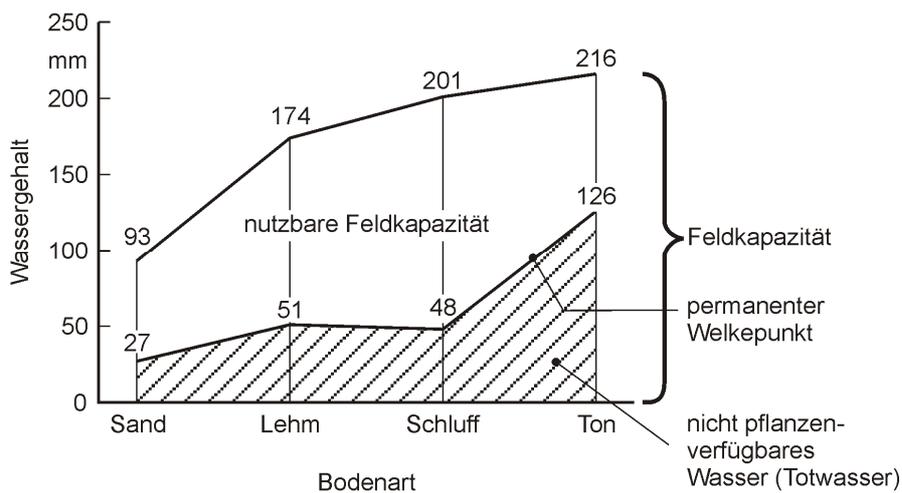


Abb. 2-6: Feldkapazität, permanenter Welkepunkt und nutzbare Feldkapazität im mm im Hauptwurzelbereich bis 60 cm, aus DIN 19655-2008

Die Pflanze muss bei sinkendem Wassergehalt im Boden immer größere Saugspannungen aufbringen, um dem Boden Wasser zu entziehen. Dabei sind zwei Punkte der Kurve von Bedeutung:

1. Die Feldkapazität (FK) bezeichnet den Punkt, bei dem Schwerkraft und Bodensaugspannung im Gleichgewicht stehen, also gerade kein Sickerwasser entsteht. Dieser Punkt existiert physikalisch genaugenommen nicht, so dass er i. d. R. nach praktischen Gesichtspunkten festgelegt wird. Häufig wird $pF = 1,8$ (entspricht 63 hPa) benutzt.
2. Mit dem permanenten Welkepunkt (PWP) wird derjenige Wassergehalt gekennzeichnet, der im Boden so fest gebunden ist, dass er von den Pflanzenwurzeln nicht aufgenommen werden kann. Dieser Punkt wurde mit $pF = 4,2$ (entspricht 15.000 hPa) festgelegt. Bei hohem Verdunstungsanspruch können manche Pflanzen allerdings höhere Saugkräfte aufbringen. Andererseits ist aber auch bei geringeren Werten die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers bereits eingeschränkt.

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist die Differenz zwischen Feldkapazität und dem permanenten Welkepunkt und damit ein Maß für die im Boden speicherbare Menge an pflanzenverfügbarem Wasser. Die aktuell im Boden vorhandene Menge wird als prozentualer Anteil (%nFK) ausgedrückt.

Um von dem volumetrischen Wassergehalt auf die (maximale) flächenbezogene Menge an pflanzenverfügbarem Wasser zu kommen, muss die nFK über die Tiefe, also bis zur unteren Grenze des Hauptwurzelraumes, aufsummiert werden. Dabei hängt es von den Kulturpflanzen und ihrem Wachstumsstadium ab, wie weit sie den Wurzelraum tatsächlich durchwurzeln. Davon ist dann auch die praktisch nutzbare Speicherkapazität des Bodens abhängig.

Tabelle 2-2 gibt für verschiedene Bodenarten ungefähre Werte für die nutzbare Feldkapazität in Volumenprozent an. Grafisch ist dieser Zusammenhang in **Abbildung 2-6** dargestellt.

Tabelle 2-3 zeigt typische Werte für die Mächtigkeit des Hauptwurzelraumes verschiedener Böden, die aber auch noch vom Profilaufbau abhängen. Für eine Durchwurzelungstiefe von 60 cm in Sand ergibt sich mit $nFK = 11$ bis 24,5 Vol.% z. B. eine flächenbezogene nFK (in mm) von 66-147 mm.

Falls vom Boden nur die Bodenwertzahl (BWZ) nach der Reichsbodenschätzung bekannt ist, kann die nutzbare Feldkapazität für die Tiefe 0-60 cm zumindest überschlägig geschätzt werden:

$$nFK = 15 + (2,4 \cdot BWZ) \text{ (in mm).}$$

Ausführlich ist der Zusammenhang dieser Gleichung bei Czeratzki und Schulze 1973 beschrieben.

Tab. 2-2: Typische Werte für nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität verschiedener Böden für 10 cm Bodentiefe (DIN 19655)

| Bodenart | Feldkapazität | nutzbare Feldkapazität | permanenter Welkepunkt | Porenvolumen | Rohdichtemittel |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Vol % | Vol % | Vol % | % | g/cm³ |
| Sand | 15,5 - 31,0 | 11,0 - 24,5 | 4,5 - 8,5 | 37,0 - 39,5 | 1,45 - 1,65 |
| Lehm | 29,0 - 36,5 | 12,0 - 21,5 | 8,5 - 23,5 | 38,5 - 40,0 | 1,45 - 1,65 |
| Schluff | 33,5 - 36,5 | 16,0 - 26,0 | 8,0 - 19,5 | 40,5 - 41,5 | 1,45 - 1,65 |
| Ton | 36,0 - 42,0 | 9,0 - 15,0 | 21,0 - 31,0 | 41,0 - 44,5 | 1,45 - 1,65 |

Tab. 2-3: Mächtigkeit des Hauptwurzelaumes verschiedener Böden

| Bodenart | Hauptwurzelaum (cm) |
|------------------------------|----------------------------|
| Sand (Podsole, Braunerden) | 40 - 60 |
| lehmiger Sand, sandige Lehme | 60 - 80 |
| schluffige Tone bis Tone | 60 - 100 |
| tonige Schluffe (Lößböden) | 100 - 150 |

Generell ist zu sagen, dass die räumliche Verteilung des Wassers im Boden, folgend der Verteilung der hydraulischen Bodenparameter, so ungleichmäßig ist, dass eindimensionale Bodenmodelle (Abhängigkeit der Bodenparameter nur von der Tiefe) die Realität nur grob modellieren.

Die Variabilität der physikalischen Eigenschaften von Böden ist sowohl über kurze als auch lange Distanzen erheblich, so dass als Folge z. B. für die Messung der Bodenfeuchte Mittelwerte von sehr großen Stichprobenumfängen (kurze Distanzen) bzw. teilflächenspezifische Werte (lange Distanzen) benötigt werden.

Da diesem Problem oft wenig Beachtung geschenkt wird, und es auch kaum praktikable Lösungen dafür gibt.

Literatur

ACHTNICH, W. (1980): Bewässerungslandbau, Eugen Ulmer Verlag

BRAMM, A., SOMMER, C. und SIEGERT, E. (1979): Die Feldberechnung - ihr Einsatz nach der Bodenfeuchte und der klimatischen Wasserbilanz. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0171: Berechnung

CZERATZKI, W., SCHULZE, F. (1973): Die Bodenwertzahl - ein Hilfsmittel zur Abschätzung der Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes für die Feldberechnung auf sandigen Böden der Lüneburger Heide. Landbauforschung Völkenrode, 23. Jahrgang, Heft 2, Seite 140-144

DIN 19655, (2008), Normenausschuss Wasserwesen im DIN, Beuth Verlag

WITHERS, B., VIPOND, St., LECHER, K. (1978): Bewässerung, Paul Parey Verlag

2.3 Pflanze

Dr. Frank Höppner

Berechnungsbedürftigkeit einzelner Kulturarten wird im weitesten Sinn definiert als Notwendigkeit zur Bewässerung, wenn herrschende Klima- und Standortbedingungen die Wasserversorgung der Kulturpflanzen während der Vegetationsperiode nicht gewährleisten können, so dass je nach Ausmaß des Wassermangels die Pflanzen mehr oder weniger geschädigt werden und der Ertrag gemindert wird (DVWK, 1984).

Berechnungsbedürftigkeit einer Kulturart hängt daher in erster Linie von der Niederschlagsmenge und -verteilung während der für das Wachstum und die Ertragsbildung entscheidenden Wachstumsphasen sowie dem Wasserspeichervermögen des Bodens ab. Witterungs- und bodenbedingte Standortnachteile, denen in früheren Zeiten durch den Anbau relativ anspruchsloser Kulturarten Rechnung getragen wurde, können heute durch Düngungs-, Pflanzenschutz- und Bewässerungsmaßnahmen weitgehend ausgeglichen werden, so dass jetzt Kulturarten auch auf sandigen Standorten zu ansehnlichen Erträgen geführt werden können.

2.3.1 Getreide

Die Bedeutung des Getreidebaues in der Bundesrepublik Deutschland lässt sich allein aus der Tatsache ableiten, dass heute 6,8 Mio. ha entsprechend etwa 57 % der Ackerfläche mit Getreide bestellt werden. Mit der Entwicklung der Berechnungsmaschinen und der damit verbundenen Arbeitserleichterung hat auch die Getreideberechnung an Bedeutung gewonnen, obwohl die Berechnungsbedürftigkeit des Getreides geringer ist, als beispielsweise die der Hackfrüchte. Der Kornertrag des Getreides muss als das Resultat vielfältig wirkender ökologischer und physiologischer, miteinander verknüpfter Faktoren, betrachtet werden. Dies bedeutet, dass pflanzenbauliche Maßnahmen, wie Düngung, Pflanzenschutz oder auch die Berechnung nur dann optimal wirksam werden können, wenn sie als existenter Minimumfaktor die anderen Wirkungsfaktoren harmonisch ergänzen können.

In **Abbildung 2-7** ist die Abhängigkeit des Getreideertrages von den Umweltfaktoren dargestellt. Die Abbildung macht deutlich, dass in jeder Entwicklungsphase des Getreides, in der eine Substanzzunahme stattfindet, neben anderen Faktoren auch die Feuchtigkeit (F), d. h. die Wasserverfügbarkeit, eine Rolle spielt, weil die Wasserversorgung einen entscheidenden Einfluss auf die ertragsbestimmenden Merkmale wie Ähren tragende Halme pro m², Kornzahl/Ähre und Tausendkornmasse ausübt. Diese ertragsbestimmenden Merkmale ergeben letztendlich den Kornertrag, sie werden jedoch zum Teil in sehr frühen Entwicklungsstadien angelegt, die entsprechende Ausbildung dieser Merkmale erfolgt jedoch erst im späteren Entwicklungsstadium und wird von Umweltfaktoren geprägt.

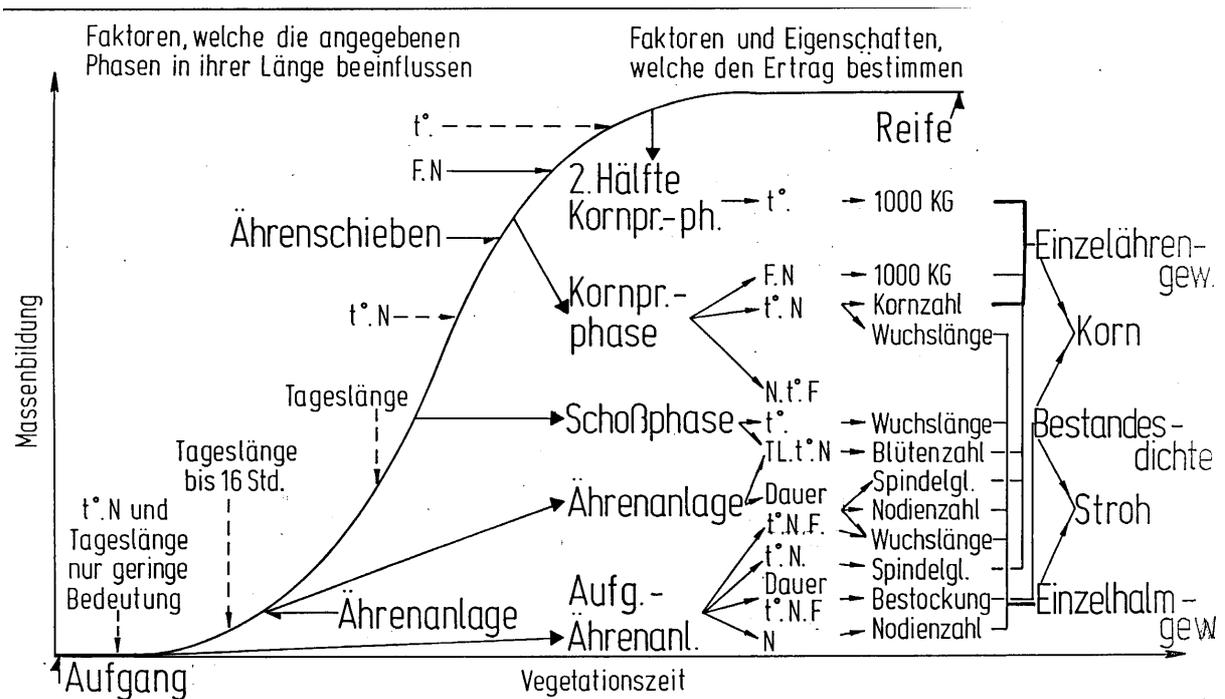


Abb. 2-7: Abhängigkeit des Endertrages von Umweltfaktoren, die während der Entwicklung der Getreidepflanzen wirksam werden (n. Boguslawski et al. 1963)

Ein erstes Entwicklungsstadium, in dem die Wasserversorgung eine wichtige Rolle spielt, ist die Bestockung (EC 21-29/30), denn während der Bestockung wird die Anzahl Triebe pro Pflanze festgelegt und damit auch die Anzahl Ähren tragender Halme/m². Zur Bestockung sollte jedoch nur in Ausnahmefällen beregnet werden, wenn ein extrem trockenes Frühjahr eine zu geringe Bestockung befürchten lässt.

Das zweite wichtige Entwicklungsstadium, in dem die Wasserversorgung eine Rolle spielt, ist die Schoßphase (EC 30/31-39/42), denn während der Schoßphase findet nicht nur ein enormer Massenzuwachs der Pflanzen statt, sondern es werden gleichzeitig zu Beginn der Schoßphase die generativen Blütenprimordien an der Ährenbasis angelegt, und die Kornzahl pro Ähre wird determiniert. Bei Trockenheit sollte in dieser Phase beregnet werden, ein Bodenwassergehalt von 60 % nFK sichert optimale Entwicklungsmöglichkeiten des Getreides. Vom Ährenschieben bis zum Ende der Blüte (EC 42/45–68/69) sichert eine ausreichende Wasserversorgung die gute Ausbildung der gesamten Ähre, bei Wassermangel in dieser Phase werden die Blütenprimordien an Ährenspitze und Ährenmitte reduziert und damit auch die Anzahl Körner/Ähre.

Eine Berechnung sollte einsetzen, wenn der Bodenwassergehalt unter 40 % nFK absinkt. Ausreichende Wasserversorgung in der ersten Hälfte der Kornproduktionsphase (ab EC 70) beeinflusst die Ertragskomponente Kornzahl pro Ähre und das TKM positiv. In der zweiten Hälfte der Kornproduktionsphase etwa vor der Gelbreife (EC 85) bis zur Totreife (EC 86/87) ist dagegen die Temperatur der wichtigste ertragsbeeinflussende Umweltfaktor, der sich noch auf das TKM auswirken kann. In dieser Phase nimmt der Wassergehalt der Körner ab, hohe Feuchtigkeit wirkt sich ungünstig auf den Reifeprozess aus.

Tabelle 2-4 gibt einen zusammenfassenden Überblick über den Einfluss von Wassermangel auf die Ertragsbildung des Getreides.

Tab. 2-4: Stadienabhängiger Einfluss von Wassermangel auf die Bildung generativer Pflanzenteile beim Getreide (n. Hänsel, 1956)

| Wassermangel im Stadium | Beeinflusster Pflanzenteil | Reduzierte Ertragskomponente |
|-----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Bestockung | Triebe/Pflanze | Ähre/Pflanze |
| Streckung (erstes Internodium) | generative Primordien | Ährchen/Ähre |
| kurz vor dem Ährenschieben | Blütenprimordien an Ährenbasis | Kornzahl/Ähre |
| Blühbeginn | Blütenprimordien an Ährenspitze und Ährenmitte | Kornzahl/Ähre |
| Gelbreife | Körner | Tausendkornmasse |

Tabelle 2-5 enthält zusammenfassend die Empfehlungen für eine bedarfsgerechte Getreideberechnung.

Tab. 2-5: Empfehlungen für die bedarfsgerechte Getreideberegnung (Roth 1992)

| Entwicklungsabschnitt | Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung | Beregnungsempfehlung |
|---|---|---|
| Auflaufen | Bei ausgetrocknetem Saatbett trotz termingerechter Bestellung ertragsbeeinträchtigende Auflauf- und Entwicklungsverzögerungen besonders bei Herbst-, selten bei Frühjahrsansaat | Bei stark ausgetrockneter oberer Bodenschicht und ausbleibenden Niederschlägen Auflaufberegnung mit geringer Beregnungssintensität und Einzelgaben bis zu 20 mm |
| Bestockung (Feekes 2-4/5 bzw. EC 21-29/30) | Mäßige Trockenheit fördert Trockenresistenz und Wasserausnutzungsvermögen Starke Trockenheit und Wärme behindern ausreichende Bestockung Reichliche Wasserversorgung begünstigt zu intensive Bestockung; anhaltende Überfeuchtung führt besonders bei Gerste zu Wachstumsstörungen | <u>nicht beregnen</u> <u>Ausnahme:</u> Beregnung (eine Gabe) zur Bestockungsförderung bei ausgeprägt trockenwarmer Frühjahrswitterung |
| Schossen (Feekes 5/6-9 bzw. EC 30/31-39/42) | Wassermangel führt zu erhöhter Triebreduktion und damit zu niedriger Anzahl ährentragender Halme Ausreichende Wasserversorgung ist erforderlich für gute Entwicklung der Ährenanlage Bei Überfeuchtung Gefahr zu hoher Bestandesdichten | <u>Beregnen</u> Bodenfeuchtegehalt zwischen 50 und 60...70 % nFK einstellen |
| Ährenschieben bis Ende Blüte (Feekes 10-16 bzw. EC 42/45-68/69) | Ausreichende Wasserversorgung ist erforderlich für ausreichende Ährenentwicklung Wassermangel bewirkt Ährenreduktion an Ährenbasis und Ährenspitze und damit niedrige Kornzahl je Ähre | <u>Beregnen</u> Bodenfeuchtegehalt zwischen 40 und 60 % nFK einstellen (nach vorangegangenen Streißperioden möglichst nicht unter 50 % absinken lassen) |
| Reife (Kornfüllung) (Feekes 17-18 bzw. EC 70-86/87) | Besonders ab beginnender Gelbreife deutlich abnehmender Wasserverbrauch Anhaltende Trockenheit in Verbindung mit hohen Temperaturen führt zu Seneszenzbeschleunigung und frühzeitigem Vergilben und Absterben der oberen, noch assimilationsfähigen Organe (Fahnenblatt, grüne Ährenteile) | Bis EC 83 beregnen, wenn Bodenfeuchte unter 25...30 % nFK abfällt. Beregnung bis EC 85 nur in Ausnahmefällen (leichte Böden) bei vorher ständig gut mit Wasser versorgten, dichten Beständen und sehr hohen Temperaturen ausdehnen |

2.3.2 Grün- und Silomais

Der Maisanbau spielt in nahezu allen Regionen der Bundesrepublik Deutschland mit einer Anbaufläche von rd. 1,5 Mio. ha, entsprechend 12,3 % Anteil an der Ackerfläche, eine erhebliche Rolle (BML 2008). Zukünftig wird der Anteil sogar zunehmen, da der Silomais eine wesentliche Rolle bei der Biogaserzeugung spielt. Seit 2005 hat es einen enormen Zuwachs von Biogasanlagen gegeben. Ein Ende in der Zunahme ist bisher nicht absehbar. Mit der Entstehung von Biogasanlagen findet eine Ausweitung des Anbaus statt. Hierbei sind auch Ackerflächen betroffen, auf denen bis her kein Maisanbau erfolgte.

Das Entstehungszentrum des Maises (Genzentrum) liegt in Südamerika (Brasilien, Bolivien, Paraguay), von dort aus gelangte der Mais in seine ersten Domestikationszentren Peru und später nach Mexiko. Aufgrund seiner Herkunft hat sich der Mais den tropischen Klimabedingungen angepasst, obwohl er heute unter den verschiedensten Klima-Verhältnissen angebaut wird. Diese ökologische Streubreite kennzeichnet den Mais als eine sehr anpassungsfähige Kulturart, der hinsichtlich ihrer Ausbreitung nur durch Früh- bzw. Spätfröste Grenzen gesetzt sind. Der Mais gehört zu den Kulturarten, die hinsichtlich der Wassernutzung zur Bildung von Trockensubstanz im Vergleich zu anderen Kulturarten eine besondere Effizienz auszeichnet, **Tabelle 2-6**.

Tab. 2-6: Durchschnittlicher Wasserverbrauch bei der Bildung von 1 kg Trockensubstanz verschiedener Kulturarten (zit. bei Ehlers, 1997)

| Kulturart | Wasserverbrauch (l H ₂ O/kg TS) |
|--------------------|---|
| C3-Pflanzen | |
| Hafer | 278 |
| Weizen | 388 |
| Gerste | 224 |
| Kartoffel | 185 |
| Zuckerrübe | 210 |
| C4-Pflanzen | |
| Mais | 214 |
| Hirse | 270 |

Während die sogenannten „C3-Pflanzen“ mit Ausnahme der Kartoffel und der Zuckerrübe, die schon nach der vegetativen Entwicklungsphase geerntet wird, zwischen 220 und 400 l Wasser zur Bildung von 1 kg Trockensubstanz benötigen, liegt der Wasserverbrauch der "C4-Pflanzen deutlich unterhalb von 300 l Wasser pro kg Trockensubstanz. Es ist zu berücksichtigen, dass der C4-Weg bei kühler Witterung, wie es in unserem Klimaraum oft der Fall ist, nicht oder nur unzureichend wirksam wird. Deshalb auch

die geringen Unterschiede der Transpirationskoeffizienten zwischen Mais und Gerste, Kartoffeln, Zuckerrüben in Tabelle 2-6. Die Bezeichnung C3- bzw. C4-Pflanze bezieht sich auf den Vorgang der CO₂-Assimilation zur Bildung von Kohlenhydraten, wobei bei den C3-Pflanzen eine Substanz mit drei C-Atomen, bei den C4-Pflanzen eine Substanz mit vier C-Atomen entsteht.

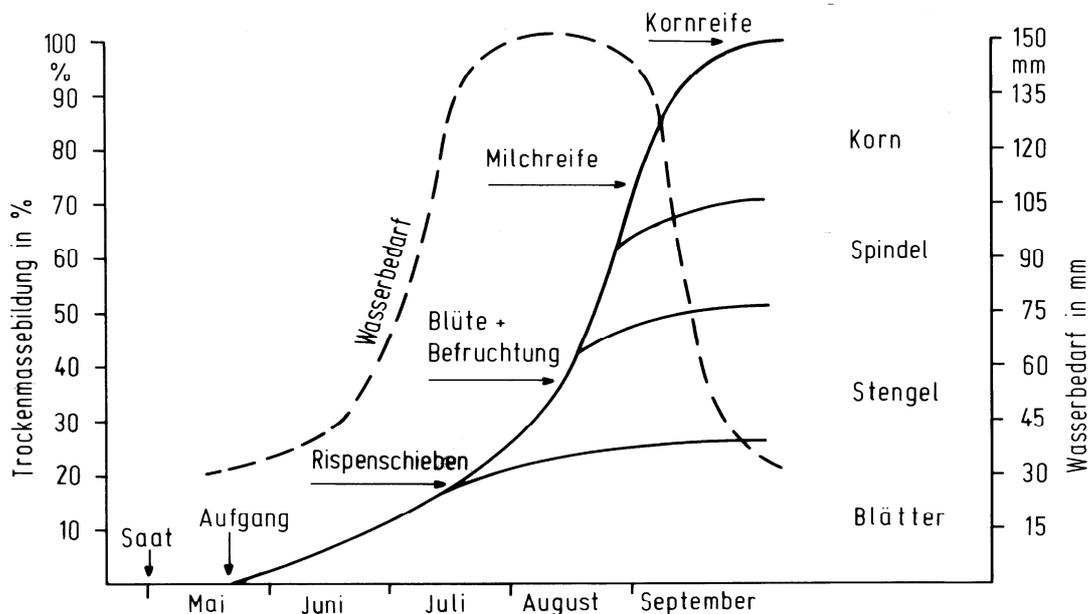


Abb. 2-8: Mais-Trockenmasseproduktion während der Vegetationsperiode und Wasserbedarf (schematisch)

Tabelle 2-6 lässt erkennen, dass der Gesamtwasserbedarf des Mais' im Vergleich zu anderen Kulturarten nicht allzu hoch ist. Der Mais benötigt jedoch vom Beginn des Fahnschiebens bis zur Milch- bzw. Teigreife relativ viel Wasser (Martin, 1975). In dieser, mit etwa 50 Tagen relativ kurzen Wachstumsphase produziert der Mais ungefähr 60 % seiner gesamten Trockenmasse, **Abbildung 2-8**. Dies ist auch der Entwicklungsabschnitt, in dem bei Trockenheit eine Beregnung besonders ertragswirksam wird. Die Kolbenentwicklung wird gefördert, und die Kolbenmasse wird erhöht. Bis zum Blühbeginn hat er erst 25 % seines Stickstoffbedarfs aufgenommen, vom Blühbeginn bis zur Kolbenbildung weitere 40 %, so dass der Hauptnährstoff- und -wasserbedarf in die Monate Juli bis Mitte September fällt. Zur Zeit der Blüte sind die Quasten durch Austrocknung besonders gefährdet, so dass bei Wassermangel eine Befruchtung ganz oder teilweise verhindert werden kann.

Eine Bewässerung vor dem Rispenschieben ist unter normalen Bedingungen nicht notwendig, da im Allgemeinen die Feuchtigkeitsverhältnisse für die Jugendentwicklung ausreichen. Eine Beregnung fördert in erster Linie die Zahl der Kolben je Pflanze, dann

die Kornzahl je Kolben; die Tausendkornmasse wird am geringsten beeinflusst. **Tabelle 2-7** enthält zusammenfassend die Empfehlungen für eine bedarfsgerechte Beregnung von Mais.

Tab. 2-7: Empfehlungen für die bedarfsgerechte Beregnung von Mais (Roth 1992)

| Stadium | Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung | Beregnungsempfehlung |
|-------------------------------------|--|---|
| Auflaufen bis 6/7-Blattstadium | Starke Bodenaustrocknung bei Bodentemperatur über 10-12°C ist Ursache für eine Auflaufverzögerung | <u>Auflaufberegnung</u> besonders bei <u>Zweitfruchtmais</u> vorsehen |
| 6/7-Blattstadium bis Fahnenschieben | Wassermangel verzögert Entwicklung des Blattapparates und hemmt Längenwachstum, dadurch wird auch die weitere Entwicklung ungünstig beeinflusst. Wachstumsverzögernde Effekte niedriger Temperaturen werden durch Trockenheit noch verstärkt | <u>beregnen</u> , ganz besonders Zweitfrucht Mais. Bodenfeuchte auf 40...50 % nFK halten |
| Fahnenschieben bis Milchreife | Günstige Wasserversorgung fördert Kolbenentwicklung und erhöht die Kolbenmasse. Bei Temperaturen über 17°C ausreichende Wasserbereitstellung besonders ertragswirksam | <u>Beregnung besonders ertragswirksam</u> |
| Milch- bzw. Teigreife | Bei trocken-warmer Witterung noch hoher Wasserbedarf | <u>Beregnung bei anhaltender Trockenheit fortsetzen</u> |

2.3.3 Kartoffel

Mit ca. 275.000 ha Kartoffelanbaufläche in der Bundesrepublik Deutschland, entsprechend 2,3 % an der Ackerfläche (BML 2008), spielt der Kartoffelanbau zwar keine dominierende Rolle, ist aber regional von Bedeutung, da der Kartoffelanbau vorzugsweise auf sandigem siebfähigem Boden stattfindet. Diese Böden neigen zu einer schnellen Austrocknung, was in Verbindung mit dem relativ schwach ausgebildeten und nicht in die Tiefe gehenden Wurzelnetzes der Kartoffel auf vielen Standorten zur Beregnungsbedürftigkeit führt (Roth, et al.1987)

Ein wesentliches Merkmal für die Beregnungserfolge der Kartoffel ist die Reifegruppe. Aus pflanzenphysiologischer Sicht wird der höchste Ertrag bei den Sorten der mittelfrühen Reifegruppe erzielt, die in ihrer Ertragsleistung besonders negativ auf Schwankungen der Wasserversorgung in dem Zeitraum zwischen Knollenansatz und Höhepunkt der Blüte reagieren. Frühkartoffeln sind bei entsprechenden Witterungsverhältnissen im

Zeitraum Knospenbildung, Knollenansatz und Blüte unbedingt zu beregnen, wobei der Bodenwassergehalt um ca. 50 % nFK gehalten werden sollte. Eine gute Wasserversorgung in dem Zeitraum zwischen Blüte und dem Einsetzen der Krautabreife sichert einen hohen Knollenertrag. Daher ist dieser Zeitraum in trockenen Jahren die Hauptberegnungsperiode für alle Reifegruppen.

Tab. 2-8: Empfehlungen für die bedarfsgerechte Kartoffelberegnung (Roth 1992)

| Entwicklungsabschnitt | Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung | Beregnungsempfehlung |
|--|--|--|
| Auflaufen bis Knospenbildung/ Knollenansatz | Kein signifikanter Einfluß differenzierter Wasserversorgung auf Ertrag (Ausnahme: extreme Trockenheit oder Nässe) Mäßige Trockenheit fördert Trockentoleranz | <u>nicht beregnen</u> |
| Knospenbildung/ Knollenansatz bis Blüte | Wassermangel verzögert Krautentwicklung und Knollenwachstum Sehr starker Wassermangel am Beginn dieser Periode senkt Knollenzahl | <u>Frühkartoffeln unbedingt beregnen</u> ; Sicherung eines Bodenfeuchtegehaltes von 45...50 % nFK Spätere Reifegruppen nur bei starker Bodenaustrocknung (< 30 ...35 % nFK) sowie bei vorangegangener feuchter Anfangsentwicklung beregnen |
| Blüte bis deutlich einsetzende Krautabreife | Ausreichende Wasserversorgung ist entscheidend für Endertrag (ganz besonders zwischen Blühende und 3 Wochen danach) Durch anhaltend gute Wasserversorgung werden trockenheitsbedingte Ertragsrückstände aus der vorangegangenen Periode durch längere Lebensfähigkeit des Krautes und sehr starken Knollenzuwachs fast vollständig ausgeglichen | <u>Hauptberegnungsperiode für mittelfrühe, mittelspäte und späte Kartoffeln</u> <u>Besonders wichtig ist intensive Beregnung zwischen Blühende und 3 Wochen danach</u> Bodenfeuchte in dieser Zeitspanne nicht unter 45 % nFK, bei bereits eingetretenen trockenheitsbedingten Wachstumsverzögerungen möglichst nicht unter 50...55 % nFK abfallen lassen Im Pflanzkartoffelbau bei großknolligen Sorten ab 3 Wochen nach der Blüte nur noch bei starker Trockenheit beregnen (sonst Gefahr von Übergrößen) |

Mengenmäßig und zeitlich falsch verabfolgte Wassergaben führen bei der Kartoffel sehr leicht zu einer ungünstigen Verschiebung der Ertragsstruktur, so dass trotz erhöh-

ten Gesamtertrages der Anteil Verkaufsware, Knollen zwischen 35 und 55 mm Durchmesser, ungünstig ausfällt. Die Gründe hierfür liegen in der relativ langen Knollenbildungsphase, die durch das Wechselspiel von Wasser- und Stickstoffangebot noch weiter verlängert werden kann. Da aber aus physiologischen Gesetzmäßigkeiten heraus eine Rangfolge in der Versorgung der einzelnen Knollen mit Assimilaten besteht, und dabei die zuerst angelegten Knollen Priorität genießen, führt eine hohe Knollenzahl zwar zu einem Mehrertrag, aber häufig nur durch das übermäßige Ansteigen der Knollenfraktion unter 35 mm Durchmesser. **Tabelle 2-8** enthält zusammenfassend die Empfehlungen für eine bedarfsgerechte Kartoffelberechnung.

2.3.4 Zuckerrüben

Der Zuckerrübenanbau umfasst in der Bundesrepublik Deutschland eine Fläche von 402.700 ha, entsprechend 4,4 % an der Ackerfläche (BML 2008). Diese relativ geringe Fläche darf jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass der Anteil der Zuckerrübenbaufläche an der Fruchtfolge in vielen Betrieben der typischen Zuckerrübenanbaugebiete 33 % beträgt. Für diese Betriebe ist die Zuckerrübe ökonomisch eine außerordentlich bedeutsame Kulturart. Zuckerrüben werden in der Regel auf guten Böden mit einer hohen Wasserspeicherkapazität angebaut. Auf solchen Böden ist erst bei mittleren Jahresniederschlägen unter 600 mm eine Bewässerung erforderlich. Leichtere Standorte mit geringer Wasserspeicherkapazität erfordern trotz eines tiefgehenden verzweigten Wurzelnetzes in Trockenperioden den Beregnungseinsatz. Dabei sind folgende Grundsätze zu beachten (Dambroth u. Bramm, 1978):

Bei der Zuckerrübe ist der Einsatz von Wasser und auch von Dünger besonders sorgfältig zu handhaben, da bei der Rübe keine phänologischen Wachstumsstadien vorhanden sind. Alle Maßnahmen, die ein schnelles Wurzelwachstum bedingen, bieten die Basis für hohe Erträge (Bramm, 1979). Die Bodenfeuchte in der Jugendentwicklung der Rübe spielt dabei eine wesentliche Rolle, denn bei geringem Bodenwassergehalt wird die Rübe gezwungen, zügig in die Tiefe zu wachsen, um die Wasserversorgung der Pflanze zu sichern. Dadurch werden die Voraussetzungen für eine spätere gute Stoffeinlagerung gebildet.

Die Ausbildung vegetativer Masse findet in einer Phase statt, wo die Zuckerrübe die Stoffbildung vernachlässigt. Wenn die Blattfläche ihr Maximum erreicht hat, sind gerade 50 % des Rübenkörpers ausgebildet. Gleichzeitig steigt die N-Aufnahme der Gesamtpflanze steil an und hat Ende Juli bereits 70 % des Endwertes erreicht. Zu dieser Zeit ist die Stickstoffaufnahme der Blätter bereits abgeschlossen. Dieses Vorauseilen der N-Aufnahme vor der Stoffproduktion ist bedeutsam für die Rübenqualität, denn unverarbeitete N-Reserven mindern die Zuckerausbeute.

Tab. 2-9: Empfehlungen für die bedarfsgerechte Zuckerrübenberechnung (Roth, 1992)

| Entwicklungsabschnitt | Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung | Beregnungsempfehlung |
|--|---|---|
| Aufgang bis Bestandesschluss | <p>Das natürliche Feuchtedargebot der Rübenböden reicht i. d. R. aus, um die erforderliche Jugendentwicklung zu gewährleisten</p> <p>Mäßige Trockenheit fördert Wurzellänge und Durchwurzelungstiefe, begünstigt dadurch die spätere Speicherkapazität für Zucker und die Trockentoleranz</p> <p>Bei sehr starker Trockenheit kann aber das Gegenteil eintreten, indem die Durchwurzelung des Bodens nahezu gehemmt wird</p> | <p><u>nicht beregnen</u></p> <p>Ausnahme:</p> <p>a) Auflaufberegnung bei ausgeprägten trockenheitsbedingten Auflaufverzögerungen, Verschlammungen durch kleine, im Bedarfsfall wiederholte Gaben und geringe Niederschlagsdichte minimieren</p> <p>b) Beregnung zur Sicherung der Jugendentwicklung bei anhaltend starker Trockenheit und überdurchschnittlichen Temperaturen</p> |
| Bestandesschluss bis Ende August | <p>Wassermangel hemmt Blatt- und Rübenentwicklung und senkt damit den Zuckerertrag.</p> <p>Zu reichliches Angebot begünstigt einseitig die Krautentwicklung auf Kosten der Zuckerertragsbildung</p> <p>Kurzzeitig trockenheitsbedingte Wachstumsverzögerungen der Rübenkörper können bei nachfolgendem ausreichendem Wasserangebot kompensiert werden, lange Trockenperioden mit Beeinträchtigung des Blattapparats sind dagegen besonders nachteilig</p> | <p><u>beregnen</u></p> <p>Gewährleistung eines mittleren Bodenfeuchtegehaltes von 45...50 % nFK</p> <p>Bei mäßiger Trockenheit werden Verzögerungen durch etwas verspäteten Beregnungsbeginn (max. bis 15.07.) meist wieder ausgeglichen.</p> <p>Zu lange Beregnungspausen (3-4 Wochen) mit Bodenfeuchteabfall unter 40... 45 % nFK unbedingt vermeiden</p> |
| Anfang/Mitte September (auf leichten Böden bis Ende September) | <p>Bei funktionsfähigem Blattapparat noch vergleichsweise hoher Wasserverbrauch</p> <p>Starke Trockenheit hemmt Zuckerertragsbildung, zu hohe Bodenfeuchtegehalte beeinträchtigen Zuckereinlagerung</p> | <p><u>bei strahlungsreicher, trockenwarmer Witterung beregnen und vorzeitigen Beregnungsabbruch vermeiden</u></p> <p>Bodenfeuchte über 35 % nFK halten</p> <p>Gabenhöhe ab Anfang September besonders auf schweren Böden auf 20... 25 mm begrenzen</p> |

Mit dem Erreichen der maximalen Blattfläche stellt die Rübe jedoch nicht die Blattbildung ein, im Feldbestand ist die Rübe befähigt, bei entsprechender Wasser- und Stickstoffversorgung ständig neue Blätter zu entwickeln, so dass während der Vegetationszeit der Blattapparat 1- bis 1,5mal umgeschichtet wird. Diese Neuproduktion geht zu Lasten bereits gespeicherten Zuckers und ist daher unerwünscht. Der Einsatz der Bewässerung muss daher zu einem Entwicklungsstadium erfolgen, in dem der Rübenkörper so weit entwickelt ist, dass er das Attraktionszentrum für die gebildeten Assimilate darstellt. Daraus ist abzuleiten, dass die Beregnung erst nach dem Bestandesschluss bei anhaltender Trockenheit eingesetzt werden darf, um einen Bodenwassergehalt von 40-50 % nFK zu gewährleisten. Wenn klimatisch erforderlich, muss dieser Bodenwassergehalt bis Ende September aufrecht erhalten werden. **Tabelle 2-9** enthält zusammenfassend die Empfehlungen für eine bedarfsgerechte Zuckerrübenberegnung.

Literatur

- BOGUSLAWSKI, v. E.; P. LIMBERG und B. SCHNEIDER: Grundfragen und Gesetzmäßigkeiten der Ertragsbildung. Z. Acker- und Pflanzenbau, Bd. 11, Heft 3, 1963, S. 231-256
- BRAMM, A.: Physiologische Grundlagen des Wasser- und Stoffhaushaltes von Mais. Z. für Bewässerungswirtschaft 15 (2), 1980, S. 113-119
- BRAMM, A.: Zur Ertragsbildung des Getreides unter Berücksichtigung der Wasserversorgung. Z. für Bewässerungswirtschaft 16 (2), 1981, S. 79-87
- BML (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2008. Wirtschaftsverlag NW GmbH; Bremerhaven
- DAMBROTH, M. und A. BRAMM: Vier wichtige Regeln für den Beregnungseinsatz bei Zuckerrüben. DLG-Mitteilungen 93 (8) 1978, S. 504-507
- DVWK-Merkblatt 205/1984: Beregnungsbedürftigkeit – Beregnungsbedarf. Modelluntersuchung für die Klima- und Bodenbedingungen der Bundesrepublik Deutschland; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 1984
- EHLERS, W.: Zum Transpirationskoeffizienten von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen; Pflanzenbauwissenschaften 1 (3), 1997, S. 97-108
- HÄNSEL, H.: Entwicklungsrelationen ertragsbildender Organe von Winterweizen und ihre Bedeutung für Termine zusätzlicher Nährstoff- und Wassergaben. Z. Acker- und Pflanzenbau, 100, 1956, S. 285
- MARTIN, K.-H.: Genügend Wasser für den Mais? Maisberegnung – pflanzenbauliche Überlegungen und technische Möglichkeiten. Mais, Nr. 2, 1975, S. 26-28
- ROTH, D.; R. ROTH und K. KACHEL: Untersuchungen zum Einfluss differenzierter Wasserversorgung auf den Verlauf der Ertragsbildung und den Ertrag von Kartoffeln sowie Schlussfolgerungen für den effizienten Beregnungseinsatz; Potato Research 30, 1987, S. 625-636
- ROTH, D.: Beregnungsbedürftigkeit von Pflanzen; in: Feldberegnung III: herausgegeben vom Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL), Kiel, 1992

3 VERFAHREN DER FELDBERECHNUNG

Dr. Heinz Sourell und Hans-Heinrich Thörmann

In der Entwicklung der Bewässerungstechnik sind während der letzten 40 Jahre entscheidende Fortschritte erzielt worden. Entsprechend den Forderungen der Landwirte nach besser regulierbaren Bewässerungsverfahren, nach weniger arbeitsintensiven Methoden und schließlich nach Verfahren, die eine möglichst günstige Wasserausnutzung gewährleisten und einen niedrigen Energiebedarf erfordern, ist heute bereits die dritte Generation von Bewässerungsverfahren im Einsatz.

Der Übergang von der Oberflächenbewässerung zur Rohrberechnung, zur Nutzung von Berechnungsmaschinen sowie zur Tropfbewässerung in Intensivkulturen hat sich unter intensiver Forschungstätigkeit auf pflanzenbaulichem, technischem und technologischem Gebiet vollzogen.

Unter *Berechnungstechnik* wird die Technik verstanden, die zur Wasserverteilung auf dem Feld dient. Die Aufgaben, Grundlagen und Verfahren sind in der DIN 19655 "Bewässerung" beschrieben. Die dazugehörigen "Begriffe - Bewässerung" sind in DIN 4047, Teil 6 "Landwirtschaftlicher Wasserbau" definiert.

3.1 Planung von Berechnungsanlagen

Bei der Planung von Berechnungsanlagen 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 **Abbildung 3-1**.

Die Wasserentnahme und der Bau einer Berechnungsanlage sind von einem Genehmigungsverfahren abhängig. Dazu sind bei der jeweiligen Wasserbehörde (i. d. R. Landkreis) bestimmte Unterlagen einzureichen, wie z. B.

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

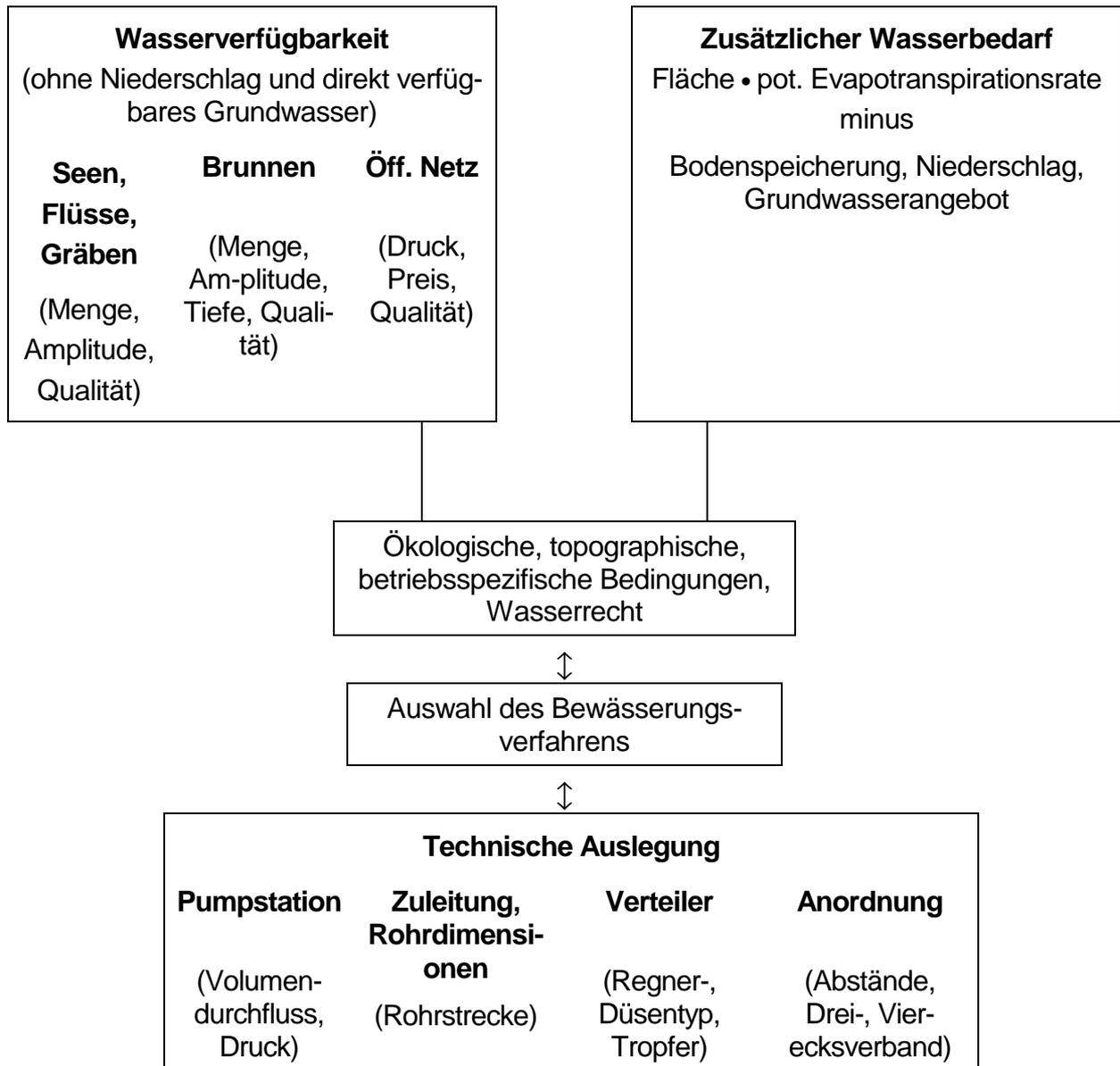


Abb. 3-1: Faktoren für die Planung einer Bewässerungsanlage

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 betriebsspezifische Daten. Der Beregnungsturnus ist der Evapotranspirationsbeanspruchung (Verdunstung) und der nutzbaren Feldkapazität des Bodens anzupassen (s. Kapitel 2.1 und 2.2). 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 Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bis zu 30 mm in einer Gabe.

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

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

mit

| | | |
|---|---|-----------------------------------|
| Q | = | Wasserbedarf im m ³ /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 m ³ /h |

Die in 10 Tagen beregnete Fläche wird errechnet aufgrund einer Beregnungshöhe von 30 mm und den für das jeweilige Verfahren optimalen Schlagabmessungen (vgl. auch Tab. 3-7).

3.2 Verfahren der Wasserbereitstellung

Die Neuanschaffung einer kompletten Beregnungsanlage ist kostenintensiv und erfordert eine gründliche Planung und fachgerechte Installation. Neben dem Erwerb einer geeigneten Beregnungsmaschine und der Zuleitung, bedarf es einer Wasserbereitstellungsanlage. Die Wahl der Wasserbereitstellung ist von den natürlichen und strukturellen Gegebenheiten abhängig und kann bei ungünstigen Verhältnissen über 50 % der Investitionskosten einer gesamten Beregnungsanlage betragen. Auch die Betriebskosten der Beregnungsmaßnahmen werden maßgeblich von der Förderung des Zusatzwassers beeinflusst. Daher müssen alle Beregnungsmaßnahmen für den jeweiligen Standort betrachtet auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht werden, um eine wettbewerbsfähige Feldberegnung zu gewährleisten.

Die Grundvoraussetzung für diese Kostenbetrachtung ist die Aufstellung von verschiedenen Varianten der Wasserbereitstellung, für die mobilen Beregnungsmaschinen und die Kreis- und Linearberegnungsmaschinen. Es werden dafür Tiefbrunnen (40 m und 80 m), Flachbrunnen (20 m) und trockenstehende Pumpenaggregate mit Förderleistungen von 50 m³/h und 150 m³/h sowie ca. 10 bar Druck am Pumpenbogen erfasst. Neben den trockenstehenden Pumpen mit Diesel-, und Elektroaggregat werden auch elektrisch angetriebene Tauchpumpen in die Erhebungen aufgenommen. Weiterhin wurden die Kostendaten für Pumpenhäuser, Pumpenschächte, Pumpstation und Zuleitungen ermittelt. Der Kapitalbedarf der jeweiligen Wasserbereitstellungsvarianten wird nach Baustellenkosten, Brunnenbohrung und Brunnenausbau sowie Pumpe und Bauwerk gegliedert. Abschließend werden die jährlichen Kosten (feste und variable Kosten) für den Betrieb der jeweiligen Wasserbereitstellungsanlagen in der Kostenkalkulation berechnet und diskutiert.

3.2.1 Wasserbereitstellung in Deutschland

Die Wasserentnahme wird je nach geographischer Lage, den hydrogeologischen Bedingungen und den wasserrechtlichen Bedingungen aus dem Grundwasser oder aus dem Oberflächenwasser durchgeführt.

Tab. 3-1: Wasserbereitstellung in Deutschland
 Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
 (2005): Lübbe, E.: Quantitative Rahmenbedingungen für den Wassereinsatz
 in Landwirtschaft und Gartenbau

| Bundesland | Grundwasser | Flüsse, Seen, Kanäle | Speicher |
|-------------------------------|-------------|----------------------|----------|
| Baden - Württemberg | 50 | 40 | 10 |
| Bayern | 85 | 15 | - |
| Brandenburg | 20 | 70 | 10 |
| Hessen | 80 | 20 | - |
| Mecklenburg-Vorpommern | 20 | 80 | - |
| Niedersachsen | 90 - 95 | 5 – 10 | - |
| Nordrhein-Westfalen | 90 | 9 | 1 |
| Rheinland-Pfalz (Gemüseanbau) | 15 | 85 | - |
| Rheinland-Pfalz (Obstanbau) | 70 | 30 | - |
| Sachsen | 10 | 70 | 20 |
| Sachsen-Anhalt | 47 | 44 | 9 |
| Schleswig-Holstein | 50 | 42 | 8 |
| Thüringen | 5 | 55 | 40 |

In der **Tabelle 3-1** ist die Art der Wasserbereitstellung prozentual in den Bundesländern aufgeführt.

Die Art der Wasserbereitstellung schwankt zwischen den Ländern erheblich. In Niedersachsen wird das Wasser für Beregnungszwecke fast ausschließlich aus dem Grundwasser gefördert, in den östlichen Bundesländern dagegen größtenteils aus oberirdischen Gewässern. Der Grund für diese Unterschiede hat auch rechtliche Hintergründe. Jede Wasserentnahme zu Beregnungszwecken bedarf grundsätzlich einer wasserbehördlichen Bewilligung oder Erlaubnis, die im Rahmen des Wasserhaushaltsgesetzes von den Bundesländern je nach Gegebenheit geregelt wird. Für die Erteilung einer Erlaubnis wird in der Regel ein förmliches Verfahren durchgeführt, welches in den Landesgesetzen unterschiedlich geregelt ist. So sind z. B. in Niedersachsen Wasserentnahmen aus Seen, Flüssen und Kanälen nur unter speziellen Bedingungen rechtlich vereinbar.

3.2.2 Brunnenbohrverfahren

Der Brunnen ist das generell bevorzugte Fassungssystem, wobei der Schichtenaufbau des Untergrundes die freie Wahl der Erstellungsmethoden erheblich einschränken kann. Zu den vertikalen Fassungen gehören der Schachtbrunnen und der Bohrbrunnen. Der Bohrbrunnen ist der häufigste Typ der Grundwassererfassung. Die Bohrungen werden bis in das zu bewirtschaftende Grundwasserstockwerk abgeteuft und mit Brunnenrohren zum Förderbrunnen ausgebaut. Im Bereich der Grundwasserschicht besteht der Ausbau aus Filterrohren, die mit einer an den Untergrund angepassten Filterkies-schüttung umgeben wird. Bis zur Geländeoberfläche werden Vollwandrohre aufgesetzt, wobei durchteufte wasserstauende Schichten abgedichtet werden. An der Oberfläche schließt in der Regel ein begehbare Schachtbauwerk den Bohrbrunnen ab.

3.2.3 Pumpen

Die Wasserentnahme für Beregnungszwecke erfolgt in Deutschland überwiegend durch Kreiselpumpen mit Elektro- bzw. Dieselmotoren. Welche Antriebsart gewählt wird, hängt vom Standort der Wasserbereitstellungsanlage ab. Sind z.B. größere Entfernungen von mehr als 1 km zwischen Brunnen und Stromanschluss zu überwinden, kann der Dieselantrieb günstiger sein. Müssen wegen der Brunntiefe Tauchpumpen eingesetzt werden, ist die Wahl eines Elektroantriebes die wirtschaftlichere Alternative. Steht keine Elektrizität zur Verfügung und ist das Grundwasser tiefer als 7 m unter der Bodenoberfläche, bleibt nur die Alternativer der Bohrlochwellenpumpe übrig. Auf eine Sonderform, der Bohrlochwellenpumpe mit Diesellaggregat- oder Schlepperantrieb wird ebenfalls in Tab. 3-2 eingegangen.

Pumpen und deren Schaltung

Bestehende Pumpstationen weisen Wirkungsgrade zwischen 40 und 60 % auf. Bei der Auswahl neuer Pumpen - i. d. R. Kreiselpumpen - ist auf einen möglichst hohen (über 60 %) Wirkungsgrad zu achten. Um mit den Pumpen in einem guten Wirkungsbereich zu arbeiten, muss schon bei der Planung einer Beregnungsanlage zum einen auf eine gute Abstimmung zwischen Förderhöhe und -menge und zum anderen auf die tatsächlich durch die Beregnungsanlage abgenommene Kapazität geachtet werden.

Am leichtesten sind diese Anpassungsverluste bei Einzelanlagen zu minimieren, bei denen je eine Pumpe einem bestimmten Beregnungsaggregat zugeordnet ist. Schwieriger wird es, wenn - was heute zunehmend die Regel ist - in Gemeinschaftsanlagen von einer zentralen Pumpstation aus mehrere Maschinen mit Wasser versorgt werden. Dabei können Spitzenförderungen, die häufig nur wenige Tage im Jahr benötigt werden, nicht abgedeckt werden. Das Problem wird von vornherein erleichtert, wenn bei solchen zentralen Pumpstationen Beregnungsmaschinen mit etwa gleichem Volumendurchfluss und Wasserdruck eingesetzt werden. Gelöst ist dadurch die optimale An-

passung der Pumpstation an den jeweiligen Bedarf aber noch nicht. Hier kann nur durch eine entsprechende Planung Abhilfe geschaffen werden.

- **Parallelschaltung**

Eine Parallelschaltung von Pumpen ermöglicht bei etwa gleichbleibendem Druck die Veränderung des Volumendurchflusses. An einem Beispiel, **Abbildung 3-2**, sind eine große und eine kleine Pumpe parallel geschaltet, so dass mit einer kleinen Pumpe ein Beregnungsgerät und mit der großen zwei oder mehrere Beregnungsgeräte bedarfsgerecht versorgt werden. Durch volumen- oder druckabhängige Schaltungen ist ein vollautomatischer Betrieb möglich.

- **Drehzahlregelung**

Eine zweite Möglichkeit ist die Drehzahlregelung. Sie erlaubt eine stufenlose Anpassung der Pumpen an die tatsächlich erforderliche Förderleistung bei konstantem Druck (Bild 3-2). Bei Elektroantrieb beträgt der Kapitalbedarf für die reine Drehzahlregelung/Frequenzumrichtung je nach Regelqualität ca. 200 €/kW - eine Technik, die immer häufiger Anwendung findet. Die Drehzahlregelung wird normalerweise in Kombination mit mehreren nicht drehzahlgeregelten, parallel geschalteten Pumpen eingesetzt.

Grundsätzlich lassen sich auch Dieselmotoren in der Drehzahl verändern, wobei druckabhängige, automatisierte Steuerungen im Angebot sind.

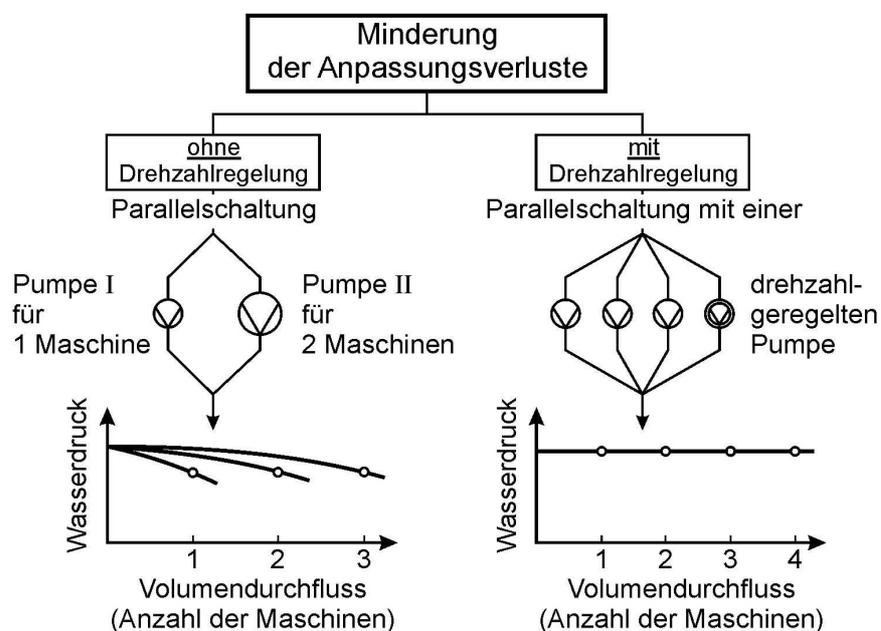


Abb. 3-2: Möglichkeiten der Pumpenschaltung für Beregnungsanlagen

3.2.4. Planung der Wasserbereitstellungsanlagen

Die Verfahren der Wasserbereitstellung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Investitions- und Energiekosten. Ihre Auswahl wird aber weniger vom Landwirt als vielmehr von den natürlichen und strukturellen Gegebenheiten bestimmt. Die grundsätzlichen Arten der Wasserentnahme sind in **Abbildung 3-3** dargestellt.

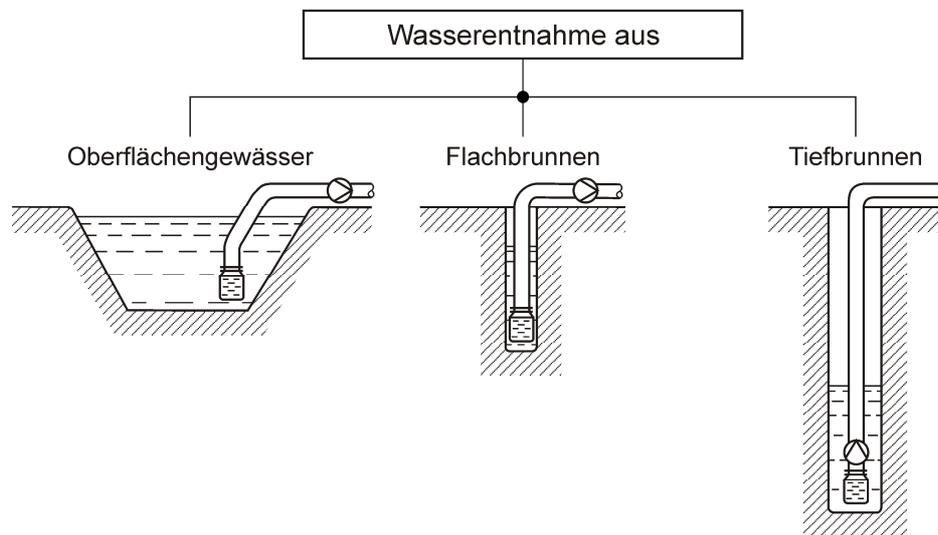


Abb. 3-3: Möglichkeiten der Wasserentnahme

Wenn eine Entscheidung für eine Wasserbereitstellungsmaßnahme nach Lage, Umfang und Bedeutung gefallen ist und die rechtlichen Bestimmungen geklärt wurden, müssen in der Regel zuständige Beratungsinstitutionen eingeschaltet werden. Der landwirtschaftliche Betrieb wird nur in speziellen Fällen in der Lage sein, alle Erfordernisse allein zur Ausführung zu bringen. Bei größeren Beregnungsprojekten sollten freie Ingenieurbüros mit der Planungsarbeit beauftragt bzw. von eingeführten und bekannten Beregnungsfirmen, die über Planungsbüros verfügen, übernommen.

Arbeitsschritte beim Brunnenbau

Nachdem die Planung einer Wasserbereitstellungsanlage durchgeführt wurde, kann mit dem Bau begonnen werden. Um den Brunnenneubau kurz zu beschreiben, werden im Folgenden die wesentlichen Arbeitsschritte einer Baumaßnahme aufgelistet und erläutert.

Baustelleneinrichtung

An und Abtransport aller Maschinen (komplette Lufthebebohranlage) und Geräte zur Erstellung der Bohrungen.

Brunnenbohrung

Abteufung einer Aufschlussbohrung und der nachfolgenden Hauptbohrung. Dieser Arbeitsschritt zählt zu den schwersten und teuersten aller Maßnahmen zum Bau einer Brunnenanlage. Komplikationen im Erdreich können die Arbeitszeit erheblich verlängern.

Brunnenausbau

Lieferung und Einbau der Brunnenausbauaterialien (Ausbauverrohrungen, Ausbauzubehöre und Schüttgüter bzw. Verpressmaterialien).

Entsandung / Entwicklung

Die Durchführung der Entsandung gehört nach dem Brunnenausbau zur wichtigsten Maßnahme und soll unter anderem den Porenraum des Grundwasser(GW)-Leiters durch Entfernen der Feinteile vergrößern und mögliche Verunreinigungen aus dem GW- Leiter entfernen.

Betriebstest / Pumpversuch

Der Pumpversuch liefert nach Abschluss der Brunnenbaumaßnahme wesentliche Informationen und Hinweise bezüglich der standortspezifischen Leistungsmerkmale und Qualitäten des Brunnens.

Brunnenabschlussbauwerk

Erdarbeiten zur Herstellung und Verfüllung einer Baugrube für das Schachtbauwerk. Einbau des Brunnenschachtes mit Brunnenschachtabdeckung und Brunnenabschlusskopf.

Pumpen, Steigeleitung, rohrtechnische Installation

Installation der Unterwasserpumpe mit Verlegung des Unterwasserkabels. Einbau der Pumpensteigrohre und des FF- Rohres.

Armaturen und Messgeräte

Einbau und Installation von unter anderem folgenden Teilen: Elektro- Schaltschrank, Frequenzumrichter, Wasserzähler, Rückflussarmaturen,

Stromanschluss

Verlegung der Stromzuführung vom Beregnungsbrunnen zum Strombezugspunkt (z. B.: Ortsnetz, Überlandleitung). Je nach dem ob die Stromleitung ober- oder unterirdisch verlegt wird, fallen entsprechende Verlegungsarbeiten und Erdarbeiten an.

Sonstiges (z. B. Entkeimung des Brunnens, Inbetriebnahme)

Abschließende Leistungen für den zukünftigen Betrieb der Wasserbereitstellung. Hierzu gehören z. B.: Dokumentation und Inbetriebnahme der Anlage einschließlich aller erforderlichen Anmeldungen beim Stromlieferbetrieb. Zusammenstellung der untersuchten Wasserbereitstellungsvarianten

Nachdem die jeweiligen Parameter und Bedingungen erläutert und die einzelnen Wasserbereitstellungsvarianten in ihren technischen Ausmaßen dargestellt wurden, können nun die Kostenberechnungen durchgeführt werden. Um einen Überblick zu bekommen, welche einzelnen Varianten auf ihre Kosten untersucht werden, sind folgend die einzelnen Varianten mit den wichtigsten Randbedingungen tabellarisch aufgeführt, **Tabelle 3-2**.

Tab. 3-2: Übersicht häufiger Wasserbereitstellungsvarianten

| Übersicht der aufgestellten Randbedingungen | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----|---------|-----|-------------|------|------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Wasserbereitstellungsverfahren | Oberflächenwasser | | | | Grundwasser | | | | | | | | | |
| | Brunnentiefe (m) | - | - | - | - | 20 | 40 | 40 | 20 | 20 | 40 | 40 | 80 | 80 |
| Fördertiefe (m) | 5 | 5 | 5 | 5 | 15 | 30 | 30 | 15 | 15 | 30 | 30 | 60 | 60 | |
| Fördermenge (m³/h) | 50 | 150 | 50 | 150 | 50 | 150 | 150 | 50 | 150 | 50 | 150 | 50 | 150 | |
| Betriebsdruck an der Beregnungsmaschine Eingang (bar) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| Pumpenantrieb | Diesel | | Elektro | | Diesel | | | Elektro | | | | | | |
| Pumpenart | KP | KP | KP | KP | KP | BW A | BW S | KP | KP | KP | KP | KP | KP | |
| Beregnungsfläche (ha) | 25 | 75 | 25 | 75 | 25 | 75 | 75 | 25 | 75 | 25 | 75 | 25 | 75 | |
| Stromkabelverlegungslänge (m) | - | - | 500 | 500 | - | - | - | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | |

Insgesamt werden 13 verschiedene Bereitstellungsanlagen in ihren Kosten untersucht. Da in der Praxis, das Oberflächenwasser mit elektrischen oder dieselbetriebenen Pumpenaggregaten gefördert wird, sind für die zwei verschiedenen Fördermengen (50 m³/h, 150 m³/h) die beiden genannten Antriebsalternativen aufgestellt. Die restlichen neun Varianten gehören zur Grundwasserbereitstellung und unterscheiden sich in der Brunnentiefe und in der Fördermenge.

Hinsichtlich der jährlichen Betriebskostenkalkulation, wurden die 13 Varianten mit drei verschiedenen Berechnungshöhen untersucht. Da die Menge an Zusatzberechnung größtenteils von den klimatischen Faktoren abhängig ist und diese jedes Jahr unterschiedlich sind, wurde für diese Kalkulation die mittlere jährliche Zusatzberechnungen in Niedersachsen von 80 mm berücksichtigt. Alle 13 Varianten wurden bezüglich der Anschaffungskosten und der betrieblichen Folgekosten analysiert und werden in Kapitel 6 näher dargestellt.

3.3 Zuleitung

Von der Entnahmestelle wird das Wasser über Zuleitungen an die Beregnungsfläche herangeleitet. Bei hohem Grundwasserstand kann auf eine Zuleitung weitestgehend verzichtet werden, weil ein Brunnenbau vor dem Feld kostengünstiger sein kann. Je nach Lage und Größe der Felder kann das Zuleitungsnetz ober- oder unterirdisch verlegt werden. Oberirdisch kommen in der Regel Schnellkupplungsleitungen oder Schlauchmaterial für kürzere Strecken zum Einsatz. Für unterirdisch verlegte Zuleitungen werden Kunststoffrohre z. B. aus PVC, PE oder GFK verwendet. Die Durchmesser der Rohre richten sich nach der Verlegelänge, dem Volumendurchfluss und dem daraus resultierenden Druckverlust.

Schon bei der Planung von Zuleitungsnetzen sollte auf einen geringen Druckverlust geachtet werden. Zur groben Abschätzung von Druckverlusten in Rohrleitungen können Nomogramme dienen. Ein Beispiel eines Druckverlust-Nomogramms für PVC-Leitungen ist in **Abbildung 3-4** dargestellt.

Bei der Planung wird auch oft von einem "wirtschaftlichen Rohrdurchmesser" gesprochen. Vereinfacht ausgedrückt ist damit folgendes gemeint: Ist der Druckverlust beim nächst größeren Rohrdurchmesser um soviel niedriger und können soviel Energiekosten eingespart werden, dass der Mehrpreis für einen größeren Rohrdurchmesser gerechtfertigt ist? Diese Antworten können i. d. R. nur Planungsbüros oder die Beratungsstellen geben.

An den Erdleitungen sind, je nach Beregnungsverfahren, im Abstand von 50-80 m Unterflurhydranten installiert. Zu unterscheiden sind frostsichere und sog. "Sommerhydranten". Frostsichere und somit selbstentleerende Hydranten werden nur dort eingesetzt, wo noch im Herbst, Winter oder frühen Frühjahr beregnet werden muss, wie z. B. Abwasser- oder Frostschtzberegnung. Für die normale Beregnung in den Sommermonaten wird eine Vielzahl verschiedener Hydranten angeboten. Bei der Benutzung von "Sommerhydranten" müssen unbedingt Entleerungsventile an den tiefsten Stellen

eingebaut werden. Empfehlenswert sind auch automatische Entlüftungsventile an den höchsten Rohrnetzstellen, um Druckschläge zu vermeiden.

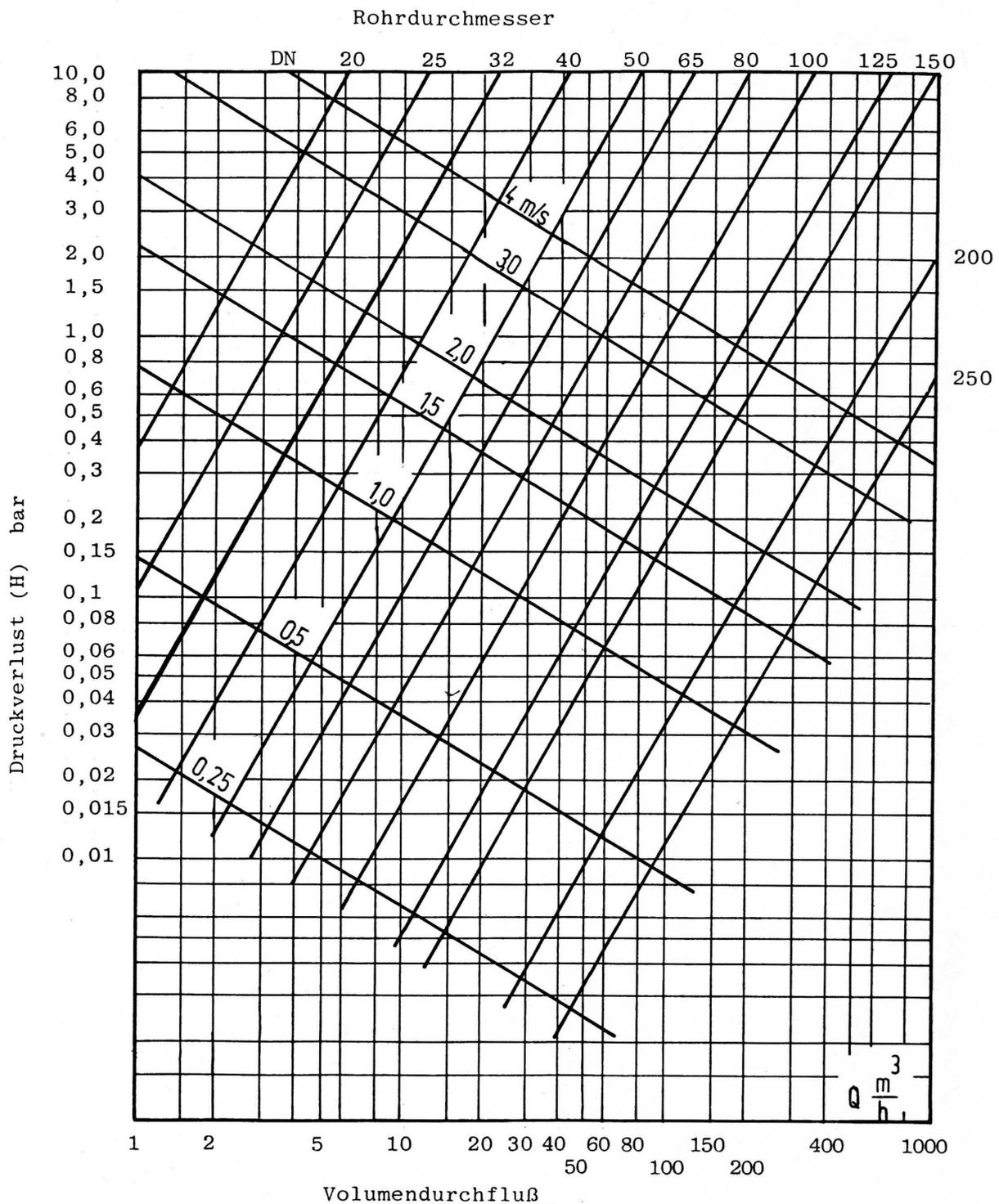


Abb. 3-4: Druckverluste und Strömungsgeschwindigkeiten in PVC-Rohren, bezogen auf 100 m Rohrlänge. Die Strömungsgeschwindigkeit sollte in der Zuleitung 1,5 m/s nicht überschreiten.

3.4 Anlagenart der Beregnungsverfahren

Hinsichtlich der Anlagenart können Beregnungssysteme in ortsfeste, teilortsfeste und bewegliche Anlagen unterschieden werden.

Ortsfeste Anlagen bestehen von der Pumpstation bis hin zum Regner aus fest verlegten 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 vorwiegend in Dauerkulturen 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.

3.5 Verfahren der Wasserverteilung

Die Verfahren der Bewässerung lassen sich in vier Gruppen unterteilen, welche sich vor allem hinsichtlich ihres Einsatzes unterscheiden, **Abbildung 3-5**. Flächendeckend eingesetzte Bewässerungsverfahren sind vor allem bei Intensivkulturen und unter ariden, mobil versetzbare Beregnungsverfahren dagegen vor allem in landwirtschaftlichen Kulturen unter humiden Klimabedingungen üblich. Die Oberflächenbewässerung hat in Deutschland keine flächenmäßige Bedeutung mehr, und daher wird auf dieses Verfahren nicht eingegangen. Ausführlich wird dieses Verfahren bei ACHTNICH [1980] behandelt.

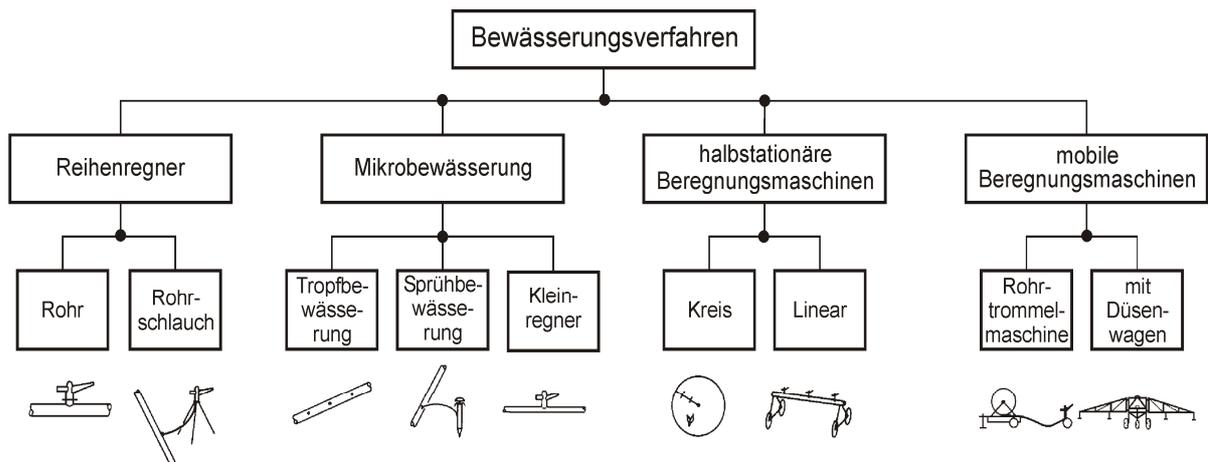


Abb. 3-5: Verfahren der Bewässerung

3.5.1 Mikrobewässerung

Eine sehr effiziente Wassernutzung und -verteilung wird mit der Mikrobewässerung erreicht. Bekannt ist sie in Form der Tropfbewässerung, der Sprühbewässerung und durch den Einsatz von Kleinregnern. Die wesentlichen Kenndaten der Mikrobewässerung sind in **Tabelle 3-3** dargestellt.

Tab. 3-3: Kenndaten der Mikrobewässerung

| Verfahren | Durchfluss [l/h] | Druck [bar] | benetzte Fläche [m ²] |
|--------------------|------------------|-------------|-----------------------------------|
| • Tropfbewässerung | 1 - 8 | 0,2 - 1,0 | punktförmig |
| • Sprühberegnung | 10 - 160 | > 1,0 | 0,75 - 12,0 |
| • Kleinregner | > 150 | > 1,0 | 12,0 - 75,0 |

Bei der Tropfbewässerung wird mit geringstem Betriebsdruck und geringem Wasservolumen unter Berücksichtigung pflanzen- und bodenspezifischer Faktoren hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung der Kulturen ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Zu einer Tropfbewässerungsanlage gehören Kopfeinheit (Steuerung), Filter- Haupt- und Verteiler- sowie Tropfleitungen, **Abbildung 3-6**. Die Tropfleitungen werden mit eingebauten oder aufgesetzten Tropfern hergestellt, welche porös, düsenartig oder mikrokanalartig ausgebildet sind.

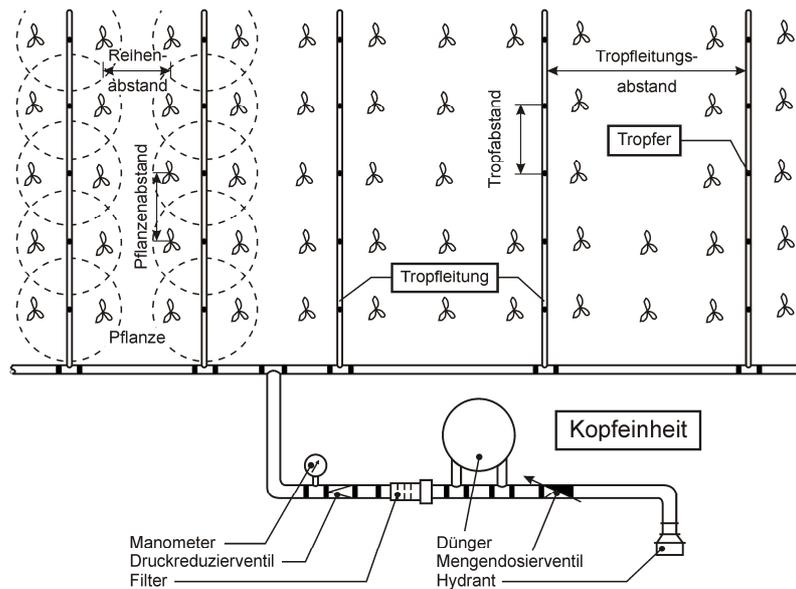


Abb. 3-6: Schematischer Aufbau einer Tropfbewässerungsanlage

Die Sprühbewässerung (Mikrodüsenbewässerung) besteht aus den gleichen Anlagenteilen wie die Tropfbewässerung. Die Sprühdüsen sind entweder direkt auf den Verteilleitungen aufgesteckt oder mit diesen über dünne Schläuche verbunden. Abweichend von der Tropfbewässerung wird - trotz annähernd gleichem Düsendruck - das Wasser bei den Sprühdüsen nicht tropfenweise, sondern in Einzelstrahlen oder als Wasserschleier verteilt. Dadurch ergeben sich ein höherer Durchfluss und eine größere benetzte Fläche. Es können auch Sektoren eines Kreises bewässert werden. Die Verstopfungsgefahr ist geringer als bei der Tropfbewässerung.

Die Kleinregner (Mikrodrehstrahlregner) sind direkt auf der Rohrleitung angeschlossen, seltener sind sie über Schläuche verbunden. Als Regner werden überwiegend Drehstrahlregner verwendet. Von den Schwachregnern der Feldbewässerung unterscheiden sich die Kleinregner durch geringeren Durchfluss und geringere Wurfweite, bedingt durch die Konzeption für niedrige Betriebsdrücke.

Die Tropfbewässerung hat von diesen Verfahren die weiteste Verbreitung erreicht und wird auf ca. 2 Mio. ha landwirtschaftlicher Fläche weltweit eingesetzt. Dagegen sind die Sprühbewässerung und die Kleinregner im landwirtschaftlichen Bereich relativ neu und dürften nur für Dauerkulturen in ariden und semi-ariden Klimagebieten Bedeutung erlangen.

Den Vorteilen der Tropfbewässerung hinsichtlich der Wasser- und Energieeffizienz steht ein erheblicher Arbeitszeit- und Kapitalbedarf gegenüber. Der Arbeitszeitbedarf bezieht sich hauptsächlich auf die Auf- und Abbauarbeiten bei einjährigen Kulturen oder kürzeren satzweisen Anbau, wie z. B. im Gemüsebau. Bei Dauerkulturen mit Standzeiten von 5-10 Jahren ist diese Arbeitszeit zu vernachlässigen.

3.5.2 Reihenregner

Bei den Reihenregnerverfahren werden in der Regel ein oder mehrere Regnerleitungen an eine Hauptleitung angeschlossen. Je nach Verfahrensablauf werden entweder mehrere Regner direkt auf der Regnerleitung angekoppelt, oder die Regner werden mit Seitenschläuchen mit der Regnerleitung verbunden, **Abbildung 3-7**. Sie arbeiten mit Mittelstark- oder Schwachregnern und erfordern bei einer Beregnungsintensität von 7...20 mm/h einen Wasserdruck von etwa 5 bar am Hydranten.

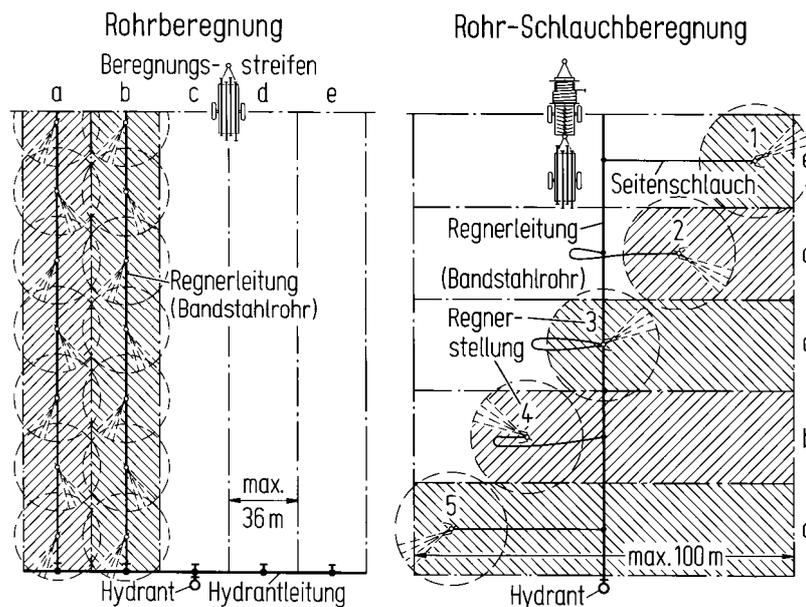


Abb. 3-7: Schematischer Aufbau der Reihenregnerverfahren

• Rohrberegnung

Die Rohrberegnung kann für Klar- und Abwasserverregnung eingesetzt werden. Bei der ortsfesten Rohrberegnung wird die Regnerleitung ober- oder unterirdisch fest verlegt und besteht aus Bandstahl oder Kunststoff. Eine Sonderform der Rohrberegnung in Dauerkulturen ist ein System, das mit Unterflurhydranten arbeitet, die sich bei der Freigabe des Wasserstromes mit einem Teleskoprohr selbsttätig an die Oberfläche schieben. Auf dieses Rohr wird der Regner gesetzt. In der Landwirtschaft haben die ortsfesten Beregnungsanlagen wenig Bedeutung erlangt.

Bei der beweglichen Rohrberegnung besteht die Regnerleitung aus Schnellkupplungsrohren mit Außendurchmessern von 50-108 mm. Die Verlegelänge kann 400 m betragen. Der Aufstellungsverband richtet sich im Wesentlichen nach der lichten Weite der Regnerleitung, deren Länge und dem eingesetzten Regner sowie nach der Düsenweite. Der Wasserverbrauch soll vom ersten bis zum letzten Regner um nicht mehr als 10 % schwanken. Das Umstellen einer beweglichen Rohrberegnung erfordert in der Regel

zwei Arbeitskräfte. Der hohe Arbeitszeitaufwand und die Arbeitsschwere haben dazu geführt, dass andere Reihenregnerverfahren entwickelt bzw. mehr und mehr die Rohrberegnung von der Beregnungsmaschine abgelöst wurden.

- **Rohr-Schlauchberegnung**

Bei diesem Verfahren werden über spezielle Anschlussstücke auf der Regnerleitung (Bandstahlrohr) Seitenschläuche (3/4-1 Zoll) mit einer maximalen Länge von 40 m angeschlossen und im rechten Winkel zur Regnerleitung ausgezogen. Am Ende des Seitenschlauches ist ein Regnerstativ mit einem Drehstrahlregner angebracht. Damit kann bei einer Aufstellung der Regnerleitung durch seitliches Versetzen der Regnerstative ein maximaler Feldstreifen von 100 m Breite beregnet werden. Für den Transport werden von den Beregnungsfirmen spezielle Rohr-Schlauchwagen angeboten, die die Auf- und Abbauarbeiten erleichtern.

3.5.3 Halbstationäre Beregnungsmaschinen

Unter halbstationäre Beregnungsmaschinen werden Verfahren verstanden, die zwar im Betrieb beweglich sind, aber nicht ohne größere Umbaumaßnahmen von einem Schlag auf einen anderen versetzt werden können. Die bekanntesten halbstationären Beregnungsverfahren sind die Rollende Regnerleitung, die Linear- bzw. geradeaus fahrende Maschinen und die Kreisberegnungsmaschinen, **Abbildung 3-8**.

Der Einsatz dieser Verfahren setzt eine größer strukturierte Landbewirtschaftung mit Schlaggrößen ab 40 ha und möglichst einheitlicher Fruchtart mit häufigem Beregnungseinsatz voraus. Deshalb wurden in den alten Bundesländern diese Verfahren kaum eingesetzt. In Ostdeutschland dagegen wurden ca. 87 % der Beregnungsfläche mit diesen Verfahren beregnet.

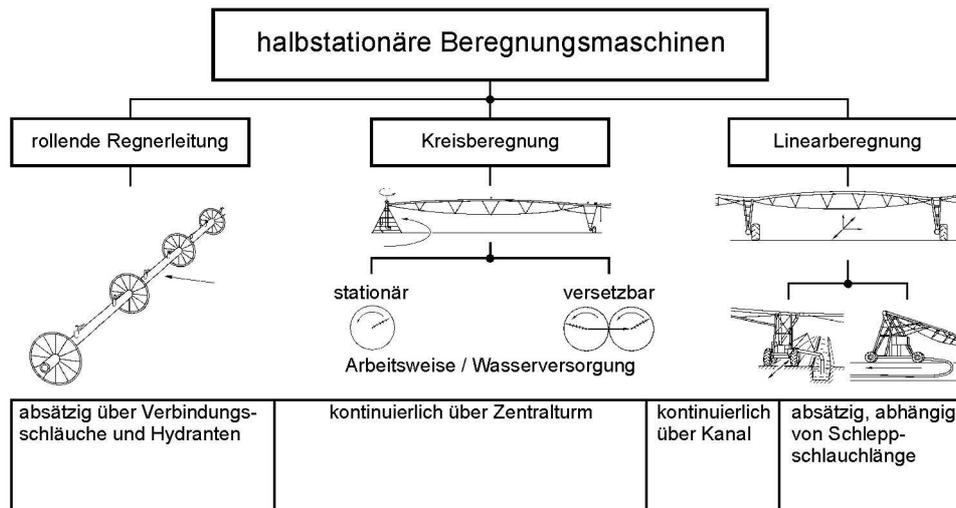


Abb. 3-8: Verfahren halbstationärer Beregnungsmaschinen

- **Rollende Regnerleitung**

Die Rollende Regnerleitung wurde bis 1990 zu ca. 80 % in Ostdeutschland eingesetzt, sie ist heute ohne Bedeutung.

- **Kreisberegnungsmaschinen**

Kennzeichnend für diese Beregnungsmaschinen ist, dass eine auf Rädern über ein Stützgestell befestigte Regnerleitung mit Schwachregnern oder Düsen unterschiedlicher Weite fahrend sich um einen Mittelpunkt dreht. An diesem Mittelpunkt liegt gleichzeitig der Wasserhydrant, der mit einer Zuleitung oder direkt mit dem Brunnen hydraulisch verbunden ist, **Abbildung 3-9**. Während der Drehbewegung entsteht ein beregnetter Kreis mit einem Radius, der der Regnerleitungslänge plus Wurfweite des letzten Regners oder Düse entspricht. Es können auch Teilflächen eines Kreises beregnet werden, indem eine Sektorschaltung verwendet wird. Die Regnerleitung ist auf einem Fahrgestell aufgebaut. Jedes Fahrgestell verfügt über einen hydrostatischen oder elektrischen Antrieb.

Aufgrund einfacher Kontroll- und Steuerungsmöglichkeiten hat sich der Elektroantrieb durchgesetzt. Die gleichmäßige kreisförmige Vorwärtsbewegung erfolgt durch die Synchronisation von Messen und Ausgleichen etwaiger Abknickungen im Rohrverlauf. Die durchschnittliche Beregnungsmaschinenlänge beträgt ca. 400 m. Je nach Volumendurchfluss hat die Rohrleitung einen Durchmesser von 108-208 mm. Moderne Kreisberegnungsanlagen sind meistens in Form von Spannbogenträgern aus mehreren starren, bis zu 55 m langen Rohrsegmenten aufgebaut.

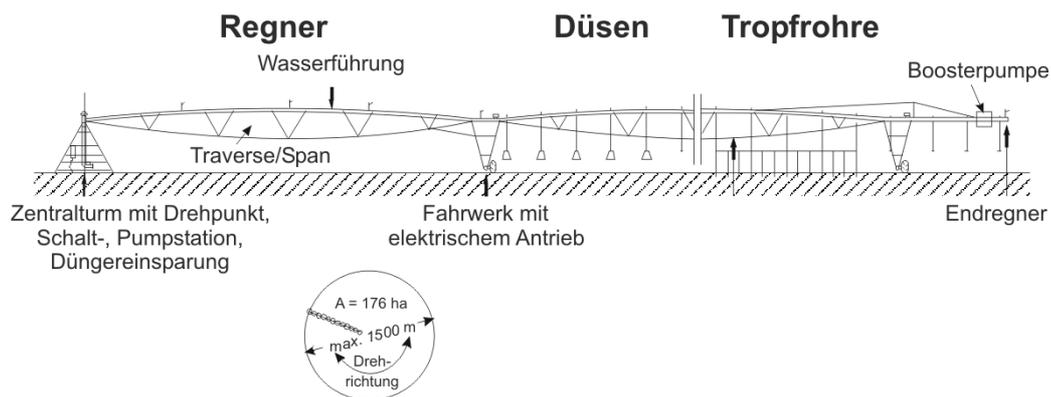


Abb. 3-9: Schema einer Kreisberegnungsmaschine

• Linearberegnungs- bzw. geradeaus fahrende Maschinen

Linearberegnungsmaschinen sind als konsequente Weiterentwicklung der Kreisberegnungsmaschinenteknik anzusehen. Denn in der anfänglichen Entwicklung der Kreisberegnungstechnik war es nur möglich, ca. 80 % eines Quadrates zu beregnen; gleichzeitig lagen die Erfahrungen von der rollenden Beregnung vor. Die Kombination beider Verfahren bot sich an.

Die modernen Linearberegnungsmaschinen sind heute im technischen Aufbau mit den Elementen einer Kreisberegnungsmaschine vergleichbar. Unterschiede ergeben sich lediglich in

- dem Verfahrensablauf,
- der Energie- und
- der Wasserversorgung.

Verfahrensablauf

Grundsätzlich können durch die kontinuierliche Vorwärtsbewegung rechteckige Felder mit Lauflängen der Maschine von 400-1200 m je Feldaufstellung beregnet werden. Die Linearberegnungsmaschine selbst kann eine Baubreite von 400 m bei einseitiger oder 800 m bei mittiger Wasserzuführung haben. Abgestufte Baubreiten von 75-1200 m sind möglich. Nach der Durchfahrt eines Beregnungsstreifens (Feld) besteht die Möglichkeit, dasselbe Feld mit oder ohne Beregnung wieder zu überfahren, um in die ursprüngliche "Startposition" zu gelangen.

Soll nicht dieselbe Fläche sofort wieder überfahren werden, so besteht bei Maschinen mit einseitiger Wassereinspeisung die Möglichkeit, diese - wie bei einer Kreisberegnungsmaschine - um den zentralen Punkt der Wassereinspeisung und der Energieversorgung um 180° zu drehen, **Abbildung 3-10**. Allerdings muss diese "Schwenkfahrt" ohne Wasser erfolgen, weil die montierten Düsen oder Regner nicht für eine gleichmäßige Wasserverteilung in Kreisbetrieb ausgelegt sind.

Einsatzformen:

- a) • Linearbetrieb - (Vor- und Retourfahrt)
- b) • Pivotbetrieb
- c) • Schwenken nach außen (mit Beregnung) und nach innen (ohne Beregnung)
- d) • Schwenken nach außen 180°
- e) • Schwenken nach innen 180° - ohne Beregnung während des Schwenkens
- f) • Schwenken nach außen 90° mit Linearbetrieb vor und nach dem Schwenken
- g) • Schwenken nach innen 90° mit Linearbetrieb vor und nach dem Schwenken

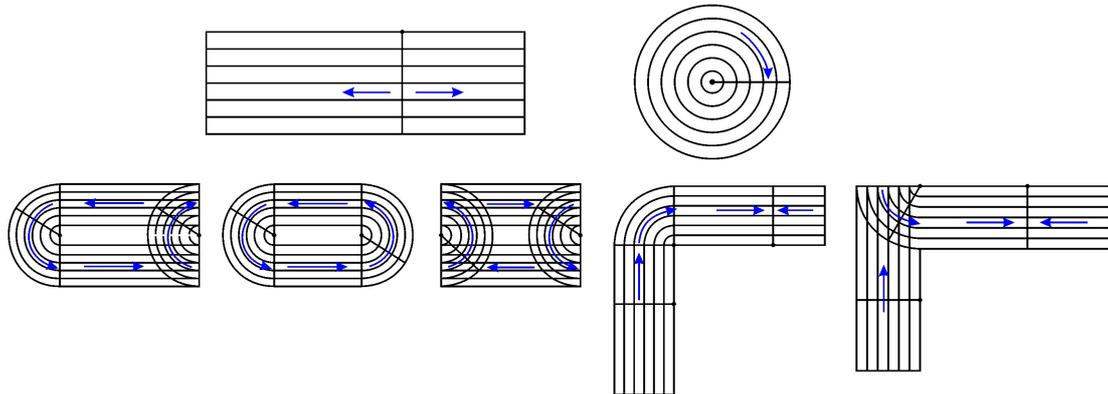


Abb. 3-10: Schema linearer Beregnungsverfahren mit zusätzlicher Rundfahrmöglichkeit innerhalb und außerhalb der Beregnungsfäche

Eine weitere Umstellmöglichkeit besteht darin, dass alle Räder der Linearmaschine um 90° geschwenkt werden und die Maschine mit einem Schlepper längs verzogen wird. Diese Zusatzausrüstung bietet sich nur dann an, wenn z. B. nach der Getreide- die Zuckerrübenberegnung ansteht, da ein ständiges Verziehen der Anlage aus arbeitswirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist. Die für den Verfahrensablauf notwendige Steuerung für die Geradeausfahrt der Maschinen erfolgt über eine Seil-, Furchen- oder Induktivsteuerung.

Wasserversorgung

Die Wasserversorgung der Linearmaschinen kann durch offene oder geschlossene Zuleitungen erfolgen. Bei der **offenen Zuleitung** werden Erd- oder Betonkanäle verwendet. Mitfahrende Pumpaggregate in Maschinenmitte oder am Maschinenrand saugen das Wasser aus dem Kanal und speisen es direkt in die Rohrleitungen der Maschine ein, **Abbildung 3-11**. Ein vollautomatischer Beregnungseinsatz ist somit bis zum Feldende möglich.



Abb. 3-11: Linearberegnungsmaschinen mit mittiger, offener Wasserzuführung, Baubreite 1000 m

Bei der **geschlossenen Zuleitung** wird die Linearmaschine i. d. R. über ein Hydrantennetz und einen flexiblen Zuleitungsschlauch mit Wasser versorgt. Dieser bis zu 200 m lange Schlauch wird von der Maschine mitgezogen. Auf diese Weise können Maschinenauflängen bis 380 m gefahren werden, bis der Zuleitungsschlauch am nächsten Hydranten angekoppelt werden muss.

Ein vollautomatischer Betrieb ist auch bei geschlossenen Zuleitern möglich, wenn sich die Maschine von Hydrant zu Hydrant (Abstand 13-19 m) bewegt und diese selbsttätig öffnet und wieder schließt. Welche Technik der Wasserversorgung gewählt wird, ist von den örtlichen Gegebenheiten und Verfahrenskosten abhängig.

Energieversorgung

Prinzipiell wird zwischen ölhydraulischem und elektrischem Antrieb unterschieden, wobei sich letzterer weitgehend durchgesetzt hat. Für die Bereitstellung des Stroms kann, ähnlich wie beim Hydrantennetz, ein "Steckdosennetz" aufgebaut werden und über Schlepperkabel die Maschinen mit Strom versorgen. Da dieser Anwendungsfall selten vorzufinden ist, wird zur Stromerzeugung i. d. R. ein mitfahrendes Dieselaggregat eingesetzt. Jeder Fahrturm ist mit einem ca. 1 kW starken E-Motor ausgerüstet.

Die Linearberechnungsmaschinenteknik vereinigt viele Vorteile anderer Bewässerungsverfahren auf sich und bietet auch eine Fülle neuer Anwendungsmöglichkeiten, so dass dieses Verfahren in den Entscheidungsrahmen bei Neuinvestitionen mit einbezogen werden sollte.

3.5.4 Mobile Berechnungsmaschinen

Die Entwicklung trommelbarer Kunststoffrohre (Polyethylen, PE) ermöglichte ab ca. 1970 eine Weiterentwicklung der Berechnungstechnik, die zu den Berechnungsmaschinen mit Regnereinzug oder Maschinenvorschub führte, **Abbildung 3-12**.

Folgende Arbeitsgänge sind je nach Hersteller bei den Berechnungsmaschinen automatisiert:

1. Selbsttätiger Einzug des Regnerwagens oder Vorschub der Maschine und Auftrommeln der Regnerleitung.
2. Führung der Regnerleitung beim Auftrommeln durch eine gesteuerte Rohrführungsvorrichtung.
3. Ausheben des Regnerwagens in Transportstellung.
4. Endabschaltung des Antriebes und/oder der Wasserzufuhr.
5. Elektronische Regelung zum gleichmäßigen Einzug der Regnerleitung oder Vorschub der Maschine.
6. Abstützung oder Absenkung der Maschine.
7. Sicherheitsabschaltung von Antrieb und Wasserzufuhr bei gestörtem Regnereinzug oder Maschinenvorschub.
8. Vor- und Nachberegnung mit Zeitverzögerung.

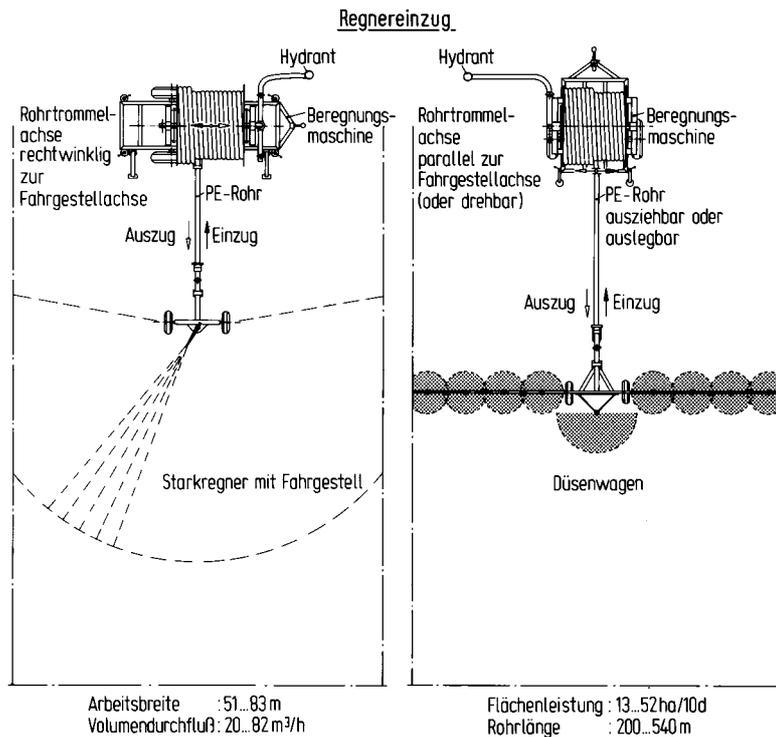


Abb. 3-12: Verfahrensablauf verschiedener mobiler Beregnungsmaschinenbauarten

Bei den Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug steht die Beregnungsmaschine am Feldrand. Die Regnerleitung mit dem Regner wird über einen hydraulischen Antrieb und eine Rohrtrommel eingezogen. Am freien Ende der Regnerleitung ist ein Regnerwagen mit einem Großflächenregner (Starkregner) oder mehreren Mittelstarkregnern auf Auslegern angekuppelt. Das PE-Rohr ist in der Transportstellung auf einer Rohrtrommel aufgespult. Der Regnerwagen wird, je nach Typ, mit einer Winde und einer Heberampe angehoben oder hinterher gezogen.

Je nach Beregnungsmaschinenfabrikat lassen sich für den Trommelaufbau und den Verfahrensablauf drei Grundkonzeptionen für Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug unterscheiden (Abb. 3-13):

1. Rechtwinklige Anordnung der Rohrtrommel zur Fahrgestellachse:
Bei dieser Konstruktion wird das PE-Rohr ausgezogen. Das Auslegen des PE-Rohres, indem die Beregnungsmaschine durch den Bestand gefahren wird, ist nicht möglich.
2. Parallele Anordnung der Rohrtrommel zur Fahrgestellachse:
Der Vorteil besteht darin, dass das PE-Rohr nach dem Verankern des Regnerwagens ausgelegt werden kann.
3. Schwenkbare Rohrtrommelanordnung auf dem Grundrahmen:
Bei gegenüberliegenden Feldstücken muss zum Ausziehen der Regnerleitung nur die Rohrtrommel um 180° gedreht werden.

Im Gegensatz zu Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug wird beim Verfahren mit Maschinenvorschub die Beregnungsmaschine mit aufgebautem Starkregner oder mehreren Schwachregnern auf Auslegergestellen an dem zuvor am gegenüberliegenden Feldrand verankerten PE-Rohr geführt. Der Antrieb der Maschinen kann hydrodynamisch oder hydrostatisch erfolgen. Entweder wird die Rohrtrommel direkt oder es wird das Fahrwerk und von diesem die Rohrtrommel angetrieben. Die Beregnungsmaschine führt sich dann selbständig am PE-Rohr.

Eine Weiterentwicklung dieses Beregnungsverfahrens besteht darin, dass die Beregnungsmaschine als Selbstfahrer mit Verbrennungsmotor ausgerüstet wird. Die Wegstrecken in die nächste Regnerposition und das Auslegen der Regnerleitung können somit ohne zusätzliche Zugmaschine durchgeführt werden. Dieses Verfahren mit Maschinenvorschub hat sich in der Bundesrepublik nicht durchgesetzt. Daher beziehen sich die weiteren technischen Ausführungen auf das Verfahren mit Regnereinzug.

Mobile Beregnungsmaschinen sind unter den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen einsetzbar, was zu ihrer starken Verbreitung beigetragen hat. Die Mehrzahl der Beregnungsmaschinen ist mit Großflächenregnern bei einer Beregnungsintensität von 15-30 mm/h ausgerüstet. Zur vollen Nutzung der möglichen Wurfweite, vor allem aber für eine gute Strahlaufösung, ist ein Wasserdruck am Hydranten ab etwa 7-8 bar (Regner 4-5 bar) erforderlich.

Neben Beregnungsmaschinen mittlerer Bauart (Rohraußendurchmesser 75-90 mm, Rohrlängen bis 300 m) für eine Einsatzfläche von 15-30 ha werden heute große Beregnungsmaschinen bis 700 m Rohrlänge für Beregnungsflächen von 40-60 ha und spezielle kleine Beregnungsmaschinen mit 50 mm Rohraußendurchmesser für Einsatzbereiche von 5-10 ha angeboten. In **Tabelle 3-4** sind ausgewählte Kenndaten einiger Hersteller dargestellt.

Alle Hersteller bieten auch kleine oder größere Beregnungsmaschinen mit entsprechenden Rohrdimensionen an. Die Außendurchmesser werden von 50-140 mm angeboten. In der Rohrlänge reichen die Werte von 200-700 m. Die Kenndaten 'nutzbare Beregnungsbreite', 'Druck am Regner' und 'Volumendurchfluss' wurden den Prospekten der Regnerhersteller Komet und Nelson entnommen.

Der Kapitalbedarf wurde absichtlich als Mittelwert für jede Gruppe angegeben, weil die Herstellerangaben sehr große Schwankungen aufwiesen und nicht immer gedruckte Preislisten zum Vergleich vorlagen.

- **Antriebe von mobilen Beregnungsmaschinen**

Im Allgemeinen wird heute die Rohrtrommel der Beregnungsmaschine hydraulisch, d. h. in Form eines hydrostatischen oder hydrodynamischen Antriebes bewegt. Hierbei hat sich die Turbine in der Praxis durchgesetzt.

Tab. 3-4: Typentabelle mit ausgewählten Kenndaten einiger Hersteller für mobile Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug

| Typ | Rohrdurchmesser x Wanddicke | Rohrlänge Max. | durchschnittliche Wurfweite | nutzbare Beregnungsbreite | Düsenweite | Druck am Hydrant | Druckverlust in der Maschine | Druckverlust im PE-Rohr | Druck am Regner | durchschnittlicher Volumendurchfluß | kw-Bedarf am Hydrant | kw-Bedarf - Motorleistung | beregnete Fläche je Aufstellung | Beregnungsdauer bei 25 mm Beregnungshöhe | Flächenleistung in 7 Tagen |
|-----|-----------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|------------|------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|--|----------------------------|
| | mm | m | m | m | mm | bar | bar | bar | bar | m³/h | kW | kW | ha | h | ha |
| 1 | 50x3,7 | 160 | 27 | 38 | 10-14 | 5,9 | 1,1 | 1,76 | 3,0 | 12 | 3,2 | 3,8 | 0,7 | 13,9 | 6,4 |
| 2 | 63x4,7 | 200 | 32 | 44 | 14-20 | 6,9 | 1,1 | 2,8 | 3,0 | 21 | 6,5 | 7,8 | 1,0 | 11,5 | 10,9 |
| 3 | 75 | 350 | 41 | 58 | 16-22 | 7,8 | 1,1 | 3,15 | 3,5 | 26 | 9,2 | 11,1 | 2,1 | 20,5 | 13,9 |
| 4 | 82x6 | 400 | 39 | 54 | 16-24 | 7,8 | 1,1 | 3,2 | 3,5 | 30 | 10,5 | 12,6 | 2,3 | 19,2 | 15,6 |
| 5 | 90x6,7 | 400 | 45 | 63 | 20-26 | 7,9 | 1,1 | 2,8 | 4,0 | 41 | 14,8 | 17,7 | 2,7 | 16,2 | 21,5 |
| 6 | 100x7,4 | 400 | 47 | 66 | 20-26 | 8,3 | 1,1 | 3,2 | 4,0 | 48 | 18,2 | 21,8 | 2,8 | 14,4 | 25,0 |
| 7 | 100x9,1 | 500 | 49 | 68 | 20-28 | 9,6 | 1,1 | 4,5 | 4,0 | 52 | 22,7 | 27,3 | 3,6 | 17,1 | 27,0 |
| 8 | 110x10 | 500 | 52 | 72 | 24-30 | 9,1 | 1,1 | 3,5 | 4,5 | 63 | 26,0 | 31,2 | 3,8 | 15,1 | 32,3 |
| 9 | 110x12,3 | 600 | 53 | 74 | 24-34 | 10,4 | 1,1 | 4,8 | 4,5 | 59 | 27,9 | 33,5 | 4,6 | 19,6 | 30,6 |
| 10 | 120x9,4 | 400 | 56 | 78 | 24-36 | 8,4 | 1,1 | 2,8 | 4,5 | 74 | 28,1 | 33,7 | 3,4 | 11,4 | 37,6 |
| 11 | 120x11,4 | 600 | 57 | 80 | 24-38 | 9,8 | 1,1 | 4,2 | 4,5 | 68 | 30,4 | 36,5 | 5,0 | 18,3 | 35,3 |
| 12 | 125x11,4 | 500 | 59 | 82 | 26-38 | 8,4 | 1,1 | 2,75 | 4,5 | 75 | 28,5 | 34,2 | 4,4 | 14,5 | 38,5 |
| 13 | 125 | 700 | 58 | 81 | 26-38 | 10,2 | 1,1 | 4,55 | 4,5 | 71 | 32,7 | 39,3 | 5,9 | 20,8 | 36,6 |
| 14 | 140 | 500 | 58 | 81 | 30-40 | 7,6 | 1,1 | 2 | 4,5 | 90 | 31,0 | 37,2 | 4,3 | 12,0 | 45,3 |

Zugkraftbedarf

Ein Schwerpunkt der Weiterentwicklungen von mobilen Beregnungsmaschinen war in den letzten Jahren die ständige Forderung nach längeren PE-Rohren. Heute werden Beregnungsmaschinen mit Rohrlängen von 850 m angeboten. Damit stieg zwangsläufig der Zugkraftbedarf beim Ausziehen bzw. Einziehen (Aufwickeln) des PE-Rohres.

Zugkraftmessungen an 520 m langen PE-Rohren ergeben Messwerte von über 4000 daN je nach Bewuchs und Feuchtigkeit, **Abbildung 3-13**. Dadurch werden nicht nur sehr hohe konstruktive Anforderungen an den Beregnungsmaschinenbau, sondern auch an die Qualität des PE-Rohres gestellt.

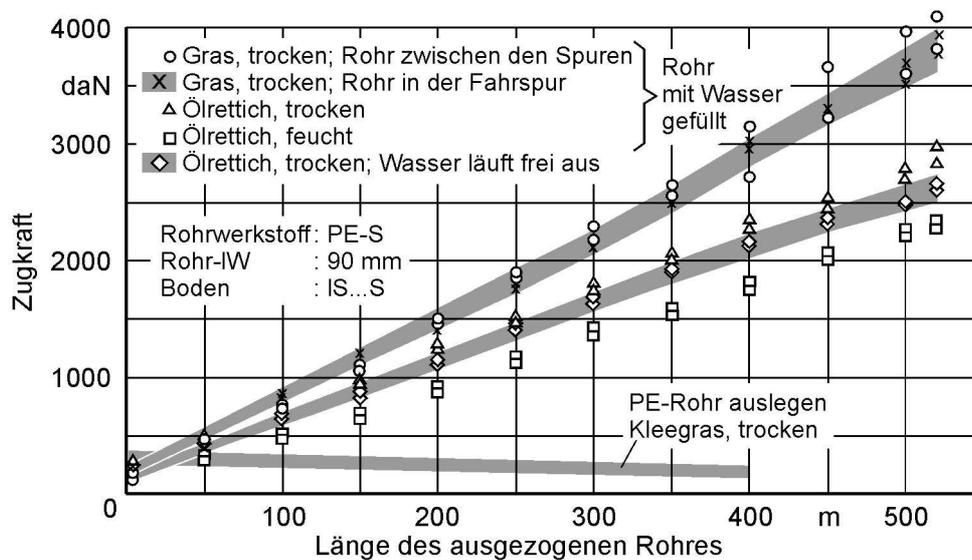


Abb. 3-13: Zugkraftbedarf beim Ausziehen einer Regnerleitung in verschiedenen Früchten

Es werden Polyethylen-Rohre nach der Europäischen Norm DIN EN 12324-2 "Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug, Teil 2: Festlegungen für Polyethylen-Rohre" angeboten. Gute Erfahrungen mit diesen Rohren liegen vor. Der Landwirt sollte auf eine 5-jährige Garantiezeit ab dem ersten Einsatz der Maschine bzw. des Rohres bestehen. Auf dem Markt werden auch von der Norm abweichende Qualitäten angeboten, was bei Preisvergleichen zu berücksichtigen ist.

Rohrlängen von über 400 m und die damit verbundenen hohen Zugkräfte lassen ein Ausziehen des Rohres zum Aufbau nur bedingt zu. Solche Rohrlängen sollten daher ausgelegt werden.

Beim Kauf sehr großer Beregnungsmaschinen muss besonders auf eine gute Abstützung geachtet werden, die sowohl einen sicheren Stand der Maschine gewährleistet als auch in der Handhabung noch zu vertreten ist. Besondere Beachtung sollten die si-

cherheitstechnischen Hinweise an der Maschine oder in der Betriebsanleitung finden, besonders im Hinblick auf Teile, die unter Zugspannung stehen.

Mit der Rohrlänge und dem Rohrdurchmesser ist auch der Wickeldurchmesser der Rohrtrommel verbunden. Bei großen Maschinen wird oft eine Gesamtbauhöhe von 4 m überschritten. Beim Kauf solcher Maschinen muss auf jeden Fall an eine mögliche Brückendurchfahrt gedacht werden.

- **Einzugsgeschwindigkeit**

Herkömmliche Beregnungsmaschinen (ohne jegliche Steuerung oder Regelung) werden bei der Einzugsgeschwindigkeit des Regners grundsätzlich schneller, und zwar im Bereich von 20-200 %, was sich direkt auf die Wasserverteilung längs der Regnerleitung auswirkt. Die Ursachen hierfür sind

- die Anzahl der Rohrlagen auf der Rohrtrommel der Beregnungsmaschine und
- die Drehzahlveränderung der Rohrtrommel in Abhängigkeit von den abnehmenden Zugkräften.

Die Anzahl der Rohrlagen wird von der Rohrtrommelbreite und der Rohrlänge beeinflusst. Mit jeder vollen Rohrlage entsteht zur nächsten Rohrlage eine Vergrößerung des Wickeldurchmessers und somit eine Zunahme der Einzugsgeschwindigkeit, die auch als Lagensprung bezeichnet wird. Zusätzlich zu diesen Zunahmen der Einzugsgeschwindigkeit durch die Lagensprünge verändert sich über die Länge des ausgelegten PE-Rohres die Einzugskraft. Die jeweilige Einzugskraft und der jeweilige Trommelradius beeinflussen das Drehmoment - mit abnehmenden Kräften verringert sich das Drehmoment, die Drehzahl erhöht sich und somit auch die Einzugsgeschwindigkeit des Regners linear über die Rohrlänge.

Um diese Zunahmen der Einzugsgeschwindigkeiten auszugleichen, bieten sich die Steuerung und Regelung der Geschwindigkeiten an. Die mechanische Steuerung reicht allein nicht aus, um die Geschwindigkeiten über die Rohrlänge konstant zu halten, weil nur die Lagensprünge berücksichtigt werden. - Erst durch die Einführung einer elektronischen Regelung wird es möglich, beide Faktoren - Lagensprünge und Drehzahl der Rohrtrommel - auch bei unterschiedlichen Anfangsgeschwindigkeiten und somit auch die Wasserverteilung konstant zu halten, **Abbildung 3-14**.

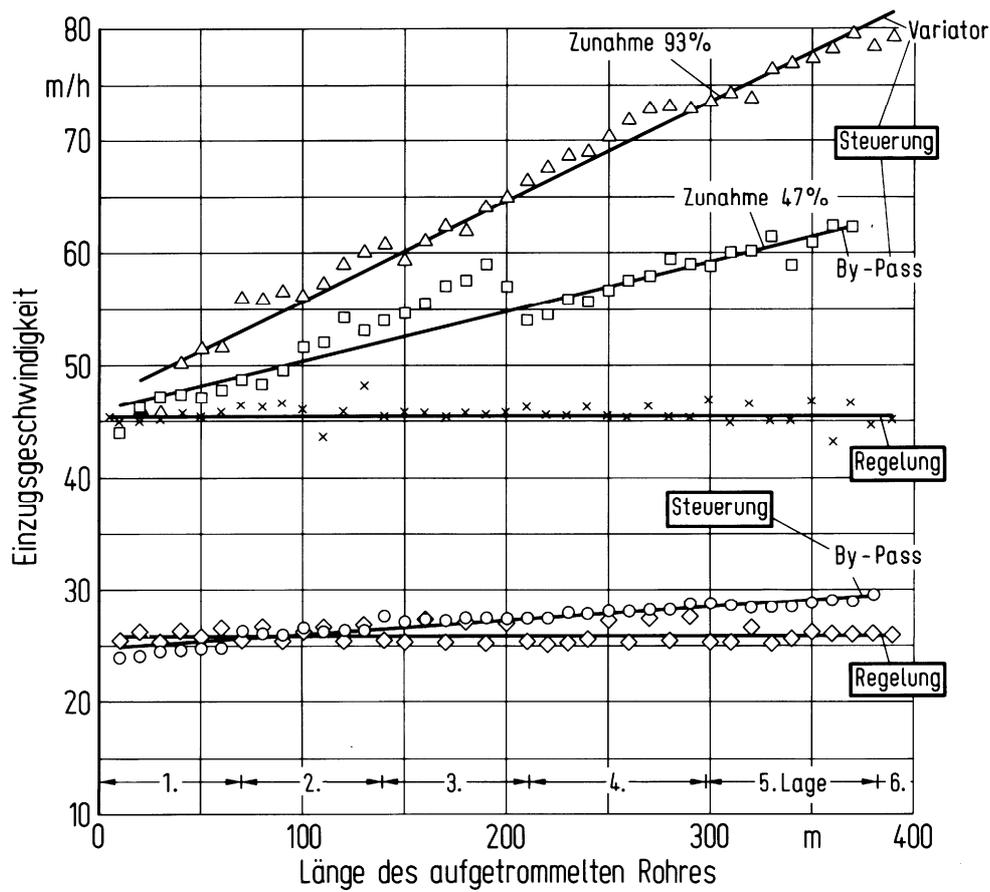


Abb. 3-14: Einzugsgeschwindigkeit bei mobilen Beregnungsmaschinen mit mechanischer Steuerung oder elektronischer Einzugsgeschwindigkeitsregelung

Durch elektronisch-technische Entwicklungen ist es möglich, ohne wesentlichen Kapitalaufwand die Wasserverteilung längs der Regnerleitung konstant zu halten und gleichzeitig eine wirksame Wasser- und Energieeinsparung zu erreichen. Die Regelungsgeräte werden üblicherweise serienmäßig eingebaut, speziell bei den großen Beregnungsmaschinen mit Rohrlängen über 400 m.

3.6 Kenndaten der Wasserverteilung

Hier haben weniger die Regnerbauart oder Düsenform als vielmehr der Wind Einfluss auf die Verteilung. Die Problematik der Wasserverteilung bei Wind verdeutlicht **Abbildung 3-15**. In der Literatur werden Abweichungen von 8-30 % je nach Windverhältnissen vom Mittelwert auch für Schwachregner genannt. Für die Großflächenregner wird ein Betriebsdruck von mindestens 4-5 bar benötigt, der einen außerordentlich hohen Energiebedarf erfordert.

Zur Verringerung dieses hohen Energiebedarfes und Windeinflusses wurden verschiedene Wege beschritten:

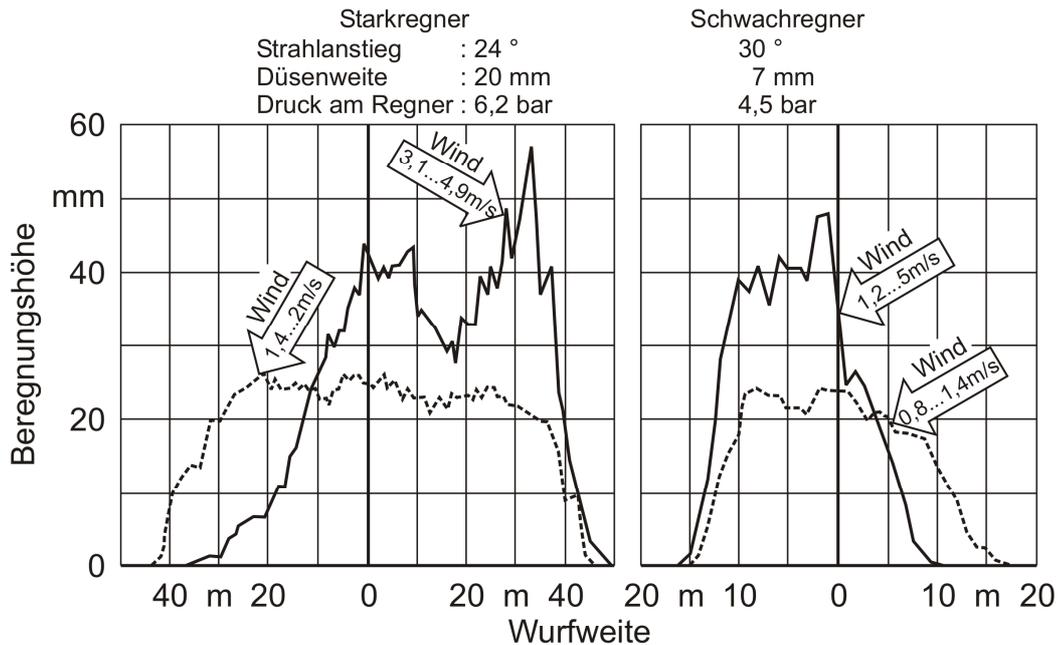


Abb. 3-15: Wasserverteilung eines Stark- und Schwachregners bei unterschiedlichen Windverhältnissen

- **Veränderung des Regnerstrahlanstiegswinkels**

Einige Hersteller bieten heute Regner mit verstellbaren Strahlanstiegswinkeln an. An windigen Tagen soll mit einem flachen und bei annähernder Windstille mit dem steileren (i. d. R. 30°) Winkel beregnet werden. Neben der Veränderung der nutzbaren Arbeitsbreite werden diese Vorteile oft überschätzt. Ein durchschnittlicher Strahlanstiegswinkel von 23° dürfte den Anforderungen der Praxis gerecht werden, wenn auch nicht bei Wind. Darum sollte der Beregnungseinsatz soweit wie möglich in windschwachen Zeiten unter Einbeziehung der Nachtstunden erfolgen.

Es werden auch Großflächenregner angeboten, die ab 2 bar Betriebsdruck eine gute Wasserverteilung bei annähernder Windstille aufweisen und eine hohe Funktionssicherheit haben.

- **Düsenwagen**

Auf die ungünstige Wasserverteilung quer zur Regnerleitung, speziell bei mobilen Beregnungsmaschinen und Einsatz von Drehstrahlregnern bei Windeinfluss, wurde wiederholt hingewiesen. Eine Verbesserung der gleichmäßigeren Wasserquerverteilung ist daher im wesentlichen an die Entwicklung windunempfindlicher Wasserverteilsysteme gebunden. Zur Lösung dieser Aufgabe wurden Ausleger für Regnerwagen oder für Beregnungsmaschinen mit Maschinenvorschub entwickelt. Bei der Wasserverteilung über solche Verfahren hat sich eine Vielzahl von Düsen durchgesetzt, die auch an Kreis- und Linearberegnungsmaschinen Verwendung finden.

Die Ausleger für mobile Beregnungsmaschinen haben eine Breite bis zu 72 m und erreichen somit Beregnungstreifenbreiten von Großflächenregnern. Die konstruktive Ges-

taltung der Ausleger und deren Düsenbestückung sind herstellerspezifisch. Ein Beispiel zeigt **Abbildung 3-16**.



Abb. 3-16: Düsenwagen mit 72 m nutzbare Arbeitsbreite

Bei Einsatzversuchen zeigte sich, dass mit diesem Verteilungssystem der Windeinfluss gegenüber den bisher üblichen Großflächenregnern weitgehend reduziert werden kann. Ein Beispiel dafür ist in **Abbildung 3-17** wiedergegeben.

Der Arbeitszeitbedarf für den Auf- und Abbau sowie den Transport des Düsenwagens hat sich gegenüber den anfänglichen Modellen wesentlich reduziert. Auch die Handhabung hat sich wesentlich verbessert. Die Ein-Mann-Bedienung ist möglich, da das Klappen teilweise über Ölhydraulik erfolgt und eine hydraulische Höhenverstellung möglich ist. Der Kapitalbedarf ist durch die bessere Technik und Handhabung erhöht worden.

Die zuletzt genannten Punkte spielen beim Düseneinsatz an Kreis- und Linearmaschinen keine Rolle. Hier gehört die Düsenbestückung zur Standardausrüstung. Am Beispiel einer Linearberegnungsmaschine ist in **Abbildung 3-18** die Wasserverteilung bei unterschiedlichen Wind- und Fahrgeschwindigkeiten aufgetragen. Auch diese Düsen werden mit einem Betriebsdruck von nur 1,5 bar betrieben. Eine Flüssigdüngung lässt sich wegen der guten Wasserverteilung mit dieser Beregnungstechnik verbinden, soweit Düngungs- und Beregnungstermine übereinstimmen.

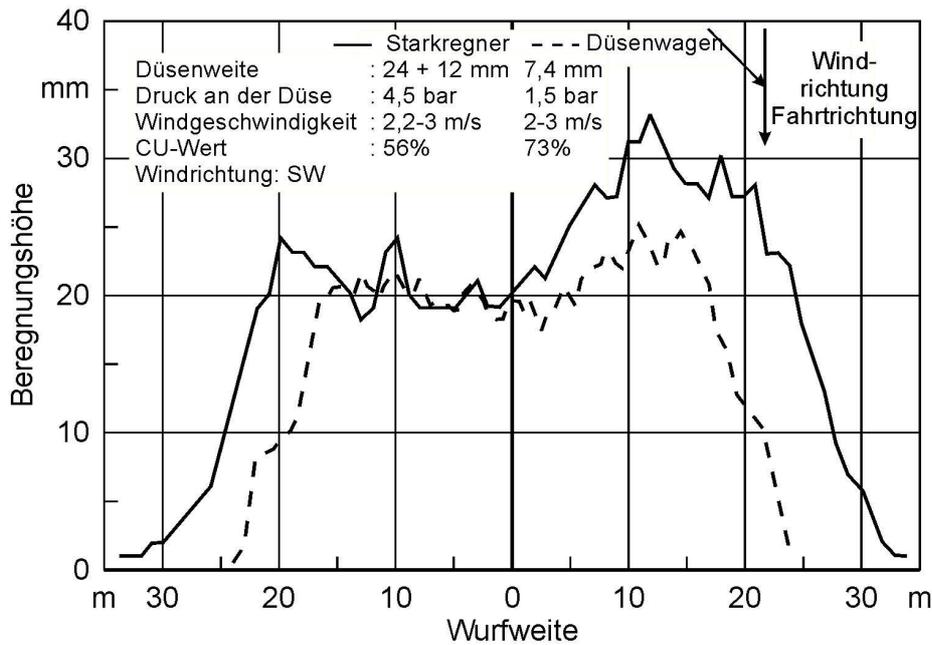


Abb. 3-17: Vergleich der Wasserverteilung zwischen Regner- und Düsenwageneinsatz

(CU-Wert = Gleichförmigkeitsbeiwert der Wasserverteilung. Er beschreibt die Güte der Wasserverteilung von einem Regner. Je höher der Wert ist, desto besser ist die Wasserverteilung. Die Werte gehen von 1-100. Christiansen hat die Formel dazu schon 1942 veröffentlicht.)

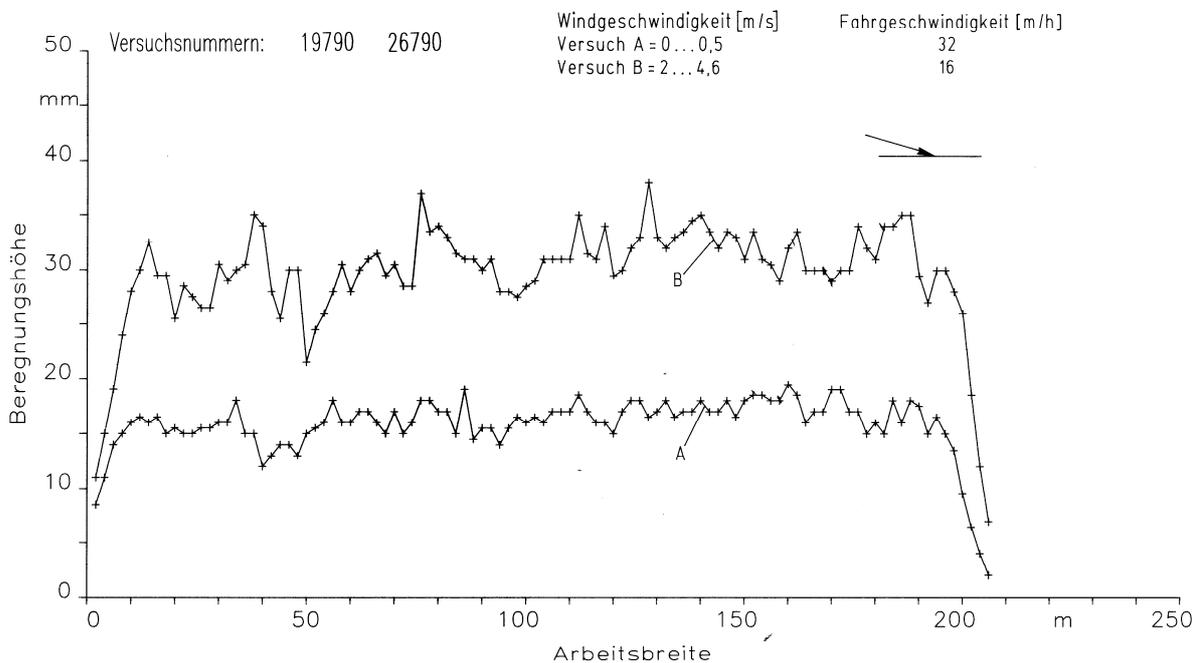


Abb. 3-18: Wasserverteilung durch rotierende Pralltellerdüsen an einer Linearberegnungsmaschine bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten (Druck an der Düse 1,5 bar)

Neben dem Einsatz von Regnern und Düsen zur Wasserverteilung für mobile und stationäre Beregnungsmaschinen ist mittlerweile die dritte Generation, die **mobile Tropfbewässerung**, im Einsatz. Sie verbindet die Vorteile der Tropfbewässerung (exakte

Wasserverteilung bei geringem Wasserdruck) mit den Vorteilen mobiler oder stationärer Beregnungsmaschinen (niedriger Arbeitszeitbedarf bei vertretbarem Kapitalbedarf). Ein Beispiel der mobilen Tropfbewässerung an einer Linearberegnungsmaschine ist in **Abbildung 3-19** dargestellt. Bei zukünftigen Investitionen sollte dieses Verfahren mit in den Entscheidungsrahmen aufgenommen werden.



Abb. 3-19: Mobile Tropfbewässerung an einer Linearberegnungsmaschine im Versuchseinsatz

3.6.1 Beregnungsintensität

Die Niederschlagsmenge wird in der Feldberegnung als Beregnungshöhe ($\text{mm} = \text{l/m}^2$) gemessen, die sich bei gleichmäßiger Wasserverteilung mit einem Regner ergibt. Die Beregnungshöhe in der Zeiteinheit wird als Beregnungsintensität (mm/h) bezeichnet.

In der Literatur wird oft folgende Formel zur Berechnung der mittleren Beregnungsintensität angegeben:

$$i_B = \frac{Q \cdot 1000}{F}$$

Q = Durchfluss (m^3/h)

F = wirksame Beregnungsfläche (m^2)

Je nach Berechnungsverfahren ist für Q der Durchfluss eines einzelnen Regners bzw. die Summe aus sämtlichen Regnern oder Düsen des Verfahrens einzusetzen. Unter der wirksamen Berechnungsfläche F wird dabei jene Fläche verstanden, die von der Berechnungsmaschine gleichzeitig beregnet wird (Schinke und Voigt, 1981).

Beim Düsenwagen setzt sich die Fläche F vereinfacht aus einem Rechteck zusammen, welches dem Produkt der Arbeitsbreite der Düsen AB_D (identisch mit doppelter Wurfweite $2W_O$) und der Arbeitsbreite des gesamten Düsenwagens AB_{DW} entspricht.

Der Durchfluss ist für diese Berechnung für den gesamten Düsenwagen Q_{DW} zu ermitteln:

$$i_B = \frac{Q_{DW} \cdot 1000}{AB_D \cdot AB_{DW}} \quad \text{in mm / h}$$

Tab. 3-5: Vergleich der Beregnungsintensitäten verschiedener Beregnungsverfahren

| Beregnungsverfahren | Rohrberegnung | Großflächenregner | Düsenwagen |
|-----------------------------------|---|--|--|
| • Einsatz- kenndaten | Kreisregner, (7 mm Düse, 3,5 bar) im Dreiecksverband; $a = 24$ m; $b = 24$ m | mit Sektorschaltung, $\alpha = 270^\circ$ $W_O = 36,4$ m; $\eta_{AB} = 2 W_O \cdot 70 \%$ | 17 Düsen, (7,1 mm; 2 bar); $AB_D = 18$ mm |
| • Berechnung | $i_B = \frac{Q \cdot 1000}{a \cdot b}$ | $i_B = \frac{31831 \cdot Q}{W_O^2(0,17\alpha + 10,2)}$ | $i_B = \frac{Q_{DW} \cdot 1000}{AB_D \cdot AB_{DW}}$ |
| • Durchfluss Q bzw. Q_{DW} | 3,48 m ³ /h u. Regner | 46,4 m ³ /h | 46,4 m ³ /h |
| • nutzbare Arbeitsbreite | 24 m | 51 m | 51 m |
| • Beregnungs- intensität i_B | 6,0 mm/h | 19,9 mm/h | 50,5 mm/h |
| • Einstufung nach DIN 4047 | Schwach- bis Mittel- starkberegnung | Mittelstark- bis Starkberegnung | Starkberegnung |

Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten in der Bundesrepublik verwendeten Beregnungsverfahren mit dem Düsenwagen bezüglich ihrer Beregnungsintensität anhand beispielhafter praxisüblicher Daten, **Tabelle 3-5**, verglichen werden. Dadurch soll festgestellt werden, in welcher Größenordnung sich die Unterschiede bewegen. Demnach kann man die Düsenwagenberegnung nach dieser Beispielsrechnung aus Sicht der Beregnungsintensität als Starkberegnung einstufen, obwohl sie von den Eigenschaften (6-8 mm Düsenweite, ca. 1,5-2,0 bar Druck und 2-3 m³/h Durchfluss pro Düse) eher als Schwachberegnung anzusehen wäre (vgl. Sourell und Thörmann, 1992).

Zur Einstufung und zur Berechnung der Beregnungsintensität liegen in DIN 4047 und DIN EN 14049 folgende Kenndaten vor:

Schwachberegnung

Zur Schwachberegnung werden Regner mit einer Düsenweite von 4-7 mm Durchmesser bei einem Volumendurchfluss von 1-4 m³/h eingesetzt. Die Beregnungsintensität beträgt 3-7 mm/h bei einem entsprechenden Betriebsdruck von 2-4 bar.

Mittelstarkberegnung

Die Regner haben Düsenweiten von 8 -20 mm und werden mit 2,5 bis 6 bar betrieben. Die Beregnungsintensität beträgt 7 bis 20 mm/h

Starkberegnung

Bei der Starkberegnung kommen Düsen mit einem Durchmesser > 16 mm bei einem Betriebsdruck von 4-6 bar zum Einsatz. Es wird ein Volumendurchfluss von > 20 m³/h erreicht. Die Beregnungsintensität beträgt mehr als 20 mm/h.

Für die Beregnung ist eine optimale Zuordnung von Beregnungsintensität und Infiltrationsgeschwindigkeit des Bodens von besonderer Bedeutung. Die Einsatzgrenzen verschiedener Beregnungsverfahren mit unterschiedlicher Beregnungsintensität werden im wesentlichen von den Faktoren Bodenbedeckung, Hangneigung und Bodenart bestimmt. Richtwerte für die zulässige Beregnungsintensität zeigt **Tabelle 3-6**. Die Richtwerte zeigen, daß auf mittleren und schweren Böden die mit der Beregnungsmaschine gegebenen hohen Wassergaben mit einer Beregnungsintensität von 15-35 mm/h nicht zu vertreten sind.

Tab. 3-6: Richtwerte für die Beregnungsintensität auf unterschiedlichen Standorten [nach CZERATZKI]

| Hang- neigung % | Boden- bedeckung | B o d e n | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | mittel (Löß) mm/h | mittelleicht (sand. Lehm) mm/h | leicht (lehm. Sand) mm/h | sehr leicht (Sand) mm/h |
| bis 4 | gering | 8 - 18 | 13 - 25 | 18 - 35 | 25 - 50 |
| | gut | 10 - 25 | 18 - 35 | 25 - 60 | 35 - 75 |
| 4 bis 8 | gering | 5 - 13 | 10 - 18 | 13 - 25 | 18 - 35 |
| | gut | 8 - 18 | 15 - 25 | 25 - 35 | 25 - 60 |
| über 8 | gering | 4 - 8 | 8 - 13 | 10 - 18 | 13 - 25 |
| | gut | 6 - 10 | 10 - 18 | 15 - 25 | 18 - 35 |

Soweit auf diesen Standorten überhaupt der Beregnungseinsatz erforderlich ist, müssen Verfahren mit einer schwachen bis mittleren Intensität zum Einsatz kommen. Bei ungenügender Bodenbedeckung durch die Pflanze ist der Einsatz von Starkregnern auch auf leichten und sehr leichten Böden problematisch. Dies gilt ebenfalls für Getreide, das bei Starkberegnung und fortgeschrittener Vegetation zur Lagerung neigt. Die Verwendung von kleineren Düsen ist deshalb von Fall zu Fall besonders zu prüfen.

Der Konflikt in der Diskussion um zu hohe Beregnungsintensitäten besteht darin, dass einerseits eine hohe Flächenleistung verlangt wird, die einen hohen Volumendurchfluss pro Zeiteinheit zur Folge hat, und andererseits ein langsamer Landregen von der Beregnungstechnik gewünscht wird. Letztendlich muss hier eine betriebsspezifische und auch ökonomische Entscheidungsrechnung aufgestellt werden. Schließlich muss auch an den Bodenschutz gedacht werden.

3.6.2 Wasser- und Energiebedarf

Bei einem Vergleich der Beregnungsverfahren muss auch verstärkt auf den Energie- und Wasserbedarf geachtet werden, zumal zunehmend Beschränkungen auch bei der Nutzung des Wassers durch die Landwirtschaft in intensiven Beregnungsgebieten zu befürchten sind.

Eine Gegenüberstellung des Energie- und Wasserbedarfes erfolgt am Beispiel der intensiven Zuckerrübenberegnung. Energie- und Wasserbedarf sind demnach bei mobilen Beregnungsmaschinen mit 800 kWh pro Hektar u. Jahr - verursacht durch den erforderlichen hohen Wasserdruck - und einem unterstellten Wasservolumen von 1.200 m³ pro Hektar u. Jahr am höchsten, **Abbildung 3-20**. Bei den Reihenregnern mit Rohren ge-

nügt ein niedrigerer Wasserdruck, so dass der Energiebedarf auf etwa 650 kWh je Stunde u. Jahr sinkt. Weitere Einsparungen sind bei den halbstationären Beregnungsmaschinen möglich. Bei der Tropfbewässerung kann wegen des geringen Wasserbedarfes und niedrigen Wasserdruckes der Energiebedarf auf etwa 135 kWh je Stunde pro Hektar u. Jahr reduziert werden.

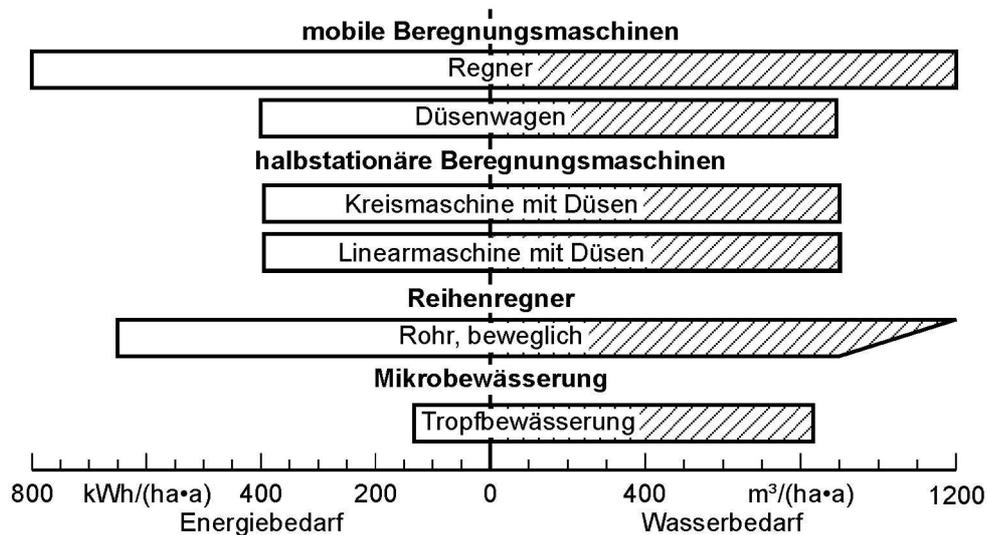


Abb. 3-20: Wasser- und Energiebedarf verschiedener Beregnungsverfahren

Weiterhin sind durch die verlustlose Zuteilung des Wassers direkt an die Pflanze Wassereinsparungen bis zu max. 30 % möglich, ohne dass nach unseren Untersuchungen eine Beeinträchtigung des Beregnungserfolges zu befürchten ist. Vom Energie- und Wasserbedarf ist die Mikrobewässerung also eindeutig den anderen Beregnungsverfahren, insbesondere den mobilen Beregnungsmaschinen überlegen.

Zwischen mobiler Beregnungsmaschine mit Regnereinsatz und der Tropfbewässerung sind die Wasserverteilungsverfahren mit Düsen einzustufen, die sich hinsichtlich des Wasser- und Energiebedarfes stark den Daten der Tropfbewässerung nähern.

3.6.3 Flächenleistung

Ein Maßstab für die technische Leistung eines Beregnungsverfahrens ist die Flächenleistung. Sie wird im Wesentlichen durch den Volumendurchfluss bestimmt. Aus der beabsichtigten Beregnungshöhe h_B (mm), dem mittleren Volumendurchfluss des Regners oder mehrerer Düsen Q (m^3/h) und der nutzbaren Beregnungsbreite und -feldlänge ergibt sich die berechnete Fläche je Aufstellung A (m^2). Aus diesen Werten kann die Beregnungsdauer t_B (h) je Aufstellung kalkuliert werden. Um zur Aufstellungsdauer zu gelangen, muss die Arbeitszeit pro Aufstellung hinzugerechnet werden. Aus

Berechnungsturnus, täglicher Einsatzzeit und Aufstellungsdauer lässt sich dann die tatsächliche Flächenleistung berechnen.

In **Tabelle 3-7** sind alle Einflussgrößen für die Berechnung der Flächenleistung einer typischen mobilen Beregnungsmaschine mit Starkregner zusammengestellt. Für Beregnungsverfahren mit anderen Kenndaten kann nach diesem Schema eine Verfahrensrechnung durchgeführt werden. Bei der Beregnung von sich nicht in der Beregnungszeit überschneidender Fruchtarten könnte die Flächenleistung verdoppelt werden.

Tab. 3-7: Beispiel zur Berechnung der Flächenleistung für mobile Beregnungsmaschinen mit Regner bei optimaler Beregnungsmaschinenauslastung

| Berechnung der Flächenleistung | |
|--|--|
| A. Technische Kenndaten | <i>Beispiel:</i> |
| Volumendurchfluss | Q 40 m ³ /h |
| Beregnungshöhe | H 25 mm |
| nutzbare Beregnungsbreite | 66 m |
| nutzbare Beregnungsfeldlänge | 428 m |
| beregnete Fläche je Aufstellung | F 28.248 m ² |
| tägliche Einsatzzeit | 20 h |
| Beregnungsturnus | T 10 d |
| Berechnung der Beregnungsdauer: | t |
| $t = \frac{H \cdot F}{Q \cdot 1000} = h$ | $\frac{25 \cdot 28.248}{40 \cdot 1000} = 17,6 h$ |
| B. Arbeitszeitbedarf je Aufstellung | |
| Gesamtarbeitszeitbedarf je Hektar | 0,28 h/ha |
| Gesamtarbeitszeitbedarf x F | 0,79 h |
| C. Berechnung der Aufstellungsdauer | |
| Beregnungsdauer (t) u. Arbeitszeitbedarf je Aufstellung | 18,39 h |
| D. Berechnung der Aufstellungen in 10 d = 200 h | |
| $\frac{\text{tägliche Einsatzzeit} \cdot \text{Beregnungsturnus}}{\text{Aufstellungsdauer}} = \text{Anzahl Aufstellungen}$ | |
| Aufstellungen: 10,88 | |
| E. Berechnung der tatsächlichen Flächenleistung in ha | |
| Aufstellungen x F | 30,73 ha |

3.7 Normen für die Bewässerungstechnik

Das Deutsche Institut für Normung e. V. sorgt bei der Ausarbeitung der DIN-Normen dafür, dass diese bei der Gesetzgebung und im Rechtsverkehr als Beschreibung technischer Sachverhalte herangezogen werden können. Das DIN mit seinen Organen wie, z. B. dem Arbeitsausschuss "Bewässerung", ist die autorisierte nationale Vertretung in den Gremien der internationalen und europäischen Normungsorganisationen. In Europa ist das CEN (Europäische Komitee für Normung) mit Sitz in Brüssel und international die ISO (Internationale Organisation für Normung) mit Sitz in Genf für die Bearbeitung verantwortlich. Aktuelle Informationen zu den Normungsvorhaben sind im Internet unter "<http://www.din.de>" in Vorbereitung.

• Deutsche Normen, DIN

DIN-Normen liegen zu folgenden Anwendungsbereichen vor:

- DIN 19650 – Bewässerung - Hygienische Belange
- DIN 19651 – Schnellkupplungsrohre
 - Technische Lieferbedingungen
- DIN 19653 – Bewässerungsanlagen
 - Bildzeichen und Benennungen
- DIN 19654 – Schnellkupplungsrohre, Prüfung
- DIN 19655 – Bewässerung
 - Aufgaben, Grundlagen, Verfahren
- DIN 19656 – Drehstrahlregner, Prüfung
- DIN 19658 – Wickelbare Rohre aus Polyethylen (PE) und Schläuche für Bewässerungsanlagen
 - Teil 2 – Schläuche mit Gewebeeinlage (formbeständig)
 - Teil 3 – Schläuche mit Gewebeeinlage (formunbeständig)
- DIN 4047/6 – Landwirtschaftliche Wasserbaubegriffe
 - Bewässerung

• Europäische Normen, CEN

Das von CEN/TC334 vorgeschlagene Arbeitsprogramm wird in neun Arbeitsgruppen (WG) beraten. Alle Europäischen Normen werden in den drei offiziellen CEN-Sprachen deutsch, französisch und englisch veröffentlicht.

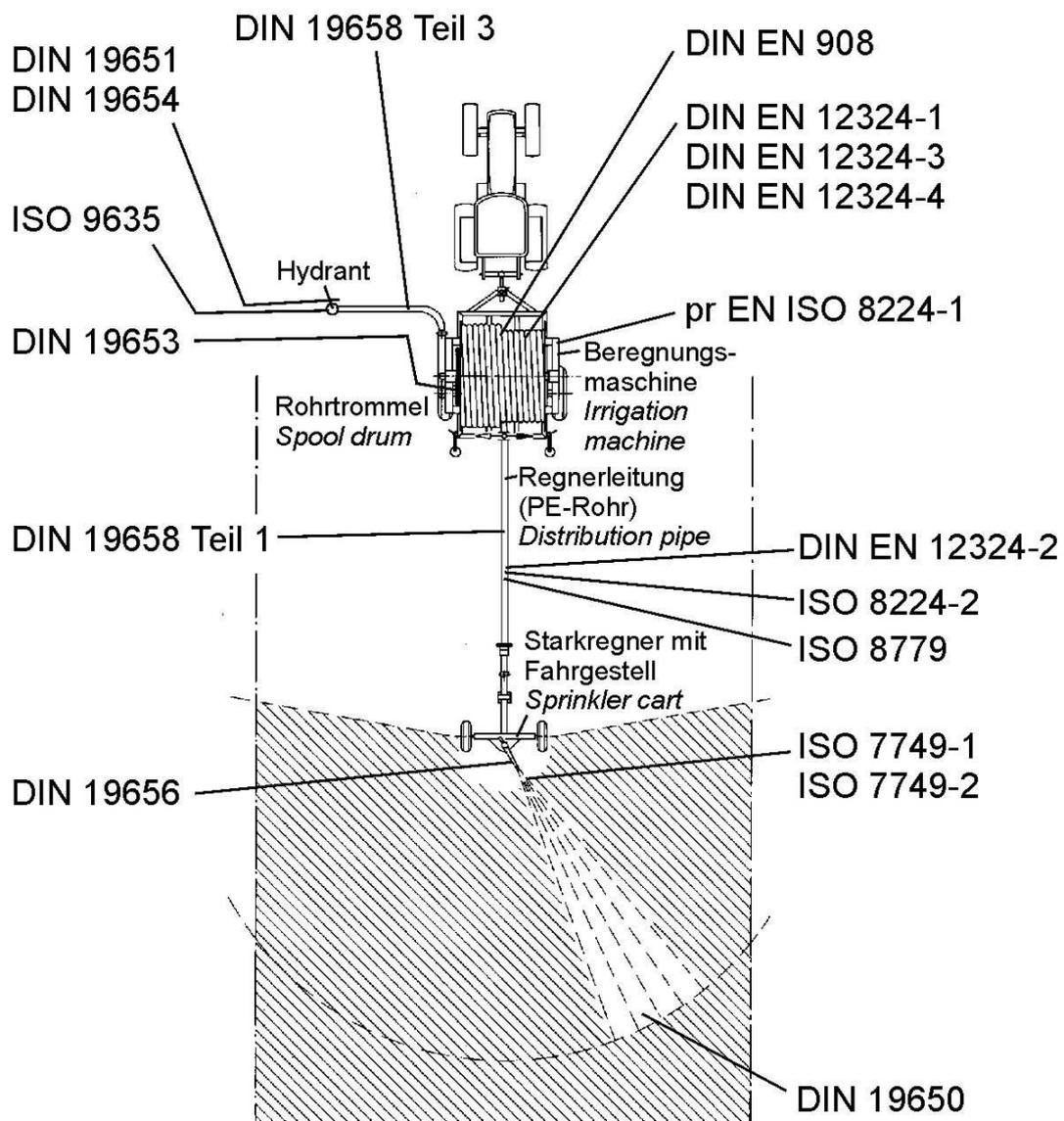
Eine Vielzahl von Normen ist im DIN-Taschenbuch 187 erschienen.

Beispielhaft sind einige Normen aufgeführt:

- Mobile Berechnungsmaschinen
DIN EN 12324 Berechnungsmaschinen mit Regneinzug
Teil 1: Baureihen
Teil 2: Festlegungen für Polyethylenrohre
Teil 3: Angabe von Kennwerten
Teil 4: Richtlinien für den Anwender
- Kreis- und Linearberechnungsmaschinen
DIN EN 12325 Kreis- und Linearberechnungsmaschinen
Teil 1: Angabe technischer Kennwerte
Teil 2: Mindestanforderungen und technische Kennwerte
Teil 3: Terminologie und Klassifizierung
Teil 4: Verfahren für die Prüfung der Leistung
- Ortsfeste, flächendeckende Systeme mit oberirdisch verlegten Regnern
DIN EN 13742 Ortsfeste Berechnungssysteme
Teil 1: Flächendeckende Systeme
Teil 2: Prüfmethoden
- Ortsfeste, flächendeckende Systeme mit unterirdisch verlegten Regnern
DIN EN 12484 Bewässerungsverfahren – Automatische Rasenbewässerungssysteme
Teil 1: Festlegung der Aufgaben und Ausrüstungen durch den Eigentümer
Teil 2: Gestaltung und Definition von typischen technischen Darstellungen
Teil 3: Regelung und Anlagensteuerung
Teil 4: Installation, Abnahme durch den Eigentümer und Sicherheit
Teil 5: Prüfung des Systems und Abnahmeverfahren
- Mikrobewässerung
DIN EN 15097 Mikrobewässerungssysteme
Hydraulische Festlegung
- Unter- und oberirdisch verlegte Leitungen
DIN EN 12734 Bewässerungsverfahren - Schnellkupplungsrohre für ortsbewegliche Bewässerungseinrichtungen - Technische Lieferbedingungen und Prüfung
Bewässerungsverfahren – Fittinge, Formteile und Zubehör für den Einsatz in Bewässerungssystemen - Eigenschaften und Prüfung
- Zubehör
DIN EN 14267 - Berechnungshydranten
DIN EN 14268 - Wasserzähler
- Arbeitsgruppe Arbeitssicherheit im CEN/TC144
EN 908 Land- und Forstwirtschaftliche Maschinen – Berechnungsmaschinen mit Schlauchtrommel - Sicherheit

- **Bewertung der Normungsaktivitäten**

Damit die Normungsarbeit ein wenig transparenter wird, wurde am Beispiel der mobilen Beregnungsmaschine und der Tropfbewässerung versucht darzustellen, wo heute schon Normen Anwendung finden, **Abbildung 3-21 u. 3-22**. Die Angaben sind insofern weder vollständig noch aktuell, als jedes Jahr neue oder überarbeitete Normen auf den Markt kommen.



- DIN-NAW, Fachbereich 119-II, Wasserbau, Arbeitsausschuß 14: Bewässerung
- CEN/TC 334 Irrigation techniques
- ISO-TC 23/SC 18 Irrigation and drainage equipment and systems

Abb. 3-21: Normen im Bereich mobiler Beregnungsmaschinen

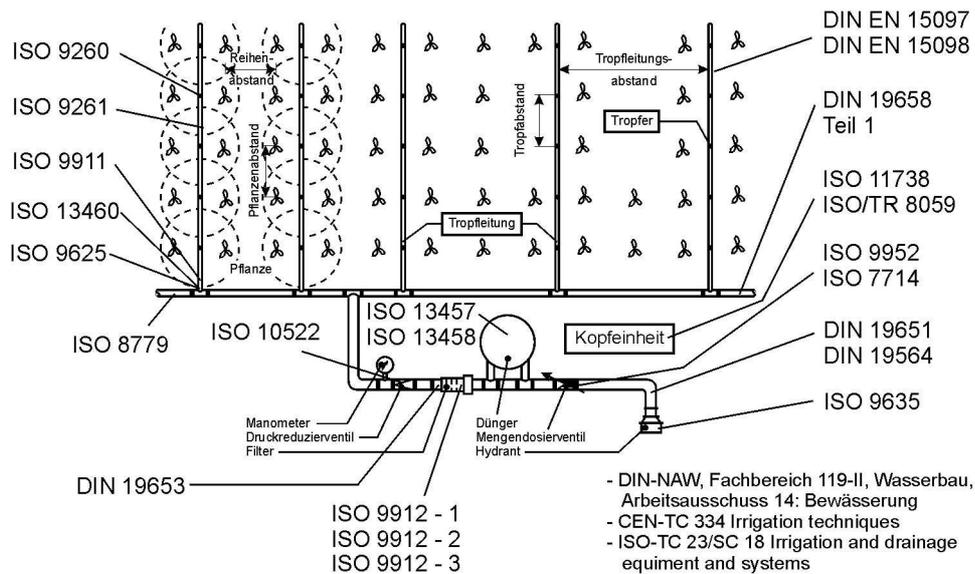


Abb. 3-22: Normen im Bereich der Mikrobewässerung

Der Anteil der DIN-Normen in Abbildung 3-21 u. 3-22 ist gering. ISO-Normen decken bereits weite Bereiche ab, und die Europäischen Normen werden zukünftig in einem ähnlich großen Feld wie die ISO-Normen angewendet werden. Von deutscher Seite wird versucht, den Inhalt von DIN-Normen in die Europäischen Normen soweit wie möglich einzubringen und dann als deutsche Fassung der Europäischen Norm mit dem Kürzel DIN EN herauszugeben.

4 Beregnung und Stoffverlagerungen

Dipl. Ing. agr. Ekkehard Fricke

Entsprechend der „Leitlinien zur ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung“, herausgegeben von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, ist eine ordnungsgemäße Feldberegnung darauf ausgerichtet, Zusatzwassergaben so pflanzennutzbar zu verabreichen, dass Verdunstung, Abdrift und Versickerung auf ein Minimum reduziert werden.

Verdunstung und Abdrift lassen sich wirksam nur durch eine ausschließliche Nachtberegnung mit i. d. R. niedrigeren Temperaturen, fehlender Sonneneinstrahlung und wenig Wind in Verbindung mit einer bodennahen und gleichmäßigen Wasserverteilung minimieren. In der Praxis ist die alleinige Nachtberegnung aber aus Kapazitätsgründen der Beregnungsanlagen oft nicht möglich.

Der Versickerung lässt sich dadurch vorbeugen, dass die Beregnung frühestens bei einer nutzbaren Feldkapazität von 50% einsetzt und ein Feuchtegehalt des Bodens von

80% der nutzbaren Feldkapazität nicht überschritten wird. Ausschließen lässt sich eine Versickerung von Wasser und Nährstoffen während der Vegetationsperiode jedoch nicht vollständig, da das geringe Wasserspeichervermögen der beregnungsbedürftigen Sandstandorte grundsätzlich auch eine höhere Austragsgefährdung bedeutet.

Nährstoffausträge aus einem Boden sind abhängig von den jeweiligen Standortverhältnissen und den Bewirtschaftungsverhältnissen. Die Standortverhältnisse sind geprägt durch das Klima, den Grundwasserflurabstand, die Bodenart und den Bodentyp. Die Bodenart und der Bodentyp bedingen das Wasserspeichervermögen (ausgedrückt in Feldkapazität) und die Wasserleitfähigkeit eines Bodens. Sie sind entscheidend für die Wasserversorgung der Pflanze, die Nährstoffverfügbarkeit sowie für die Grundwasserneubildung.

Die Bewirtschaftungsverhältnisse werden geprägt durch die jeweilige Fruchtfolge, die von den natürlichen Boden- und Standortverhältnissen, den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und den Betriebsstrukturen der jeweiligen Region abhängig ist.

In der Diskussion um Gewässerschutz wird häufig die Befürchtung geäußert, dass durch die Feldberegnung auch die Auswaschung von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, erhöht wird. Unterstellt man die Faustregel, dass auf einem wassergesättigten Sandboden 1 mm Niederschlag eine Stickstoffverlagerung von 1 cm bewirken kann, so ist eine Nitrat Auswaschung sowohl mit natürlichen Niederschlägen - vorrangig im Winterhalbjahr, aber auch durch unvorhergesehene Gewitterniederschläge während der Vegetationsperiode - als auch mit zu hoch bemessenen Beregnungsgaben möglich. Der richtigen Beregnungssteuerung (Kapitel 5.3) kommt daher eine wichtige Bedeutung im Hinblick auf eine Vermeidung von Stoffverlagerungen zu.

4.1 Nährstoffversorgung

Bei guter Wasserversorgung wird sowohl das Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanzen als auch die Nährstoffverfügbarkeit aus dem Boden verbessert (Ehlers, 1996). Durch einen ausreichend hohen Feuchtegehalt im Boden wird einerseits durch höhere Mineralisation mehr bodenbürtiger Stickstoff bereitgestellt, andererseits wird der gedüngte Stickstoff in höherer Rate von den Pflanzen aufgenommen, als bei Wasserknappheit.

Diese positive Auswirkung der Beregnung auf die Nährstoffversorgung kann an der Nährstoffaufnahmemenge durch die Pflanzen und an den N_{\min} -Werten im Boden auf beregneten und unberegneten Flächen gemessen werden. Die höhere Nährstoffaufnahme auf beregneten Flächen führt dazu, dass durch höhere Erträge auch größere

Nährstoffmengen wieder entzogen werden. Damit ist die Nährstoffbilanz (Nährstoffzufuhr minus Nährstoffabfuhr) auf beregneten Flächen vor allem in Trockenjahren deutlich ausgeglichener.

Verschiedene Versuche, u. a. von der LWK Niedersachsen langjährig durchgeführten Beregnungs- und N-Düngungsversuche, belegen diese Tatsache deutlich. Die Versuche wurden auf einem Sandstandort mit ca. 26 Bodenpunkten, ca. 70 mm nFK in 60 cm Wurzelraum und ca. 610 mm durchschnittlichem Jahresniederschlag durchgeführt.

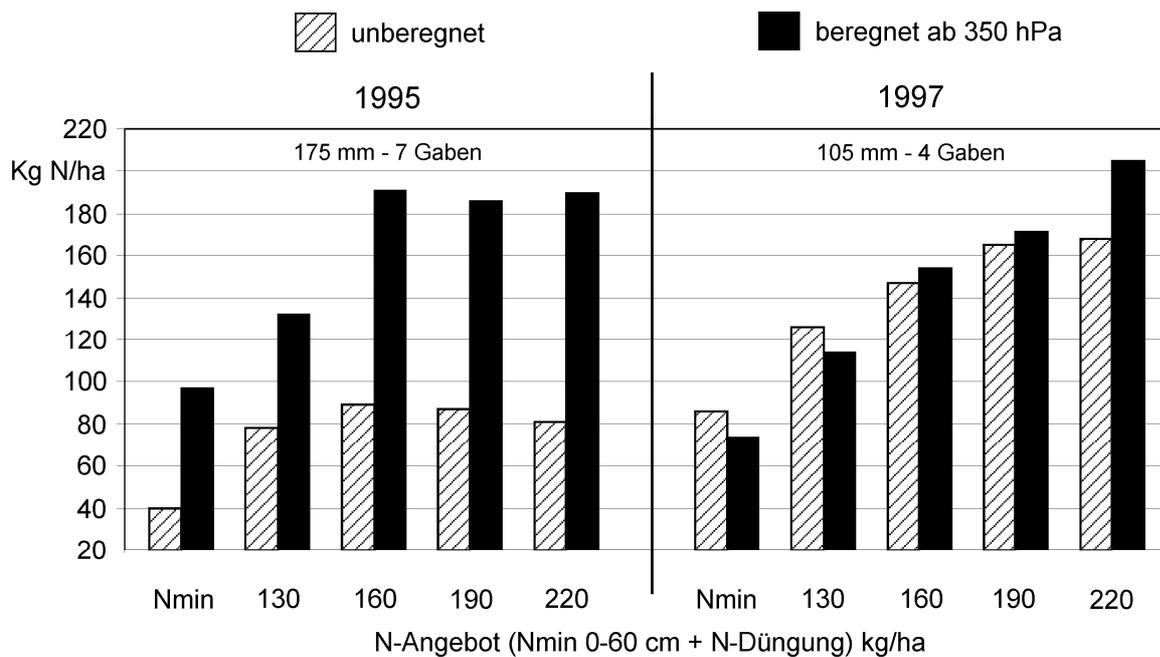


Abb. 4-1: N-Abfuhr mit Kartoffelknollen bei unterschiedlichem N-Angebot und unterschiedlicher Beregnungsmenge

Abbildung 4-1 zeigt beispielhaft die Stickstoffabfuhr von Kartoffeln bei unterschiedlichem N-Angebot und unterschiedlicher Beregnungsmenge aus dem Trockenjahr 1995 im Vergleich zum „Normaljahr“ 1997. Bei einem N-Angebot von 160 kg/ha wurden in den beregneten Varianten ungefähr 190 kg wieder entzogen, also mehr als zugeführt wurde. Dies war auf eine erhöhte Mineralisation in den beregneten Parzellen zurückzuführen. In der unberegneten Variante dagegen wurden von 160 kg/ha N-Angebot nur 90 kg entzogen. Es blieb also ein Überschuss von 70 kg N/ha im Boden zurück, der über Winter auswaschungsgefährdet ist.

4.2 Nährstoffverlagerungen

In **Abbildung 4-2** sind die in der gleichen Versuchsvariante im 14-tägigen Abstand gemessenen N_{\min} -Werte aus den Jahren 1995 und 1997 dargestellt. Zur Ernte der Kartoffeln Anfang Oktober 1995 befanden sich in den beregneten Varianten noch knapp 20 kg Stickstoff im Boden, während es in der unberegneten ca. 50 kg waren. Nach der

Ernte setzte - bedingt durch die gute Durchlüftung des Bodens beim Rodevorgang - in der unberechneten Variante eine Mineralisation des zum Teil ungenutzten Stickstoffs ein, so dass zu Beginn der Grundwasserneubildungsphase, Ende November, ca. 70 kg N/ha gemessen wurden. Die Differenz zwischen der berechneten und der unberechneten Variante lag bei knapp 40 kg N/ha. Im folgenden Frühjahr wurden auf der gleichen Fläche 26 kg N_{min} gemessen.

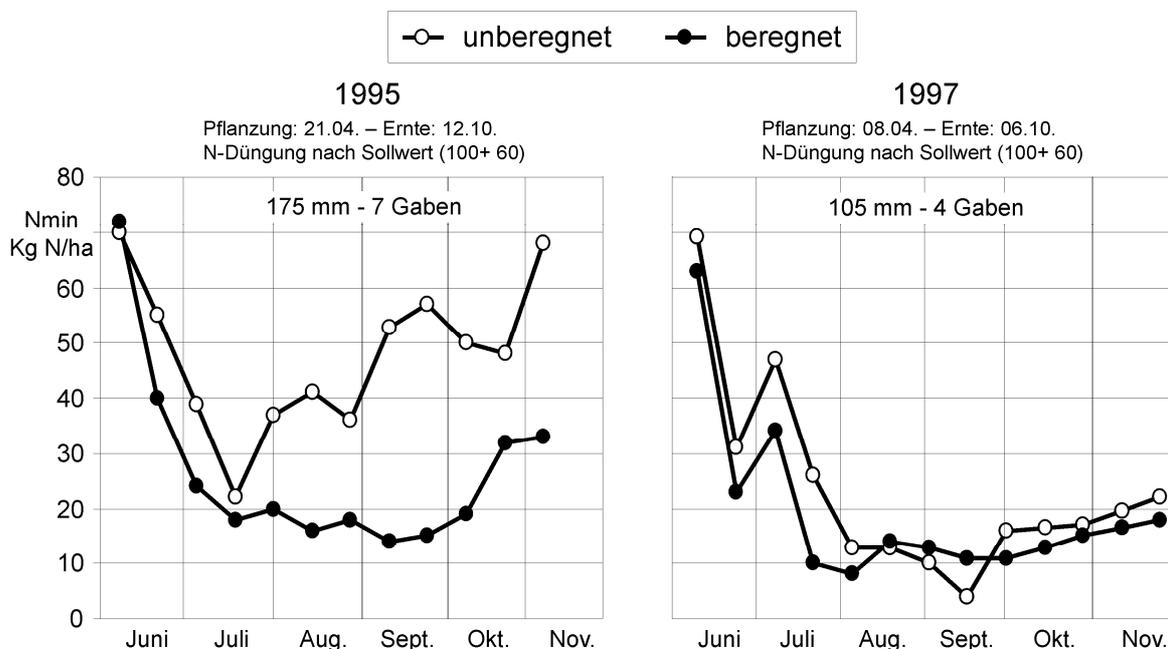


Abb. 4-2: N_{min}-Werte unter Kartoffeln

Ähnliche Werte ließen sich auch in den anderen sehr trockenen Jahren finden. **Abbildung 4-3** zeigt die N_{min}-Restwerte nach Kartoffeln in den 4 trockensten der 10 Versuchsjahre. Sie lagen in den berechneten Varianten zwischen 18 und 35 kg/ha (im Mittel der 4 Jahre bei 28 kg), in den unberechneten zwischen 63 und 78 kg/ha (im Mittel bei 69 kg). Im folgenden Frühjahr wurden dann Werte zwischen 12 und 32 kg/ha gemessen (im Mittel der 4 Jahre 20 kg). Das bedeutet, dass die Differenz zwischen im Mittel 69 kg und 20 kg in tiefere Bodenschichten verlagert worden ist und mit der N_{min}-Probenahme bis 90 cm Bodentiefe nicht mehr erfasst werden konnte.

Hier wird die große Bedeutung der Berechnung für eine Ausnutzung der gedüngten Nährstoffe sichtbar. Hohe N-Überschüsse im Herbst sind im Folgejahr für die Pflanzen nicht mehr nutzbar und befinden sich auf dem Weg in tiefere Bodenschichten und letztlich ins Grundwasser.

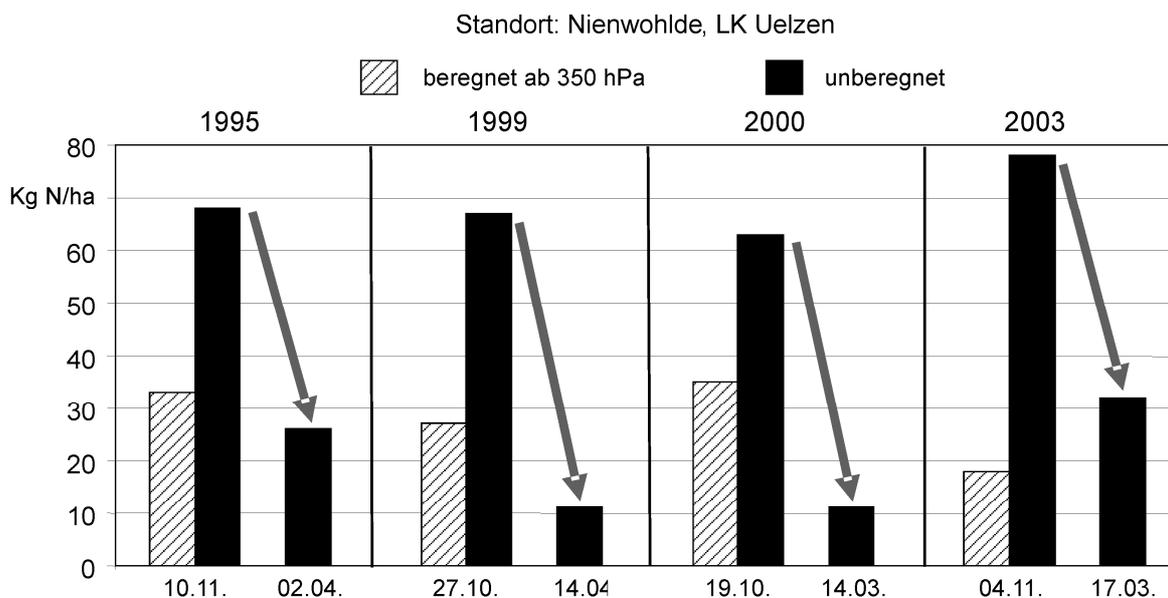


Abb. 4-3: N_{\min} -Werte nach Kartoffeln zu Beginn der Grundwasserneubildungsphase

4.3 N_{\min} -Tiefenbohrungen

Diese Aussagen können durch die nach Abschluss der 10 Versuchsjahre durchgeführten Tiefenbohrungen belegt werden – siehe **Abbildung 4-4**. Es wurden jeweils 4 Bohrungen auf den langjährig unberechneten und 4 Bohrungen auf den langjährig berechneten Parzellen bis in 12 Meter Tiefe vorgenommen. Im Mittel der 4 Bohrungen befanden sich im gesamten Profil unter den unberechneten Parzellen 168 kg Nitrat, während es unter den Berechneten nur 128 kg Nitrat waren.

Bei einer angenommenen Sickerwasserbildung von ca. 150-200 mm/Jahr ergibt sich auf dem beschriebenen Sandstandort eine jährliche Verlagerungstiefe von etwa 2 m. Mit der 12 m tiefen Bohrung dürfte damit etwa die Nitrat-Verlagerung der letzten 6 Jahre erfasst worden sein. Umgerechnet auf den jährlichen Nitrataustrag bedeutet dies: Unter den unberechneten Flächen werden jährlich 30-40 kg Nitrat ausgewaschen, während es unter berechneten Flächen nur 25-30 kg waren.

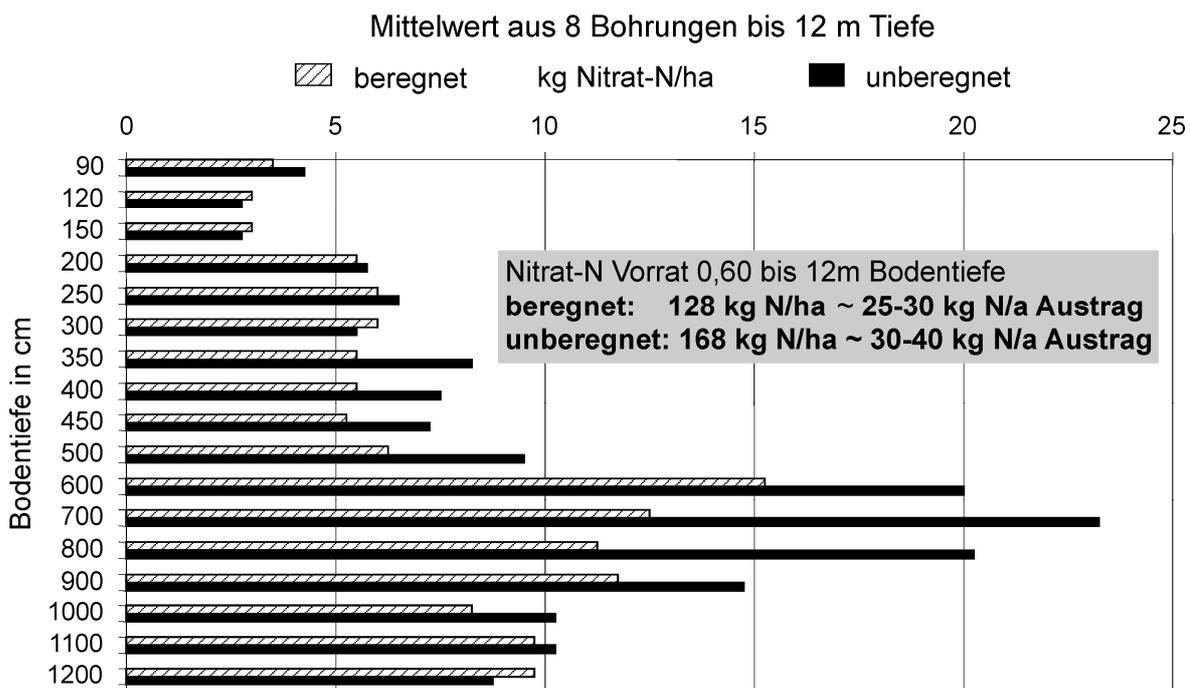


Abb. 4-4: N-Mengen im Tiefenprofil nach 10-jährigem Beregnungsversuch

4.4 Fazit

Anhand der dargestellten Versuchsergebnisse wird deutlich, dass die Beregnung vor allem in Trockenjahren für den qualitativen Grundwasserschutz deutliche Vorteile bringt. Dies ist bedingt durch eine bessere Nährstoffverfügbarkeit während der Vegetationsperiode und damit verbundenen höheren Nährstoffentzug durch die Pflanzen. Die potentielle Gefahr von Nährstoffverlagerungen ist damit auf richtig beregneten Flächen geringer.

Literatur

EHLERS, W.: Wasser in Boden und Pflanze. - Verlag Ulmer, Stuttgart (1996)

5 Beregnungsplanung und -steuerung

Prof. Dr. Peter-J. Paschold

Vorausgesetzt die Prognosen zum Klimawandel stimmen, so wird der Bewässerung auf den Anbauflächen Deutschlands in Zukunft eine wachsende Bedeutung zukommen. Alle ackerbaulichen Tätigkeiten werden massiv durch das Wasserangebot beeinflusst, weshalb der Faktor Wasser entscheidend im Produktionsprozess ist. Alle pflanzenbaulichen Maßnahmen wirken nur eingeschränkt, bei limitiertem Wasserangebot.

Die Bewässerung wird teilweise fälschlicherweise ökologisch negativ bewertet, mit der Begründung, dass damit die natürlichen Verhältnisse negativ beeinflusst werden. Dies trifft jedoch nicht zu, wenn das Wasser richtig eingesetzt wird.

Eine sachgerechte Bewässerung trägt dazu bei, dass

- die Erträge höher und die jährlichen Ertragsschwankungen niedriger werden, was eine Effizienzerhöhung aller eingesetzten Ressourcen darstellt,
- die Qualität der Ernteprodukte sowohl morphologisch als auch aus der Sicht der Inhaltsstoffe verbessert werden kann,
- die Grundwasserneubildung im Herbst früher beginnt, da die Bodenfeuchte zum Abschluss der Kultur höher ist als auf den unbewässerten Flächen.

Aber auch die Düngung wird effizienter, weil

- die Mineralisierung aus der organischen Düngung besser kalkulierbar wird,
- die Mineraldünger schnell pflanzenverfügbar werden, was deren pflanzliche Aufnahme sichert und damit die N_{\min} -Reste vermindert und somit der Nährstoffeintrag in das Grundwasser reduziert wird.

Eine Effizienzsteigerung der Bewässerung kann durch das Ersetzen alter Bewässerungstechniken durch neue, aber auch durch den objektiv begründeten Einsatz des Wassers hinsichtlich der Bewässerungstermine und der Höhe der Einzelgaben erreicht werden. Letzteres ist der Hauptinhalt der Bewässerungssteuerung, worauf noch gesondert eingegangen wird.

Der größte Effekt ergibt sich, wenn beide Wege kombiniert werden. Die Methode der Bewässerungssteuerung ist immer an die verfügbare Bewässerungstechnik anzupassen. Häufig könnte eine objektive Bewässerungssteuerung ohne großen finanziellen Einsatz in die Praxis umgesetzt werden, wenn es wirklich gewollt ist, was jedoch oftmals in den Betrieben an organisatorischen Problemen scheitert. Es ist häufig den Entscheidungsträgern nicht klar, welche erhebliche Reserve mit sachgerechter Bewässerung erschlossen werden kann.

Der Einsatz wassersparender Technologien ist immer mit höheren Kosten verbunden und somit nicht bei allen Kulturen wirtschaftlich. Deshalb versuchen die Anbauer verstärkt ihre Produktion von Pflanzenarten mit geringem Marktwert umzustellen auf Kulturen mit hohem Marktwert. Die Folge davon kann ein verminderter Marktwert dieser Produkte sein, wenn es zum Überangebot kommt.

Je teurer Wasser und Energie, aber auch je limitierter die Wassermenge ist und je höher die Preise der damit erzeugten Produkte sind, desto eher lohnt der Einsatz wassersparender Applikationstechniken, wobei die Tropfbewässerung den effektivsten Zusatzwassereinsatz ermöglicht. Darum wird diese Technik in Deutschland bisher vor al-

lem bei Arten wie Erdbeeren, Einlegegurken, Spargel und Kartoffeln eingesetzt. Unter Berücksichtigung des steigenden Zusatzwasserbedarfs an vielen Standorten Deutschlands wird diese Technik auch für andere Pflanzenarten in Deutschland immer interessanter, wobei standort- und artenspezifisch zu kalkulieren ist, ab wann sich der Einsatz ökonomisch lohnt.

Die richtige Bewässerung trägt erheblich zum wirtschaftlichen Ergebnis eines Betriebes bei und verlangt die Berücksichtigung der komplexen pflanzenbaulichen Zusammenhänge. Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte ergeben sich damit differenzierte Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Betriebe. Dafür sind grundsätzliche Kenntnisse erforderlich, die nachfolgend dargestellt werden. Entscheidend sind dabei der Gesamtwasserbedarf und der Zusatzwasserbedarf.

5.1 Wasser- und Bewässerungsbedarf

Der Gesamtwasserverbrauch von verschiedenen landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Pflanzenarten über eine gesamte Vegetationsperiode (bzw. einen Anbausatz) ist sehr unterschiedlich, **Abbildung 5-1**.

Oftmals ist die Verdunstung einer Fläche mit Kulturpflanzen niedriger als die Verdunstung einer kurz geschnittenen bewässerten Grasfläche, die für die Bewässerungssteuerung als Referenz dient. Dabei darf der Gesamtwasserbedarf nicht mit dem Beregnungsbedarf gleich gesetzt werden. Z. B. waren von dem bei Sommergerste angegebenen Gesamtwasserverbrauch von 270 mm in einer Vegetationsperiode im Hessischen Ried im mehrjährigen Mittel je nach Standort 60 bis 70 mm Beregnung für hohe Erträge erforderlich. Dabei gab es im Untersuchungszeitraum Jahre ohne Zusatzwasserbedarf aber auch ein extremes Jahr in dem 200 mm Beregnung erforderlich waren. Analog verhält es sich bei den anderen Pflanzenarten. Bei der Wasserbilanz muss zudem berücksichtigt werden, wie hoch der Wassergehalt des Bodens zu Beginn der Kultur und wie hoch er zur Ernte war.

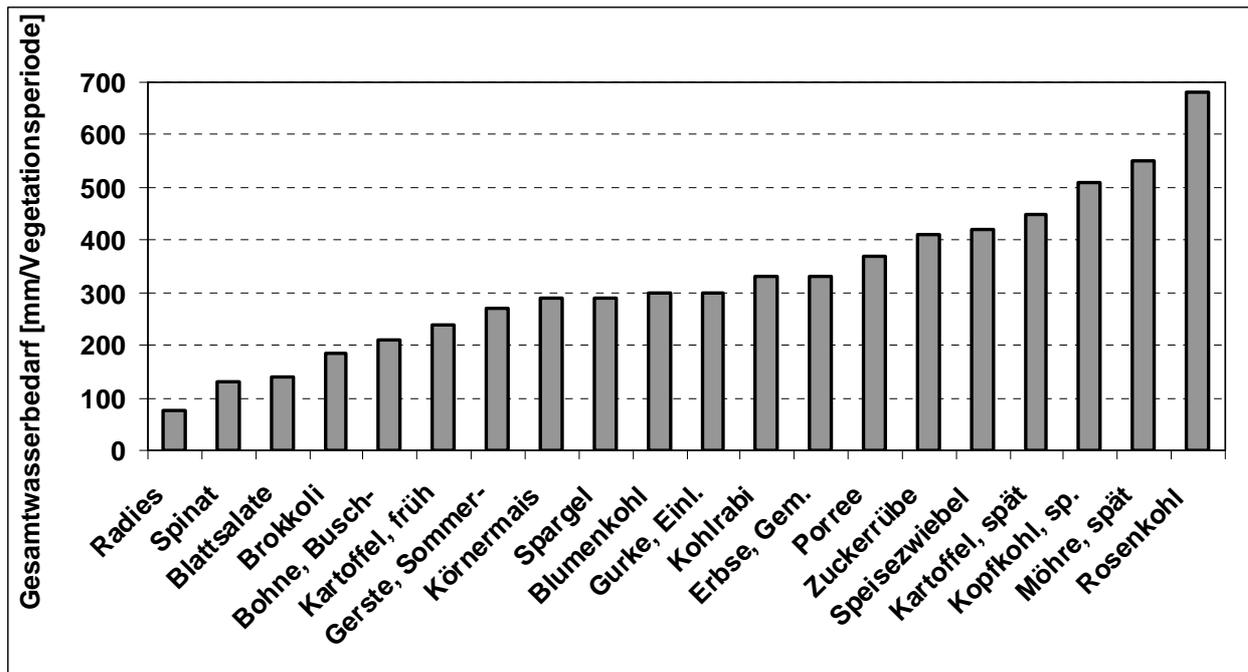


Abb. 5-1: Mittlerer Gesamtwasserverbrauch von landwirtschaftlichen Arten und ausgewählten Gemüsearten in Süddeutschland.

Allgemein ist in Norddeutschland der Bewässerungsbedarf niedriger als im Süden, da dort die Verdunstung höher und an vielen Standorten die Niederschläge niedriger sind. Die standortspezifischen Bedingungen unterscheiden sich jedoch erheblich, was für eine objektive Bewässerungssteuerung spricht. Bei vielen landwirtschaftlichen Arten liegt der tägliche Wasserbedarf zwischen Aufgang und Ernte im Bereich zwischen 3 und 4 mm/Tag. Einfluss nimmt dabei auch die am Standort erreichte Ertragshöhe. Je höher diese ist, umso höher ist allgemein auch der Wasserbedarf. Die niedrigsten Tagesbedarfswerte liegen bei 0,7 mm, die höchsten erreichen 10 mm/d. Durch Niederschläge und Bodenwasservorräte kann in einzelnen Jahren dieser Wasserbedarf vollständig gedeckt werden. Das gilt besonders für Standorte, wo die Wurzeln der Kulturpflanze das Grundwasser erreichen können. An immer mehr Standorten können zahlreiche Pflanzenarten nur noch mit Bewässerung effizient angebaut werden, da sonst die Erträge von Jahr zu Jahr zu stark schwanken und insgesamt ein wirtschaftlich zu niedriges Ertragsniveau erreicht wird. Die Effizienz der Bewässerung hängt nicht unerheblich von den erzielbaren Preisen für die Ernteprodukte ab. In den Jahren, als die Preise von Getreide auf dem Weltmarkt stark anstiegen, war es sinnvoll, wesentlich höhere Bewässerungsmengen einzusetzen, als bei niedrigen Marktpreisen. Insoweit ist die Angabe der erforderlichen Zusatzwassermengen nicht nur witterungsabhängig, sondern auch von der wirtschaftlichen Lage insgesamt, aber auch von der spezifischen betrieblichen Situation.

Die Effizienz des Wassereinsatzes wird im Anbaubetrieb in erster Linie ökonomisch bewertet. International spielt bei landwirtschaftlichen Arten z. B. der Transpirationskoeffizient eine erhebliche Rolle, da die Wasserressourcen begrenzt sind. Dieser ist ein art- bzw. sortenspezifisches Maß für die Ökonomie der Wassernutzung von Pflanzen. Er gibt an, wie viel Milliliter Wasser benötigt werden, um 1 kg Trockensubstanz zu bilden. Je niedriger der Koeffizient einer Pflanzenart an ihrem Standort ist, desto ökonomischer ist der Wassereinsatz. Je nach Lage, Sorte und Witterungsbedingungen treten dabei erhebliche Schwankungen auf, wie die Beispiele der Tabelle zeigen (Tab. 5-1)

Tab. 5-1: Schwankungsbereich von Transpirationskoeffizienten ausgewählter Pflanzenarten

| Pflanzenart | Transpirationskoeffizient (mm/kg Trockenmasse) | |
|-------------|--|------|
| | niedrig | hoch |
| Kartoffel | 250 | 500 |
| Mais | 300 | 400 |
| Zuckerrübe | 350 | 450 |
| Weizen | 250 | 550 |
| Luzerne | 800 | 1000 |
| Roggen | 400 | 700 |
| Hafer | 400 | 600 |

Dieser Aspekt des Wassersparens spielt auch in Deutschland eine zunehmende Rolle, was sich darin ausdrückt, dass gebietsweise festgelegt wird, wie viel Wasser im Mittel von z. B. 5 Jahren für die Berechnung genutzt werden darf. Diese Situation wird sich noch verschärfen, wenn die Voraussagen zum Klimawandel eintreffen. Um zu erkennen, ob sich der Wasser- und Bewässerungsbedarf in den letzten Jahren verändert hat wurden an der Forschungsanstalt Geisenheim im Fachgebiet Gemüsebau modellhaft für sieben Standorte Deutschlands für zahlreiche Gemüsearten Wasserbilanzen basierend auf langjährigen Witterungsdaten des Deutschen Wetterdienstes errechnet. Das Beispiel Frühblumenkohl am Standort Geisenheim zeigt, dass der Klimawandel nicht erst kommen wird, sondern dass der Berechnungsbedarf in den letzten Jahren bereits deutlich gestiegen ist, **Abbildung 5-2**.

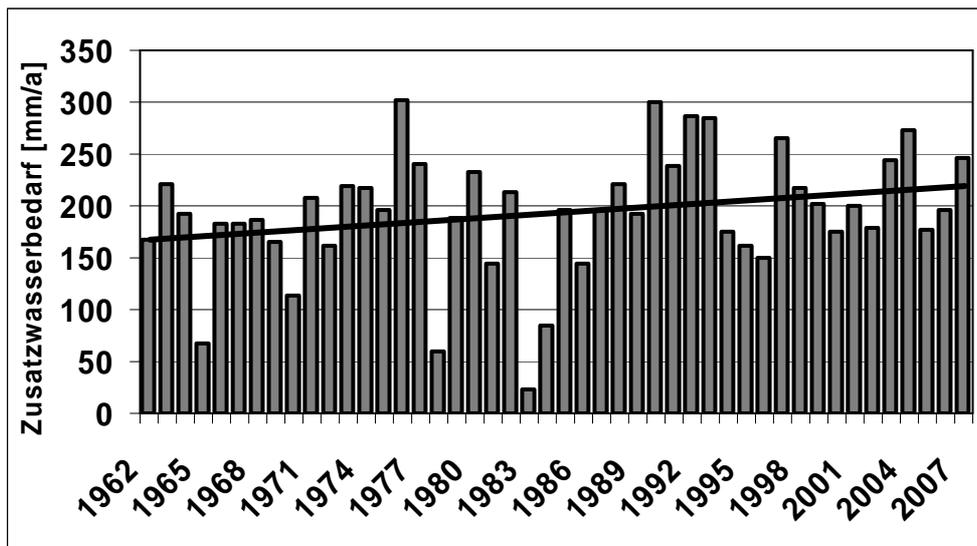


Abb. 5-2: Jährlicher Zusatzwasserbedarf bei Frühblumenkohl am Standort Geisenheim

Neben dem Beregnungsbedarf für die einzelnen Jahre kann z. B. auch dargestellt werden in wie viel Prozent der Jahre welche Beregnungsmengen erforderlich waren, **Abbildung 5-3**. Die Berechnungen für zahlreiche Standorte bestätigen auch die zunehmende Bedeutung der Bewässerung in Norddeutschland, um in Zukunft die pflanzliche Produktion zu sichern.

Viele Gemüsearten reagieren wesentlich sensibler auf Fehler bei der Wasserversorgung als klassische landwirtschaftliche Kulturen. Die Folge von Wasserstress kann ein Totalausfall der Ernte sein. Wassermangel in einer sensiblen Phase kann z. B. bei Kopfsalat zu Blattnekrosen oder vergilbten Blättern führen, die die gesamte Ware unverkäuflich machen. Bei Blumenkohl bildet sich ein zu kleiner Blattapparat, was mangelnde Blumengrößen und unzureichende Blumendeckung verursacht. Deshalb ist bei Kalkulationen zum Wasserbedarf und den Bewässerungsempfehlungen für Gemüse stets zu berücksichtigen, dass selbst kurzzeitiger Wassermangel artspezifische Grenzwerte nicht überschreiten darf. Das Wasserangebot muss auch unter relativ seltenen Grenzsituationen qualitativ hochwertige Erträge gewährleisten, denn in einer solchen Zeit sind höhere finanzielle Erlöse für den Anbieter zu erwarten, der ausreichende Mengen an hochwertiger Ware anbieten kann.

Die Analyse der Verdunstung und der Niederschläge zeigt bei vielen Pflanzenarten und Anbauzeiten, dass allgemein in Deutschland mit einem langsam steigenden Beregnungsmehrbedarf gerechnet werden kann. Die Angabe eines durchschnittlichen Beregnungsbedarfs für eine Pflanzenart hilft nur wenig bei der Planung der erforderlichen Beregnungskapazität eines Betriebes oder größerer Gebiete. Inzwischen liegen die Kenntnisse vor, diese Planung genau an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. Die erheblichen ökonomischen Aufwendungen für die Planung eines Beregnungsver-

bandes oder neuer Berechnungsanlagen in einem Betrieb sollten nicht an Durchschnittszahlen festgemacht werden, sondern bedarfsgerecht erfolgen. Dazu werden die örtlichen Bodenkennwerte, einschließlich der Grundwasserstände, die Niederschlags-historie und die standortspezifischen Verdunstungswerte benötigt. Dazu kommen die Angaben über den Umfang der anzubauenden Pflanzenarten in der Fruchtfolge. Allgemeine Richtwert liegen umfangreich in der Literatur vor, zeigen erhebliche Unterschiede, da ja die Bedingungen für die sie ermittelt wurden auch sehr unterschiedlich sind.

5.2 Berechnungsplanung

Für die Kalkulation des Berechnungsbedarfs, der Kapazität von Rohrnetzen, der Pumpen und der personellen Kapazitäten ist es auch erforderlich, zu wissen, wie häufig extreme Trockenjahre auftreten und wie oft mit Jahren mit einem geringeren Wasserbedarf zu rechnen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine 100 %-ige Sicherung des Zusatzwasserbedarfs, kalkuliert auf der Basis der zurückliegenden Jahre, unbezahlbar ist. Ein Restrisiko für extreme Trockenjahre wird also immer bleiben. Es hängt von den betrieblichen Belangen ab, dieses Risiko zu kalkulieren. Bei landwirtschaftlichen Arten kann dies anders bewertet werden als bei gartenbaulichen Arten. Als Beispiel soll die Abbildung 2 mit dem Blumenkohl nochmals herangezogen werden. Wird eine Berechnungsanlage so ausgelegt, dass bis maximal 200 mm beregnet werden kann, so reicht das in 59 % der Jahre für eine optimale Wasserversorgung aus, **Abbildung 5-3**. Liegt die Kapazität dagegen bei maximal 250 mm so sind in 87 % der Jahre Ausfälle zu vermeiden. Noch höher zu gehen erfordert erheblich steigende Investitionen, deren Nutzen genau zu kalkulieren wäre.

So wie es in Abbildung 5-3 dargestellt wurde, kann für jede Pflanzenart standortspezifisch die Vergangenheit abgebildet werden als Basis für die Zukunftsplanung, wobei die Auswirkungen des Klimawandels als Unsicherheit bleiben. Dies ist wesentlich genauer als allein auf der Basis von Tabellenwerten zu kalkulieren.

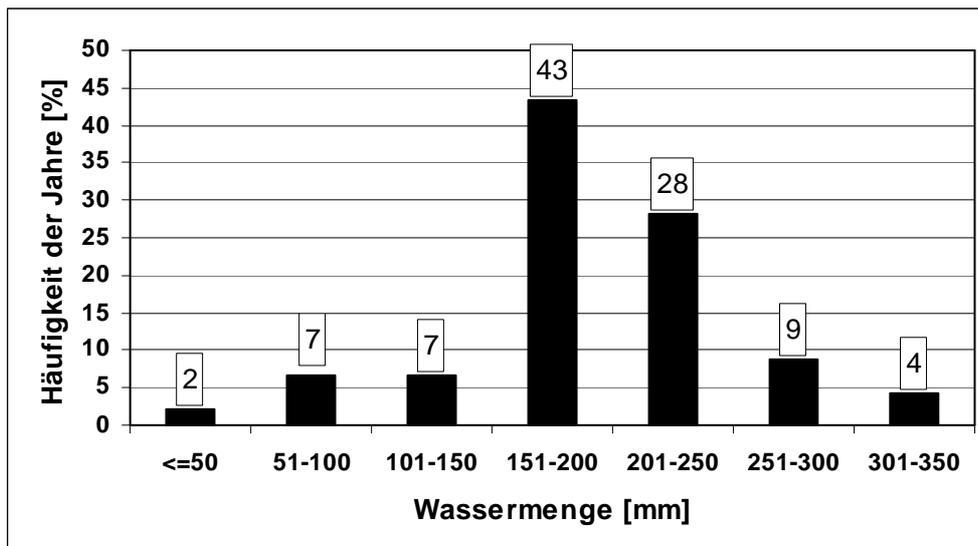


Abb. 5-3: Häufigkeit der Jahre des differenzierten Zusatzwasserbedarfs bei Frühblumenkohl am Standort Geisenheim

5.3 Bewässerungssteuerung

Anforderungen an die Bewässerungssteuerung

Auch in Deutschland bewässern die Anbauer häufig dann, wenn es Ihren Erfahrungen entspricht und wenn es betriebswirtschaftlich am besten einzuordnen ist. Doch in Trockenzeiten reichen die Wassermengen teilweise nicht mehr aus, um alle Ansprüche zu erfüllen. Zudem wird im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie, die Forderung nach einem objektiv begründeten Wassereinsatz erhoben. Wird dieser vorgenommen, so wird auch der Schutz der Umwelt am besten gewährleistet.

Der sachgerechte Zusatzwassereinsatz erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl von Faktoren, die in ihrer Komplexität kaum manuell zu beherrschen sind.

Fehler der Bewässerungssteuerung werden nur sichtbar, wenn extrem falsch gehandelt wird. Für den Anbauer wird nicht direkt erkennbar, was an Erträgen und eventuell an Wasserressourcen verschwendet wird.

Die Chance, durch objektiv gesteuerte Bewässerung den Anbauerfolg zu vergrößern, ist größer als oft angenommen, wie zahlreiche Versuchsergebnisse belegen.

Somit stellt sich im Betrieb immer häufiger die Frage, wann es auf welchem Schlag am dringendsten ist, zu bewässern. Das wird zum einen in Abhängigkeit von betrieblichen Prioritäten entschieden, zum anderen sollte es vor allem auch pflanzenbaulich und ökologisch begründet sein. In einem gut geleiteten Betrieb werden beide Aspekte sinnvoll verknüpft.

Für jede Betriebsstruktur ist eine optimale Bewässerungssteuerung allerdings nicht immer machbar. Geht es um einen Betrieb mit vielen kleinen Schlägen und Anbausätzen, so ist der Aufwand zu hoch, jeden Satz so mit Wasser zu versorgen, wie es optimal wä-

re. Hier sind Kompromisse gefragt. Je größer die Schläge, desto sinnvoller ist eine optimale Wasserbemessung. Der Aufwand für das Wassermanagement wird je Hektar immer geringer und die Einsparungen an Energie, Wasser und Dünger sowie die Ertrags- und Qualitätserhöhungen multiplizieren sich. Würde im deutschen Pflanzenbau mehr gerechnet, so würde das Wasser schon auf viel mehr Flächen nach objektiven Kriterien eingesetzt.

Ziele der Bewässerungssteuerung

Die Bewässerung zu steuern, heißt zu entscheiden, ab wann mit welcher Einzelgabenhöhe und in welchen Zeitintervallen nach objektiven Kriterien zu bewässern ist. Die Ziele der Bewässerungssteuerung sind ein hohes Ertragsniveau mit einem hohen Anteil der für den Markt erforderlichen Qualität, die Nährstoffverlagerung zu minimieren und ein entsprechendes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen. Die Wasserqualität muss vorgegebene Qualitätsansprüche erfüllen und künftig entsprechend der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie bilanziert werden.

Eine sachgerechte Bewässerung trägt insbesondere unter Witterungsbedingungen, unter denen zu niedrige Erträge realisiert werden, zur Ertragserhöhung bei. In einer solchen Situation, wenn bestimmte Produkte nur in kleinen Mengen angeboten werden, können durch sachgerechte Bewässerung besonders hohe Erlöse realisiert werden.

Methoden der Bewässerungssteuerung

Zahlreiche Methoden wurden entwickelt, um die richtigen Entscheidungen hinsichtlich des Wassereinsatzes zu treffen, **Abbildung 5-4**.

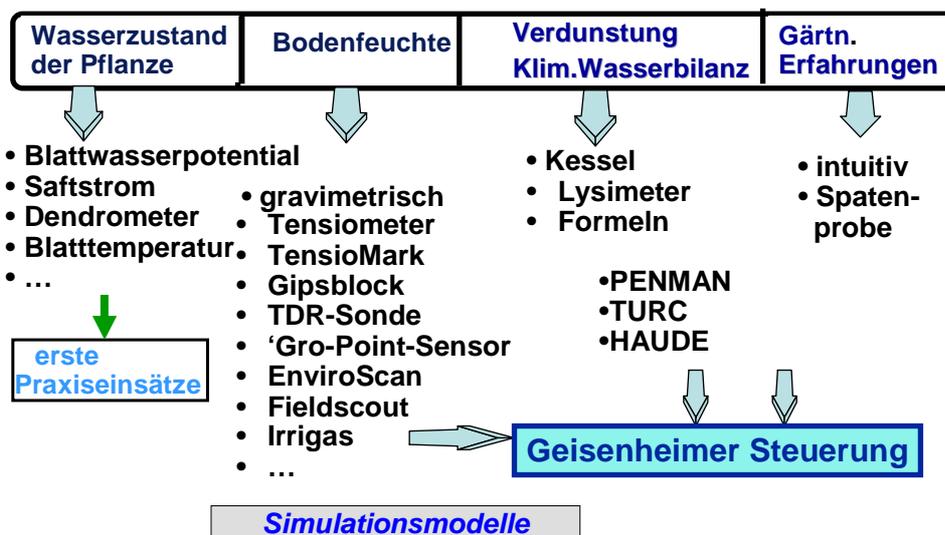


Abb. 5-4: Überblick zu Methoden der Bewässerungssteuerung im Freiland

Viele Methoden sind zu teuer, zu personalaufwändig oder die Steuerdaten nur für wenige Pflanzenarten verfügbar, da die wissenschaftlichen Basisdaten noch nicht entwickelt wurden.

Generell gibt es gegenwärtig drei praktikable Wege der Bewässerungssteuerung bzw. -regelung:

- in Abhängigkeit von klimatischen Wasserbilanzen
- auf der Basis von der Bodenfeuchtemessung
- Messungen des Wasserstatus direkt an bzw. in der Pflanze.

Gegenwärtig müssen sich die Anbauer zwischen den ersten zwei Methoden entscheiden. Zum dritten Komplex liegen für landwirtschaftliche Arten noch keine praxisreifen Lösungen vor.

Auch zwischen den anderen zwei Wegen ist die Entscheidung nicht leicht, da sich beide durch erhebliche Vor- und Nachteile unterscheiden, **Tab. 5-2**.

Tab. 5-2: Vergleich der Bewässerungssteuerung auf der Basis von Bodenfeuchtesensoren und nach Klimatischer Wasserbilanz (z. B. Geisenheimer Steuerung)

| Methode | Vorteile: | Nachteile |
|--|---|--|
| Messen der Bodenfeuchte | <ul style="list-style-type: none"> •aktuelle Bodenfeuchte direkt ablesbar •keine Niederschlagsmessung auf dem Schlag erforderlich •schnelle Kontrolle der erfolgten Bewässerung •Tropfbewässerung automatisierbar •bei Einsatz mehrerer Sensoren Störungen der Wasserverteilung erkennbar | <ul style="list-style-type: none"> •repräsentativer Standort auf dem Schlag wegen der erheblichen Streuung schwer zu finden – viele Sensoren erforderlich •für jeden Schlag und Anbausatz gesonderte Messungen notwendig •Kosten der Sensoren, Ein- und Ausbau erforderlich •Aufwand für Erfassen der Messwerte •Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Sensoren •Störungen und Behinderungen bei Feldarbeiten möglich |
| Klimatische Wasserbilanz (Geisenheimer Methode) | <ul style="list-style-type: none"> •keine Sensoren auf dem Feld zu installieren •keine Kosten für Sensoren und deren Einbau sowie Wartung •Basiswerte der Verdunstung gelten für alle Pflanzenarten und Anbausätze des Gebietes •Bewässerungsnotwendigkeit in niederschlagsfreien Perioden vorher gut kalkulierbar •Bewässerungsbedarf gut dokumentierbar als Nachweis | <ul style="list-style-type: none"> •Startwert der Bodenfeuchte muss vor Beginn der Beregnung bestimmt werden •Niederschlagsmessung in Schlagnähe erforderlich •Wassernachlieferung an grundwasser-nahen Standorten muss geschätzt werden, um die Bewässerung entsprechend zu reduzieren. •Korrektur der kc-Werte^{*)} für Tropfbewässerung erforderlich |

^{*)} Der Kc-Wert ist der Pflanzenkoeffizient er wird zur Steuerung der Beregnung benötigt. Man multipliziert die potentielle Verdunstung mit dem kc-Wert und kommt zur realen oder tatsächlichen Verdunstung, nach der beregnet wird.

Welche Methode auch immer der Anbauer nutzt, Ziel ist es, den Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser, ausgedrückt als nutzbare Feldkapazität (% nFK), in der durchwurzelten Bodenschicht innerhalb einer gewissen Spanne aufrecht zu erhalten, **Abbildung 5-5**. Es gibt einerseits landwirtschaftliche Pflanzenarten, da kann die Bodenfeuchte in der durchwurzelten Schicht zeitweise bis auf 30 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) absinken ohne irreversible Schäden zu verursachen, andererseits gartenbauliche Pflanzenarten, da treten schon bei 60 % nFK Schäden an den Blättern auf, die die Vermarktungsfähigkeit in Frage stellen. Diese Aspekte werden bei den Steuerungsfaktoren berücksichtigt.

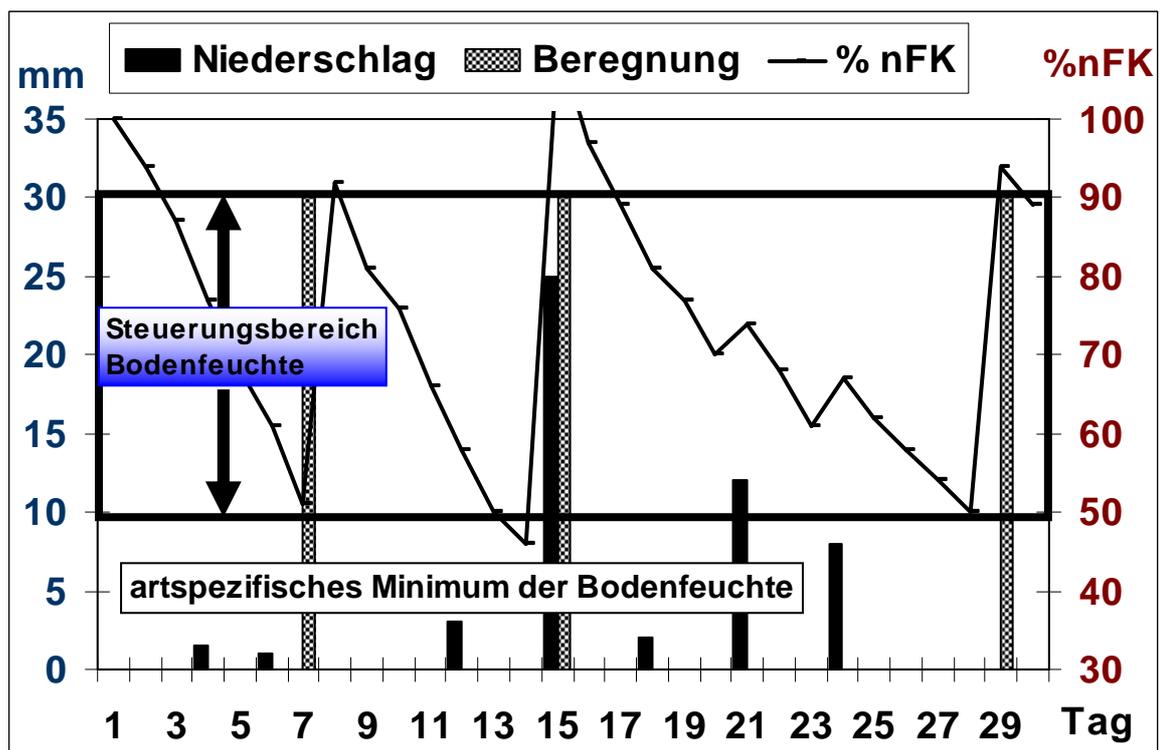


Abb. 5-5: Beispiel des Verlaufs der Bodenfeuchte (%nFK) im Freiland bei gesteuerter Bewässerung mit Einzelgaben von 30 mm (Paschold 2008)

Je besser das gelingt, desto höher sind Ertrag und Qualität und zudem wird dabei die Umwelt geschont.

Wird das erreicht, so bildet sich ein "Sägeblatt der Bodenfeuchteverläufe", wo die einzelnen Zähne möglichst immer die gleiche Höhe aufweisen sollten. Unter unseren Witterungsbedingungen ist es jedoch unvermeidlich, dass durch unerwartete Niederschläge auch unerwünscht hohe Bodenfeuchtegehalte auftreten können (siehe Abb. 5-5). Das gilt unabhängig von der Steuerungsmethode.

Im Einzelfall hängt es auch von der Mentalität des Anbauers und der speziellen betrieblichen Situation ab, was er vorzieht. Es ist erforderlich sich überhaupt mit dem Thema der objektiven Bewässerungssteuerung zu beschäftigen, was bedeutet, sich eine Reserve für die Zukunft zu erschließen.

Klimatische Wasserbilanzen

Die Ermittlung der klimatischen Wasserbilanzen, also das Defizit an Wasser, welches durch die Verdunstung von Boden und Pflanze (Evapotranspiration) entsteht, basiert auf Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) oder einer eigenen Wetterstation. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Deutsche Wetterdienst (DWD) und die Hersteller von Wetterstationen, z. B. Pessl) unterschiedliche Ansätze für die Berechnung der Verdunstung verwenden. Inwieweit es künftig zu einem einheitlichen Vorgehen kommt, ist im Gespräch, aber 2010 noch nicht entschieden. Die täglichen Unterschiede der angegebenen Verdunstungswerte sind erheblich und wirken sich auf die Pflanzenkoeffizienten aus, die noch dargestellt werden. Die Wetterstationen berechnen die so genannte FAO-Verdunstung einer kurz geschorenen optimal bewässerten Grasfläche. Beim DWD wird dagegen die potentielle Verdunstung einer freien Wasseroberfläche berechnet, die dann über Pflanzenkoeffizienten (k_c) an die jeweiligen Pflanzenarten angepasst werden. Diese Formel stellt die Basis für die experimentelle Ermittlung der Geisenheimer k_c dar.

Werden diese k_c verwendet und es werden die Werte einer Wetterstation außerhalb des DWD genutzt, so sind diese k_c nach oben zu korrigieren. Pauschal sollte etwa mit 1,3 multipliziert werden, um den Maximalertrag zu erzielen. Bleiben die k_c wie bisher publiziert, so ist der Ertrag suboptimal, aber die Wassereffizienz ist höher. Dies ist im landwirtschaftlichen Bereich besser vertretbar als in einem gartenbaulichen Betrieb.

Ein gewisses Wasserdefizit kann durch die Pflanze ohne wesentliche Ertragsminderungen überstehen. Wird das Defizit zu groß, zu kommt es zu Ertrags- und Qualitätsminderungen.

Die k_c für zahlreiche Pflanzenarten (**Tabelle 5-3**) wurden in der Forschungsanstalt Geisenheim an die Witterungsverhältnisse Deutschlands angepasst. Dabei erfolgt immer wieder die Aktualisierung für neue Sorten und das gegenwärtige Ertragsniveau. Zudem wurden die Entwicklungsstadien morphologisch definiert, die durch die Anbauer einfach zu erkennen sind. Um Übereinstimmung zum Pflanzenschutz zu erreichen wurden die Stadien weitgehend nach dem BBCH-Code (das morphologische Entwicklungsstadium einer Pflanze) definiert.

Als „Geisenheimer Methode“ angewandt, muss jedoch auch die Einzelgabenhöhe an die Entwicklung der Wurzeltiefe der Pflanzen angepasst werden, da sonst kein effizienter Wassereinsatz gewährleistet ist. Ohne diese Anpassung fehlt ein wesentliches Element der Methode.

Die Geisenheimer Methode wurde so weit vereinfacht, dass die Praxisanwendung einfach zu organisieren ist. Auch der DWD arbeitet damit. Kompliziertere Ansätze bieten nur eine scheinbar höhere Genauigkeit, die jedoch durch die Unterschiede des Bodens und die Ungleichmäßigkeit der Wasserverteilung der Regner nicht wirksam werden können, wie Vergleiche gezeigt haben.

Tab. 5-3: Kurzbeschreibung der Geisenheimer Bewässerungssteuerung

Die Geisenheimer Steuerung umfasst vier Schritte:

1. Bodenwasservorräte durch Vorwegberechnung auffüllen

Ziel ist, einen wassergesättigten Boden als definierten Startwert für die Berechnung zu erhalten (100 % nutzbare Feldkapazität).

2. Berechnungsmenge je Gabe festlegen

Die Wassergabe muss so hoch sein, dass in jedem Stadium die durchwurzelte Bodentiefe durchfeuchtet wird.

| | | | | |
|---|---------------------------------|---|---|---|
| Anhaltswerte für die Berechnungsmenge je Gabe in Abhängigkeit von durchwurzelter Bodentiefe und Entwicklungsstadium der Kultur: | Beispiel: Blumenkohl | Stadium 1 Bodenschicht 0-30 cm | Stadium 2 Bodenschicht 0-60 cm | Stadium 3+4 Bodenschicht 0-90 cm |
| | Sandboden | 10 mm | 20 mm | 30 mm |

3. Tagesbilanz berechnen: (Verdunstung_{PENMAN} x kc - Regen = Tagesbilanz)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Der kc-Wert richtet sich nach der Gemüseart und deren Entwicklungsstadium. Die PENMAN-Verdunstung wird mit einer eigenen Wetterstation ermittelt oder ist beim Deutschen Wetterdienst zu erhalten. | Stadium 1  | Stadium 2  | Stadium 3  | Stadium 4  |
| | ab Pflanzung | kc 0,5 | Durchmesser 30 cm kc 0,8 | Durchmesser 60 cm kc 1,2 |

Beispiel Blumenkohl Stadium 2:

| | | | |
|----------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|
| Verdunstung (PENMAN) [mm] | kc | Regen [mm] | Tagesbilanz [mm] |
| 6,0 x | 0,8 | -2 | = 2,8 |

4. Gesamtbilanz berechnen

Die Tagesbilanzen werden so lange aufsummiert, bis die vorgegebenen Berechnungsmengen erreicht sind. Die jeweilige Berechnungsmenge wird von der Bilanzsumme abgezogen und die Bilanzierung fortgesetzt. Bei Niederschlägen, die größer als die Gesamtbilanz sind, wird diese auf Null gesetzt.

Beispiel: Blumenkohl Stadium 2 ab 26.7. Stadium 3

| Datum | Verdunstung (PENMAN) [mm] | kc | Regen [mm] | Tagesbilanz [mm] | Berechnungsmenge [mm] | Gesamtbilanz [mm] |
|-------|---------------------------|------------|------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| 21.7. | 6,0 | | -2 | 2,8 | | 2,8 |
| 22.7. | 7,0 | 0,8 | | 5,6 | | 8,4 |
| 23.7. | 8,0 | 0,8 | | 6,4 | | 14,8 |
| 24.7. | 7,0 | 0,8 | | 5,6 | | 20,4 |
| 25.7. | 5,0 | 0,8 | | 4,0 | -20 | 4,4 |
| 26.7. | 4,0 | 1,2 | | 4,8 | | 9,6 |
| 27.7. | 6,0 | 1,2 | -35 | -27,8 | | 0,0 |

Der Deutsche Wetterdienst bietet für die Geisenheimer Steuerung den Internetservice: www.agrowetter.de.

Eine Rechenhilfe bietet das kostenlose Programm IRMA der Fa. Helm-Software: <http://www.helm-software.de/congt/3.htm>

Auf eine ausführliche Beschreibung der Geisenheimer Bewässerungssteuerung soll hier verzichtet werden, da diese in vielen Veröffentlichungen zu finden ist, wie eine Recherche im Internet schnell zeigt. Eine Kurzbeschreibung gibt die **Tabelle 5-3**. Die Berechnungsberatung des Deutschen Wetterdienstes – agrowetter – basiert ebenfalls auf dieser Methode. Weitere Details zur Methode und Aktualisierungen können unter <http://forschungsanstalt.campus-geisenheim.de/Geisenheimer-Steuerung.701.0.html> nachgelesen werden.

Das Steuern der Bewässerung nach klimatischer Wasserbilanz wird vor allem beim Einsatz aller Typen von Kreisregnern und Düsenwagen empfohlen. Bei Tropfbewässerung sind die Steuerungskoeffizienten (k_c) zu reduzieren, da die Verdunstung an der Bodenoberfläche stark vermindert wird. Reduzierte k_c sind auch geeignet, wenn aus Kapazitätsgründen nicht pflanzenbaulich optimal bewässert werden kann. Es bleibt aber der Vorteil gegenüber der Steuerung nach dem „grünen Daumen“, dass extreme Trockenheiten vermieden werden können.

Einsatz von Bodenfeuchtesensoren

Der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren hilft dem Anbauer, das Gefühl für Veränderungen der Bodenfeuchte zu entwickeln, vor allem für die Veränderungen unter der Bodenoberfläche. Denn keiner gräbt regelmäßig bis in die Hauptwurzeltiefe, um sich die Wasserverteilung anzusehen.

Die Hauptprobleme des Messens der Bodenfeuchte ergeben sich aus der Streuung der Bodenfeuchte, bedingt durch die Bodenheterogenität, und die Streuung durch die ungleichmäßige Wasserverteilung der Regner. Damit entscheidet der Standort eines Sensors, welche Bodenfeuchte er anzeigt und es werden sich erhebliche Unterschiede ergeben, wenn mehrere Bodenfeuchtefühler auf einer Fläche eingesetzt werden. Dabei ist es zunächst unwesentlich, welche Art Sensor eingesetzt wird. Einige werden ein rasches Austrocknen signalisieren, andere relativ konstante Bodenfeuchte anzeigen. Setzt der Anbauer nur wenige Sensoren ein, was üblicherweise der Fall ist, so bleibt unklar, inwieweit er repräsentative Werte ermittelt. Doch dem Anbauer geht es allgemein nicht darum, die absolute Bodenfeuchte zu bestimmen, sondern den pflanzenverfügbaren Anteil an Wasser und wie sich dieser im Verlaufe des Anbaus verändert. Da bei Kreisregnern die Wasserverteilung sehr heterogen ist, entscheidet der Einbauort, wie die Beregnung erfolgen wird. Sitzt der Sensor im Randbereich des Regners, so kommt dort deutlich weniger Wasser an als im Zentrum. Allein schon wegen des schnelleren Ablesens der Sensoren werden diese immer wieder unweit des Feldrandes eingebaut. Werden diese Werte zur Steuerung verwendet, so erhält das Feldinnere deutlich zu viel Wasser. Das wirkt allerdings bei vielen Pflanzenarten weniger ertragsmindernd als ein Wasserdefizit für erhebliche Teile des Bestandes, erhöht aber den Wasserbedarf und damit die Beregnungskosten. Anders ist die Situation bei Tropfbewässerung. Hier ist innerhalb kleiner Bodensegmente nach einem Tropfvorgang die

Bodenfeuchte extrem unterschiedlich. Es gibt durch die ausgeprägten so genannten Tropferzwiebeln zwischen zwei Tropfschläuchen zeitweise sehr trockenen Flächen, während andere über 100 % der nFK aufweisen, **Abbildung 5-6**.

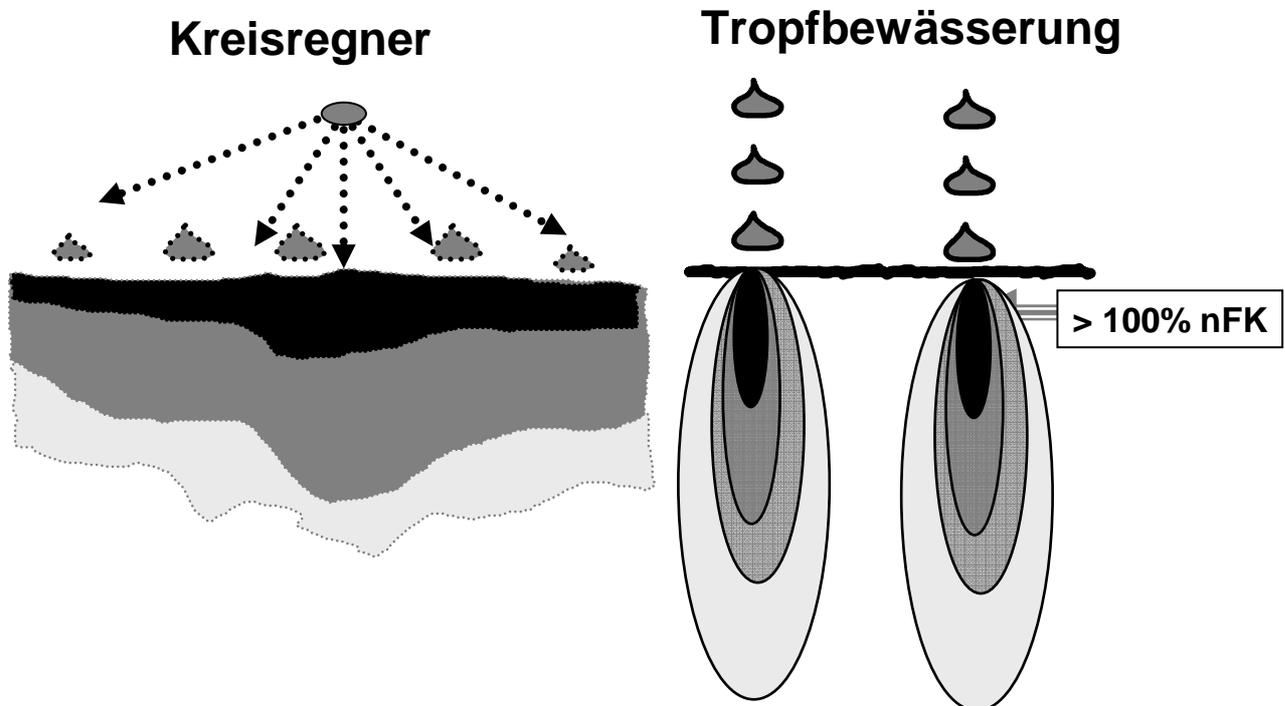


Abb. 5-6: Wasserverteilung bei Beregnung und Tropfbewässerung

In dem Falle sollte der Sensor direkt unter die Tropfleitung und unter einen Tropfer gesetzt werden. Dann kann dieser sehr gut eingesetzt werden, um die Bewässerung zu steuern oder sogar automatisch zu regeln. Der Steuerungswert ist dann weitgehend unabhängig von der Bodenart, da dieser Punkt sehr gut als der Feuchteste auf dem Feld zu definieren ist. Insoweit ist der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren insbesondere zur Steuerung der Tropfbewässerung zu empfehlen.

Das Angebot an Sensoren wächst relativ schnell, wobei es keinen gibt, der nur Vorteile aufweist. Details zum erfolgreichen Einsatz der Bodenfeuchtemesstechnik finden sich im Buch „Bewässerung im Gartenbau“ (2010).

Insgesamt gibt es immer mehr Methoden, Programme, internetbasierte Systeme und Bodenfeuchtesensoren die dem Anbauer die Entscheidungsfindung zum Wassereinsatz nicht abnehmen, ihn aber unterstützen, das Risiko von Fehlentscheidungen deutlich zu vermindern. Diese Reserve wird in der deutschen Landwirtschaft noch viel zu wenig genutzt.

Weitere und ausführlichere Informationen, die auch für den Bereich der Landwirtschaft übertragen werden können, finden sich in dem oben genannten Buch.

Literatur

www.bdew.de: Wasserfakten im Überblick (Stand: August 2008)

PASCHOLD, P.-J., et al.: Bewässerung im Gartenbau, Ulmer Verlag, 2010

6 Kapitalbedarf und Verfahrenskosten der Beregnung

H. Sourell und H.-H. Thörmann

6.1 Kosten der Wasserbereitstellung

Die Kosten der Wasserbereitstellung sind alle wertmäßig erfassbaren, betriebsnotwendigen Leistungen für die Bereitstellung von Beregnungswasser. Für die Kostenkalkulation und die Kostenaufstellung müssen diese Leistungen im Hinblick auf die Investition und der folgenden betrieblichen Aufwendungen der Wasserbereitstellungsanlage gegliedert werden. Grundlage für die Kostenkalkulation ist die Aufstellung des Kapitalbedarfes. Mithilfe des Kapitalbedarfes können die Festkosten wie Abschreibung und Kapitalkosten ermittelt werden. Auch die Instandhaltungskosten (variable Kosten) der jeweiligen Anlagen werden vom Kapitalbedarf abgeleitet. Die Angaben des Kapitalbedarfes wurden in Teilleistungen gegliedert, um eine differenzierte Betrachtung zu ermöglichen und um Kapitalschwerpunkte einer Baumaßnahme darzustellen.

Für den Bereich des Kapitalbedarfes müssen Kosten- und Preisangebote von Firmen, die Brunnen sowie Pumpen herstellen und vertreiben, eingeholt werden. Zusätzlich werden mit Absprache der jeweiligen Firmen mögliche Kosten für Teilleistungen in Erfahrung gebracht. Auch Preislisten von Firmen werden für die Zusammenstellung der Kosten herangezogen. Nachdem die Preise untersucht und nach ihren Leistungen aufgestellt sind, kann eine jährliche Betriebskostenberechnung mittels weiterer Parameter durchgeführt werden.

Durch die Gegenüberstellung der betrieblichen Ausgaben (Festkosten, variable Kosten) mit den Erträgen und Marktpreisen, ist mit Hilfe dieser Kostendarstellung eine theoretische Wirtschaftlichkeitsberechnung möglich.

Der Kapitalbedarf

Bei der Aufstellung des Kapitalbedarfes der 13 verschiedenen Wasserbereitstellungsanlagen wurden insgesamt 87 Angebote von 10 Firmen in die Rechnung aufgenommen. Die Angebote waren die Grundlage zur Ermittlung des Kapitalbedarfes. Durch zusätzliche Absprachen mit den zuständigen Firmen wurden die Angebote, wenn nötig kostentechnisch verändert. Der Kapitalbedarf der jeweiligen Wasserbereitstellungsvarianten wurde in der Kalkulation in Form von Mittelwerten angegeben, **Abbildung 6-1**. Der angegebene Kapitalbedarf soll pauschale Aussagen ermöglichen, in welchem Bereich sich die Bau- und Installationsmaßnahmen der verschiedenen Wasserbereitstellungsanlagen ungefähr befinden.

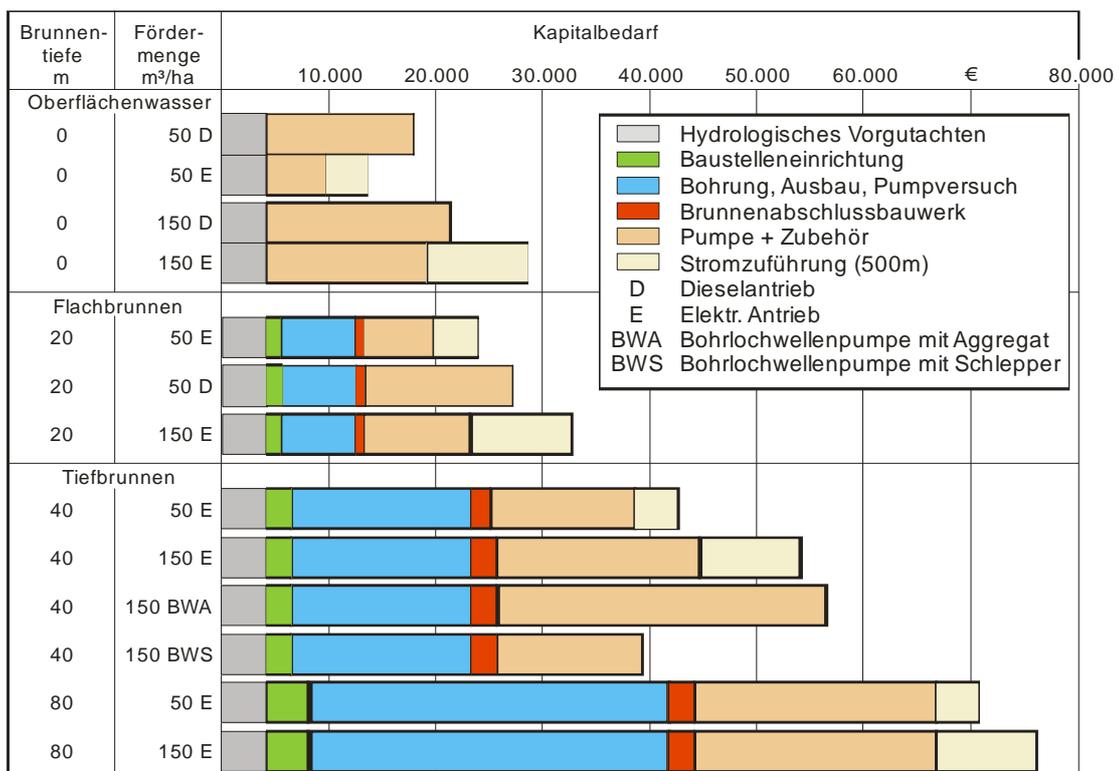


Abb. 6-1: Gesamtkapitalbedarf der Wasserbereitstellungsvarianten

Betriebskosten

Die Aufstellung und Berechnung der jährlichen Betriebskosten ermöglicht die Angabe von spezifischen Kosten. Die spezifischen Kostenangaben werden in der Landwirtschaft hauptsächlich in € / mm, € / m³ oder € / ha angegeben. Im Folgenden **Abbildung 6-2** sind die spezifischen Kosten in € / m³ beispielhaft für fünf Varianten dargestellt. Die einzelnen Verfahren der Wasserbereitstellung werden mit den zwei Fördermengen (50 m³/h und 150 m³/h) gegenübergestellt.

Hervorzuheben ist, dass jeweils für die 50 m³ Variante die Kosten höher liegen als bei der 150 m³ Variante. Gründe sind bei den verschiedenen Arbeiten zum Brunnenbau zu finden, die nicht von der Fördermenge abhängen, wie z.B. Baustelleneinrichtung.

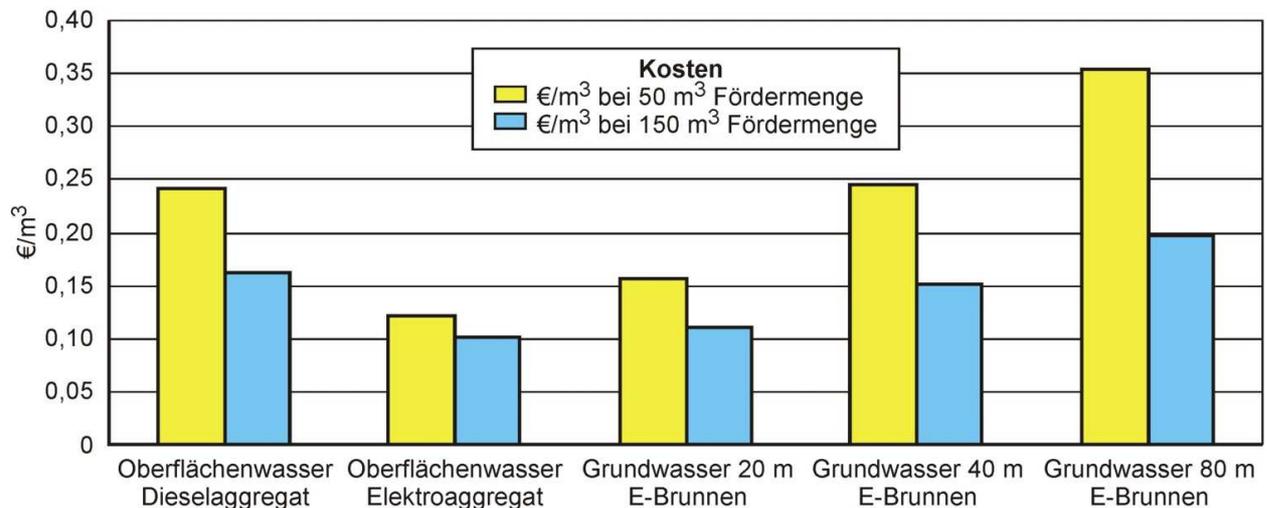


Abb. 6-2: Jährliche Verfahrenskosten, spezifische Betriebskosten in €/m³

6.2 Zuleitung

Die Zuleitungskosten für die Beregnungsanlage sind sehr unterschiedlich und richten sich nach den örtlichen Verhältnissen und nach der Arrondierung der Flächen. Zweckmäßig ist es immer vor einer betrieblichen Einzellösung zu prüfen, ob gemeinsame Anlagen, möglichst auf einer Beregnungsverbandsebene, gebaut werden können.

Die gemeinsamen Anlagen sind in der Regel nicht so kapitalintensiv wie Einzelanlagen. Bei vielen einzelnen Feldstücken ist auch zu überlegen, ob eine Flurbereinigung für die Beregnungsflächen sinnvoll ist, damit eine kostengünstige Rohrverlegung durchgeführt werden kann.

In der vorliegenden Modellbetrachtung wurde eine arrundierte Fläche von 56 ha zu Grunde gelegt. Als Erdleitungen wurden PVC-Rohre mit einem Druckbereich von PN10 und PN16 kalkuliert. Je nach Volumendurchflussmenge und Entfernung vom Brunnen betrug der Rohrdurchmesser DN 200 –DN 100.

Die angegebenen Preise wurden 2008 bei mehreren Firmen erhoben und als Mittelwert in **Abbildung 6-3** aufgetragen.

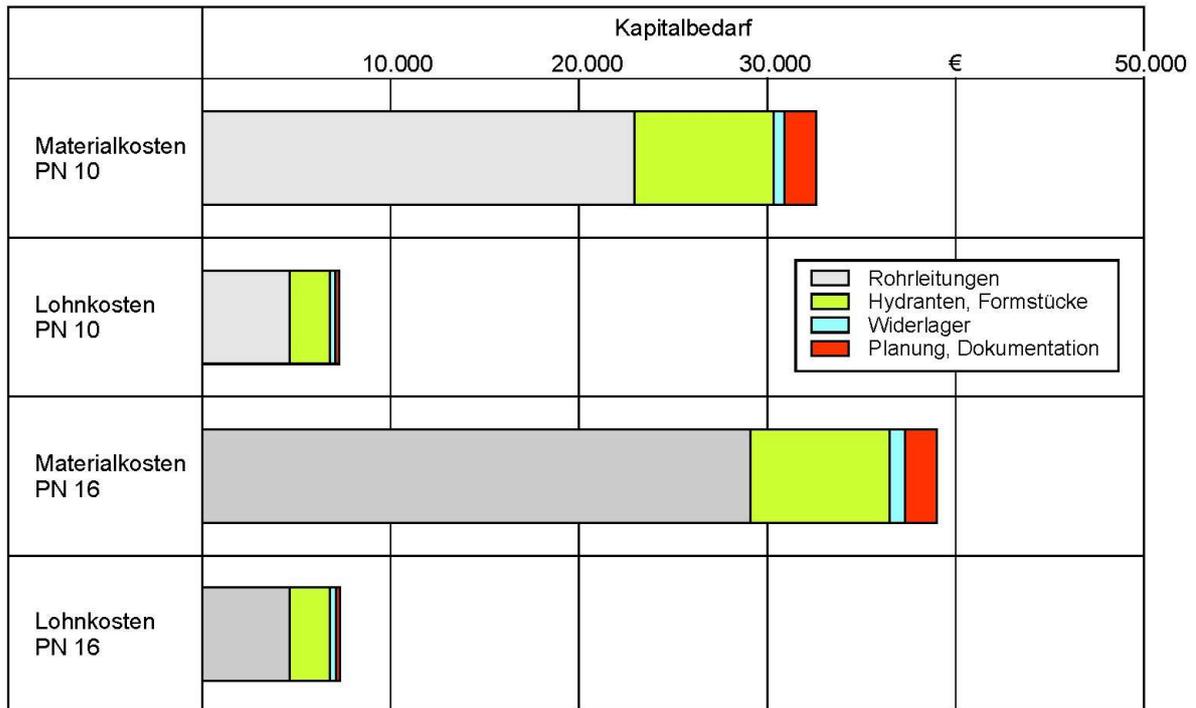


Abb. 6-3: Kapitalbedarf für die Zuleitung (Musterfläche 56 ha)

Der Kapitalbedarf wurde in vier Blöcke unterteilt.

Die Materialkosten für die Musterfläche betragen ca. 82% des gesamten Kapitalbedarfs und die Lohnkosten ca. 18 %, wobei der größte Teil der Lohnkosten für die Verlegung der Rohrleitungen benötigt wird.

Der größte Block bei den Materialkosten ist, wie nicht anders zu erwarten war, die Rohrleitung. Bei der Auslegung in PN 10 beträgt der Kapitalbedarf für die Rohrleitung ca. 23.000 € und bei PN 16 ca. 29.000 €.

Der Unterschied zwischen den beiden Druckstufen beträgt zwar insgesamt ca. 6.000 €, doch wenn der gesamte Kapitalbedarf auf die erschlossene Fläche umlegt wird, ist die Differenz zwischen PN 10 und PN 16 nur 115 €/ha.

6.3 Berechnungsverfahren

Kapitalbedarf und Verfahrenskosten

Für die Berechnung des Kapitalbedarfes (KB) wurden durchschnittliche Preise mehrerer Firmen zugrunde gelegt. Die Ausrüstung der Berechnungsgeräte entspricht dem neuesten technischen Stand. Bei den Kreis- und Linearberechnungsmaschinen wurde auch der Transport und der Aufbau berücksichtigt. In allen Fällen handelt es sich um auf dem Feld einsatzbereite Geräte. Bei der Rohrberechnung wurde ein Aufstellungsverband von 12 x 24 m gewählt. Die Schnittstelle ist jeweils der Hydrant.

Zur Ermittlung der festen und variablen Verfahrenskosten muss der Kapitalbedarf, bedingt durch die unterschiedlich lange Nutzungsdauer bzw. Verschleiß der Anlagenteile aufgeschlüsselt werden. Die angesetzte Nutzungsdauer, Abschreibungsdaten, Wartungs- und Reparaturdaten der Anlagenteile sind in **Tabelle 6-1** aufgeführt. Die Verzinsung für das eingesetzte Kapital wurde mit 6 % vom halben Anschaffungswert berechnet.

Tab. 6-1: Nutzungsdauer, Abschreibungs-, Reparatur- und Wartungsdaten verschiedener Anlagenteile in Abhängigkeit vom Kapitalbedarf (KB)

| Anlagenteile | Nutzungsdauer (Jahre) | Abschreibung (% vom KB) | Reparatur- und Wartung (% vom KB) |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Berechnungsmaschine | 12 | 8,3 | 2,5 |
| Regnerwagen | 12 | 8,3 | 2,5 |
| Düsenwagen | 8 | 12,5 | 2,0 |
| Kreis- und Linearberegnung | 12 | 8,3 | 2 |
| Regner für Rohrberegnung | 10 | 10 | 2,5 |
| Rohrberegnung | 15 | 7 | 1,5 |

Die Unterschiede im Kapitalbedarf sind erheblich. Auch bei dem Vergleich des Kapitalbedarfes pro Hektar ergibt sich zwischen dem teuersten und preiswertesten Verfahren eine Differenz von 6680 €/ha. Die Differenz zwischen dem Düsenwagen- und dem Großflächenregnerverfahren ist mit 683 €/ha vergleichsweise groß. Der flächenbezogene Kapitalbedarf ist in **Abbildung 6-4** zusammengestellt.

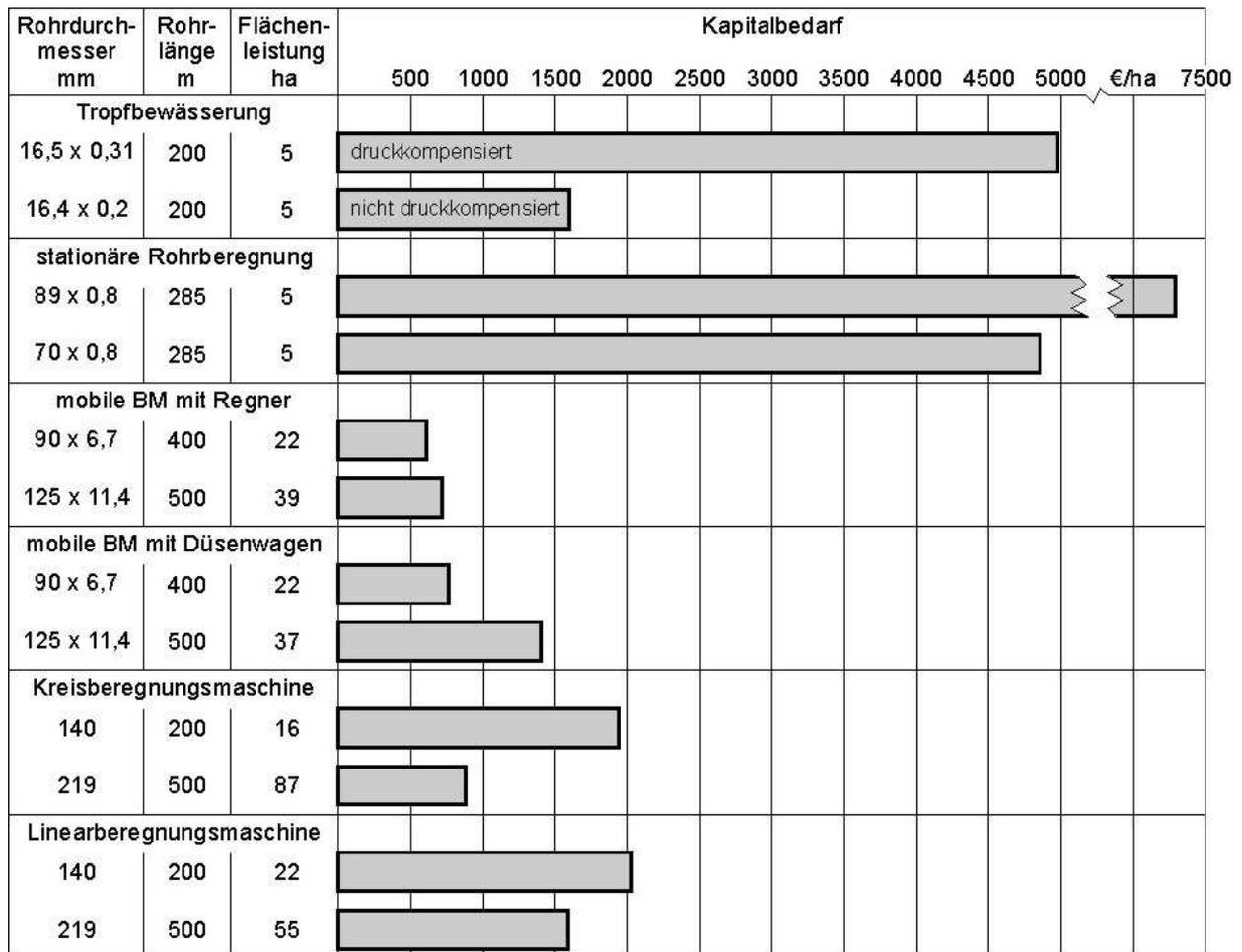


Abb. 6-4: Flächenleistung und Kapitalbedarf von verschiedenen Bewässerungsverfahren

Entsprechend dem Unterschied beim Kapitalbedarf zwischen den Verfahren verhalten sich auch die Festkosten. Sie liegen zwischen 84 €/ha bei der Beregnungsmaschine mit Regner und 884 €/ha bei der stationären Rohrberegnung.

Eine ganz andere Kostenstruktur ergibt sich bei den Energiekosten. Für die Kilowattstunde wurde ein Preis von 0,15 €/kWh veranschlagt. In diesem Strompreis sind die anteiligen Bereitstellungskosten nicht enthalten. Hier liegt das Kostenniveau zwischen 31 €/ha bei der Kreis- und Linearberegnungsmaschine und 102 €/ha, wobei die Beregnungsmaschine mit einem Großflächenregner die höchsten Energiekosten verursacht.

Zur Berechnung der Gesamtkosten wurden auch die anderen variablen Faktoren wie Arbeits-, Schlepper- und Reparaturkosten bewertet. Hier zeigt sich, dass die große Kreisberegnungsmaschine mit 168 €/ha die niedrigsten Verfahrenskosten hat. Die stationäre Rohrberegnung liegt bei den gesamten Verfahrenskosten mit bis zu 1048 €/ha um ein Vielfaches höher, **Abbildung 6-5**.

Durch den geringeren Arbeits- und Energieeinsatz bei der Kreisberegnungsmaschinentechnik und die relativ großen Flächenleistung der großen Modellreihen werden die Gesamtkosten von keinem anderen Beregnungsverfahren unterschritten.

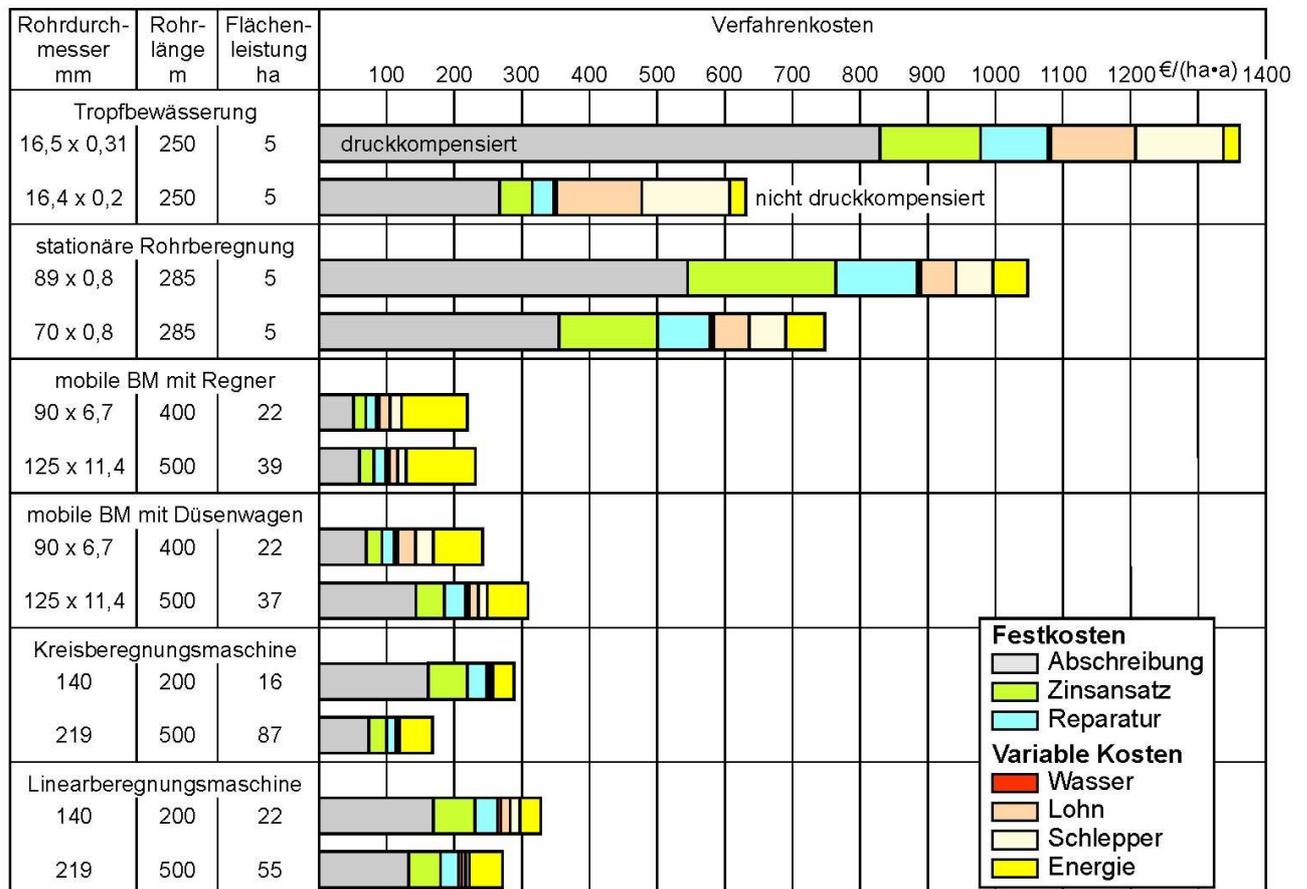


Abb. 6-5: Verfahrenskosten von verschiedenen Bewässerungsverfahren

Kostenunterschiede kann es darüber hinaus auch beim Auslastungsgrad des einzelnen Beregnungsverfahrens geben.

Werden die Beregnungsmaschinen auf kleineren Flächen eingesetzt, als ihre mögliche Flächenleistung erlaubt, steigen die Verfahrenskosten stark an. Aus diesem Grund sollte jeder Landwirt bei der Neuanschaffung einer Beregnungsmaschine sie an die vorhandene Beregnungsfläche anpassen.

Die Hersteller bieten mittlerweile für jede Betriebsfläche die optimale Maschinengröße an.

Fazit

Der Kostenvergleich ergibt, dass mit den Kreisberegnungsmaschinen am kostengünstigsten beregnet werden kann.

In den Gesamtkosten ist der Düsenwagen um ca. 21-78 €/ha teurer als der Großflächenregner beim Einsatz von mobilen Beregnungsmaschinen.

Die Rohrberegnung, als ortsfeste Anlage, benötigt den höchsten Kapitalbedarf und somit auch die höchsten Verfahrenskosten von ca. 1048 €/ha.

Die Investitionssumme für die Zuleitung der Musterfläche von 56 ha beträgt bei der Druckstufe PN 10 = 38.864 € und bei PN 16 = 46.321 €. Zu dieser Summe ist der Kapitalbedarf der Wasserbereitstellung, der je nach Wasserdargebot zwischen 14.000 € und 76.000 € liegt und der Kapitalbedarf von den Beregnungsmaschinen in einer Höhe von 20.000 € bis 40.000 € hinzu zu fügen, um die gesamten Kapitalkosten für die Feldberegnung zu ermitteln.

Bei diesen sehr hohen Investitionssummen ist es dringend zu empfehlen, dass vor einer Kaufentscheidung eine betriebsspezifische Beratung und Kalkulation von Fachberatern durchgeführt wird, um die späteren Beregnungskosten im wirtschaftlichen Bereich zu halten.

Literatur

KTBL Hrsg. (2009) Feldbewässerung – Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulation, KTBL Datensammlung

7 Wirtschaftlichkeit der Beregnung

Dipl. Ing. agr. Ekkehard Fricke

Die Feldberegnung ist für landwirtschaftliche Betriebe, die auf leichten Böden in Verbindung mit unzureichenden Niederschlägen während der Vegetationsperiode wirtschaften müssen, ein unverzichtbares Betriebsmittel. Sie dient der Absicherung der Erträge und der Einhaltung geforderter Qualitäten. Zukünftig wird der Beregnung im Zusammenhang mit der allgemeinen Klimaerwärmung und den prognostizierten länger anhaltenden Trockenphasen eine noch größere Bedeutung als Maßnahme der Schadensbegrenzung zukommen.

Grundlagen der Entscheidungsfindung

Der Bau einer Beregnungsanlage ist eine einzelbetriebliche Entscheidung, die aus betriebswirtschaftlicher Sicht getroffen werden muss. Er verursacht hohe Investitionskosten - und damit jährliche Festkosten - und vom jährlichen Einsatzumfang abhängige variable Kosten. Bevor die Entscheidung zum Bau einer Beregnungsanlage fällt, muss einzelbetrieblich sehr genau die Frage der Wirtschaftlichkeit geklärt werden. Die für die Entscheidungsfindung wichtigsten Fragestellungen sind folgende:

- Ist der Standort vom Boden und vom Klima her beregnungsbedürftig?
- Welche beregnungswürdigen Kulturen werden bzw. sollen angebaut werden?
- Welche Erträge und Qualitäten wurden im Mittel der letzten Jahre ohne Beregnung erzielt?
- Welche Erträge und Qualitäten können mit Beregnung erreicht werden?
- Mit welchen festen und variablen Kosten ist der Bau und der Betrieb einer Beregnungsanlage verbunden?
- Wie hoch ist der zusätzliche Wasserbedarf?
- Woher und aus welcher Tiefe kann das Wasser bereitgestellt werden?
- Wie stellt sich die innerbetriebliche Flurlage dar?
- Welche Wassermenge erteilt die Erlaubnisbehörde und mit welchen Auflagen?

Die rechtliche Grundlage für jede Gewässerbenutzung ist das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes und das jeweilige Landeswassergesetz. Zuständig ist die untere Wasserbehörde beim jeweiligen Landkreis, die die wasserrechtliche Erlaubnis zum Zwecke der Feldberegnung erteilt. Die Wasserbehörde sollte von Beginn an durch eine formlose Bauvoranfrage mit in die Planung der Beregnungsanlage einbezogen werden, damit Fehlinvestitionen, z.B. durch Brunnenbau an kritischen Standorten o. ä., vermieden werden.

Wenn nach Rücksprache mit der unteren Wasserbehörde und nach Beantwortung aller o. g. Fragen die Entscheidung zugunsten eines Beregnungsbaus ausgefallen ist, stellt sich die Frage nach den Investitionskosten der Beregnungsanlage und nach den Kosten des laufenden Betriebes. Die Kosten der Beregnung teilen sich auf in die **Festkosten** der Anlage und in die **variablen Kosten**. Die Festkosten sind investitionsabhängig und fallen in jedem Fall an, sobald eine Beregnungsanlage angeschafft wurde. Dabei spielt es keine Rolle, ob in einem Jahr beregnet wurde oder nicht. Die variablen Kosten sind verbrauchsabhängig und setzen sich aus den Energie-, den Reparatur- und den Arbeitserledigungskosten zusammen, wobei der Anteil der Energie den weitest- aus größten Kostenblock ausmacht (siehe Kap. 6 „Kapitalbedarf und Verfahrenskosten“).

Der Frage der Energiequelle zum Betreiben der Pumpen sollte besonderes Augenmerk geschenkt werden. Ob der Einsatz von Diesel- oder Elektromotoren gewählt wird, ist in erster Linie eine Frage der Bedingungen der Stromversorgung. Wo immer möglich, sollte dem Strom Vorrang eingeräumt werden, da hinsichtlich der Energiekosten, der Arbeitswirtschaft, der Wartung, der Steuerung und der Umweltbeeinflussung der Elektroantrieb deutliche Vorteile bietet.

Mehrerträge und bessere Qualitäten durch Beregnung

Für die Kalkulation einer Beregnungsanlage muss die erzielbare Leistung in Form von stabileren Mehrerträgen und besseren Produktqualitäten abgeschätzt werden. Hierzu leisten die langjährigen Beregnungsversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wertvolle Hinweise. Auf einem typischen Beregnungsstandort mit ca. 27 Bodenpunkten und durchschnittlich 610 mm Jahresniederschlag wurden die durch Beregnung erzielbaren Mehrerträge über zehn Jahre erfasst – siehe **Abbildung 7-1**. Im Mittel der zehn Versuchsjahre wurden in den optimal beregneten Varianten bei Kartoffeln 42%, bei Zuckerrüben 40%, bei Winterroggen 38% und bei Braugerste sogar 57% mehr gegenüber den nicht beregneten Varianten geerntet.

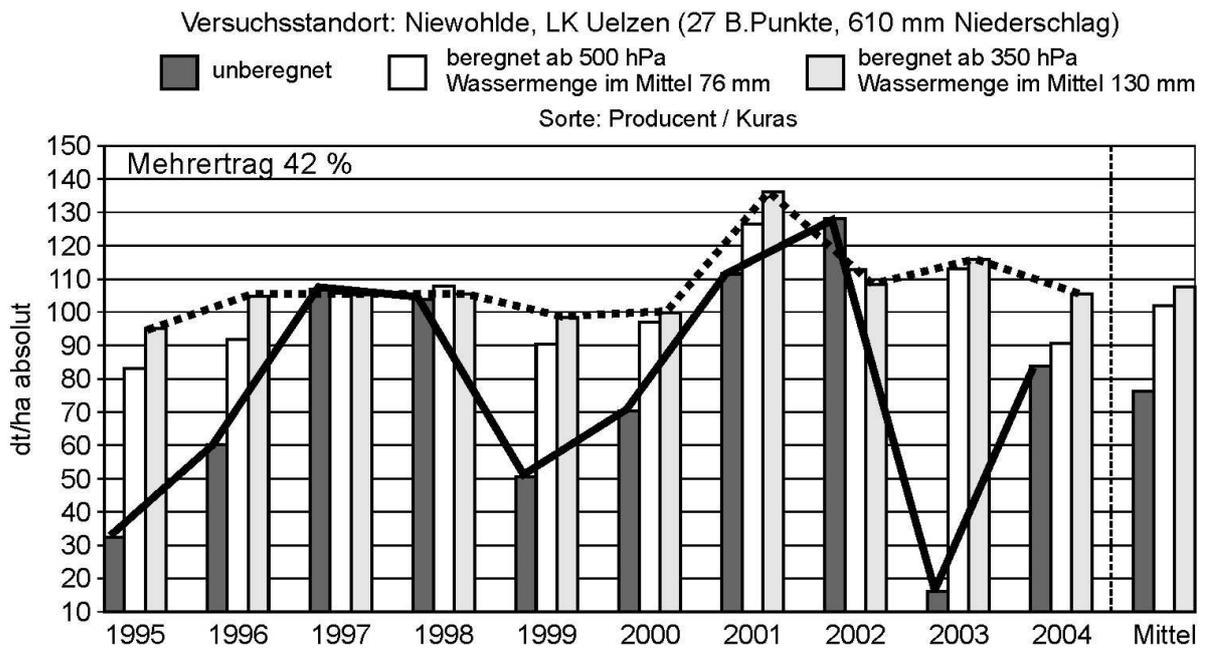


Abb. 7-1: Stärkeerträge von Kartoffeln bei unterschiedlicher Berechnungsmenge

Wie wichtig langjährige Versuchsergebnisse für die Entscheidungsfindung sind, belegt **Abbildung 7-2**. Hier sind absolute Stärkeerträge bei Kartoffeln dargestellt, die unberechnet von 16 dt/ha im Jahr 2003 (extrem trocken) bis zu 128 dt/ha im Jahr 2002 (extrem nass) schwanken können.

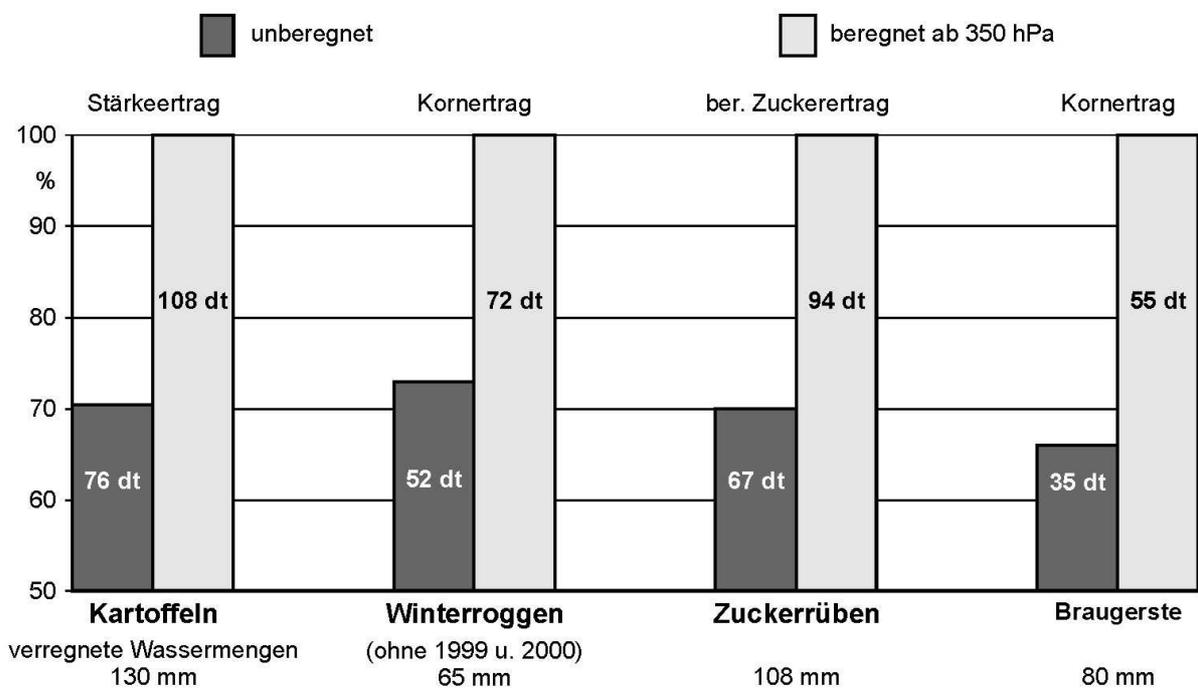


Abb. 7-2: Ertragsunterschiede einzelner Kulturen mit und ohne Beregnung; Mittel der Jahre 1995 – 2004

Generell gilt: Je geringer die Bodenpunkte und die Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode auf einem Standort sind, desto höher die Ertragseffekte, die sich durch Beregnung erzielen lassen.

Neben der absoluten Ertragshöhe lassen sich bei wichtigen landwirtschaftlichen Beregnungskulturen **folgende Qualitätsverbesserungen** erreichen:

- bei Kartoffeln: bessere Größensortierungen, mehr Marktware, geringerer Schorfbefall, weniger Eisenfleckigkeit, höhere Stärkegehalte
- bei Braugerste: niedrigere Eiweißgehalte, höhere Vollgerstenanteile, höhere Malzextraktgehalte
- bei Zuckerrüben: höhere Zuckergehalte, geringere Ausbeuteverluste
- bei Mais: bessere Kolbenentwicklung, mehr Kolben je Pflanze, höherer Energiegehalt
- bei Gemüse: höhere Auflauf-/ Anwachsrate, mehr Marktware, Sicherung geforderter Fruchtgrößen,....

Die äußerlich sichtbaren Qualitätsverbesserungen wie Größensortierungen und Schorfbefall bei Kartoffeln wirken sich direkt Absatz fördernd für den Landwirt aus. Die übrigen, die innere Qualität der Früchte betreffenden Verbesserungen, wirken sich bei der Verarbeitung der Erzeugnisse durch die Malzfabrik, die Zuckerfabrik, die Stärkefabrik, aus. Für den Landwirt schlägt sich eine bessere Verarbeitung im höheren Auszahlungspreis nieder.

In **Abbildung 7-3** wird am Beispiel der Rohproteingehalte der Braugerste der positive Einfluss der Beregnung verdeutlicht. Die für die Vermarktung als Braugerste entscheidende Grenze im Eiweißgehalt von 11,5 % ist durch die gestrichelte Linie markiert. Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Eiweißgehalte in den unberegneten Varianten nur in zwei Jahren unterhalb dieser Grenze liegen. Im Mittel werden unberegnete 12,8 % Rohprotein erreicht. Damit wird die für Braugerste akzeptable Grenze um 1,3 % überschritten.

Generell gilt: Durch den Bau einer Beregnungsanlage wird ein Betrieb in die Lage versetzt, höherwertige Kulturen, wie Gemüse und Sonderkulturen anzubauen, die auch höhere Gewinnbeiträge mit sich bringen. Durch eine sichere Wasserversorgung wird die Möglichkeit eröffnet, in den Vertragsanbau einzusteigen, da Kontingente weitgehend sicher erfüllt werden können und der Betrieb damit ein verlässlicher Handelspartner ist.

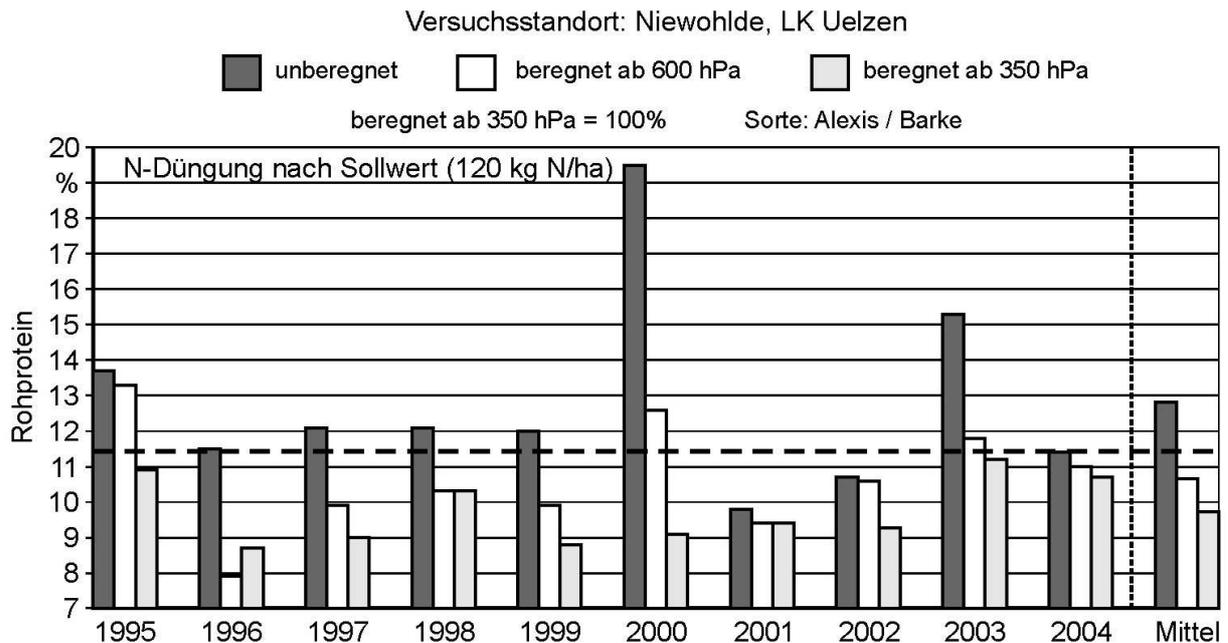


Abb. 7-3: Rohproteingehalte von Braugerste bei unterschiedlicher Berechnungsmenge

Wirtschaftlichkeit von Berechnungsmaßnahmen

Tab. 7-1: Auswirkungen der Beregnung auf die Erträge und das Betriebsergebnis
 Ergebnisse aus 10jährigen Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Standort Nienwohlde, Landkreis Uelzen, 2 Bodenpunkte, Bodenart Sand, 610 mm durchschn. Niederschlag

| | Stärke- kartoffel | Zucker- rübe | Brau- gerste | Winter- roggen | Mittel der Frucht- folge (je 25 %) |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|---|
| Ertrag dt/ha - beregnet (ab 50 % nFK) | 545 | 576 | 55 | 72 | |
| - unberegnet | 408 | 426 | 35 | 52 | |
| Ertragsdifferenz dt/ha | 137 | 150 | 20 | 20 | |
| Erlös €/ha ¹⁾ - beregnet (ab 50 % nFK) | 3.216 | 2.016 | 759 | 828 | |
| - unberegnet | 2.162 | 1.321 | 420 | 572 | |
| zus. variable Kosten (Düng., Pfl.schutz, Masch.) €/ha | 170 € | 155 € | 50 € | 50 € | |
| Erlösdifferenz €/ha | 883 € | 540 € | 289 € | 206 € | 480 € |
| Beregnungsmenge mm/ha | 130 | 108 | 80 | 65 | 96 |
| variable Kosten der Beregnung (1,50 €/mm mit Strom) | 195 € | 162 € | 120 € | 98 € | 144 € |
| Beregnungskostenfreie Leistung €/ha | 688 € | 378 € | 169 € | 109 € | 336 € |
| Gewinnbeitrag nach Deckung der festen Kosten: | | | | | |
| - niedrige feste Kosten (100 €/ha) | 588 € | 278 € | 69 € | 9 € | 236 € |
| - mittlere feste Kosten (150 €/ha) | 538 € | 228 € | 19 € | -42 € | 186 € |
| - hohe feste Kosten (200 €/ha) | 488 € | 178 € | -31 € | -92 € | 136 € |

¹⁾ Unterstellt sind folgende Preise: Kartoffeln beregnet mit 19,5 % Stärke 5,90 €/dt; Kartoffeln unberegnet mit 17,9 % Stärke 5,30 €/dt; Roggen beregnet 11,50 €/dt; Roggen unberegnet 11,- €/dt; Zuckerrüben beregnet mit 18,2 % Zucker 3,50 €/dt; Zuckerrüben unberegnet mit 16,6 % Zucker 3,10 €/dt; Braugerste 14,00 €/dt und Futtergerste 12 €/dt

Die Wirtschaftlichkeit von Beregnungsmaßnahmen lässt sich anhand der langjährigen Beregnungsversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ableiten. **Tabelle 7-1** zeigt die Auswirkungen der Beregnung auf das Betriebsergebnis. Dabei sind die Erträge beregnet und unberegnet und die benötigten Wassermengen monetär bewertet und die beregnungskostenfreie Leistung ausgewiesen worden.

Aus den Differenzen der im Durchschnitt der Jahre ermittelten Erträge und Qualitäten ergeben sich für die angenommenen Preise die Erlösdifferenzen für jede Kultur. Hiervon werden die variablen Kosten des jeweils durchschnittlich benötigten Beregnungswassers sowie durch die Mehrerträge zusätzlich anfallenden Kosten (z.B. für Ersatz entzogener Nährstoffe und höhere Erntekosten) abgezogen und man erhält die beregnungskostenfreien Leistungen. Daran lässt sich eine Rangfolge der Kulturen hinsichtlich ihrer Beregnungswürdigkeit ableiten.

Bei dem angenommenen mittleren Produktpreisniveau ist die Beregnung der Stärkekartoffel mit Abstand am rentabelsten. Die Rentabilität nimmt bei anderen Vermarktungswegen z.B. Speisekartoffeln, noch deutlich zu. Auch bei den Zuckerrüben ist der Einsatz der Beregnung sehr wirtschaftlich. Beim Getreide wird ebenfalls eine positive beregnungskostenfreie Leistung gedeckt. Die festen Kosten werden jedoch nicht in jedem Fall gegeben. Hier hängt es sehr vom Preis- und Kostenniveau ab, ob ein positiver Gewinnbeitrag durch Beregnung erreicht werden kann.

Bei der Planung einer Beregnungsanlage ist es entscheidend, dass der Gewinnbeitrag für die Fruchtfolge langfristig, d.h. im Abschreibungszeitraum der Anlage, positiv ist, dass also alle anfallenden Kosten gedeckt werden können. Mit einer reinen Getreidefruchtfolge ist dies nur bei einem hohen Preisniveau oder niedrigen Kosten möglich. Daher sollte die Fruchtfolge so geplant werden, dass auch rentable Intensivkulturen enthalten sind.

Für die kurzfristige Betrachtung, also bei vorhandener Bewässerungstechnik, ist entscheidend, dass für jede Kultur die variablen Kosten gedeckt sind und eine positive beregnungskostenfreie Leistung erreicht wird. Da jedoch häufig die wasserrechtliche Erlaubnis und die Arbeitskapazität begrenzt sind, sollte der Schwerpunkt der Zusatzwassergaben bei den Kulturen liegen, welche die höchste Wirtschaftlichkeit der Beregnung bieten.

Die Beregnung von Silomais gewinnt durch die starke Ausdehnung des Anbaus für Biogasanlagen zunehmend an Bedeutung. Versuchsergebnisse der Landwirtschaftskammer Niedersachsen stehen bisher aus 3 Versuchsjahren zur Verfügung (2006, 2008, 2009). Die Ergebnisse sind in **Tabelle 7-2** dargestellt. Der durchschnittliche Ertragsunterschied zwischen unberegnet und beregnet betrug 80 dt/ha Frischmasse (entspricht ca. 27 dt/ha Trockenmasse) bei intensiver Beregnung ab 50 % nutzbarer Feldkapazität. Auch die Qualität in Form des Stärkegehaltes ist durch Bewässerung gestiegen, was sich besonders in sehr trockenen Jahren zeigt.

Tab. 7-2: Wirtschaftlichkeit der Beregnung bei Silomais

| | Silomais |
|---|-----------------|
| Ertrag dt/ha - beregnet (ab 50 % nFK) | 198 |
| - unberegnet | 171 |
| Ertragsdifferenz dt/ha | 27 |
| Erlös €/ha ¹⁾ - beregnet (ab 50 % nFK) | 1.485 |
| - unberegnet | 1.283 |
| zus. variable Kosten (Düng., Pfl.schutz, Masch.) €/ha ²⁾ | 0 € |
| Erlösdifferenz €/ha | 203 € |
| Beregnungsmenge mm/ha | 110 |
| variable Kosten der Beregnung (1,50 €/mm mit Strom) | 165 € |
| Beregnungskostenfreie Leistung €/ha | 38 € |
| Gewinnbeitrag nach Deckung der festen Kosten: | |
| - mittlere feste Kosten (150 €/ha) | -112 € |

¹⁾ Unterstellt sind folgende Preise: Silomais ab Feld 7,50 €/dt Trockenmasse

²⁾ Ohne Ausgleich von zusätzlichen Nährstoffentzügen oder Maschinenkosten durch Mehrerträge

Die Wirtschaftlichkeit der Beregnung beim Mais war nur bei ausschließlicher Berücksichtigung der variablen Kosten gegeben. Die festen Kosten waren jedoch nicht gedeckt, so dass eine Investition in eine Beregnungsanlage ausschließlich für Mais bei den gegebenen Bedingungen nicht wirtschaftlich war. Größere Ertragsunterschiede auf sehr leichten Standorten oder höhere Preise können die Rentabilität verbessern. Eine Risikoabsicherung zur Sicherstellung der benötigten Erntemengen auch in Trockenjahren kann hier jedoch der entscheidende Faktor für die Bewässerung sein.

Fazit

Beregnung ist ein sehr teures Betriebsmittel, welches aber in Regionen ohne ausreichende Niederschläge in der Vegetationsperiode in allen Kulturen die Erträge auf einem höheren Niveau stabilisiert und deutlich bessere Qualitäten garantiert. In bestimmten Regionen ist die Beregnung für die Landwirtschaft existentiell notwendig. Hier ist ein Anbau von Kartoffeln, Zuckerrüben oder Braugerste ohne die Möglichkeit der Beregnung nicht rentabel. Nur durch eine zusätzliche Beregnung ist es auf diesen Flächen möglich, hohe Produktionsmengen und bestmögliche Qualitäten sicher zu stellen.

Wenn eine Investitionsentscheidung ansteht, ist eine wirtschaftliche Betrachtung aber für jeden Einzelfall gesondert anzustellen. Auch die technische Ausstattung der Anlage und damit die Höhe des Investitionsvolumens ist für jedes Vorhaben neu zu kalkulieren. In beregnenden Betrieben ist ebenfalls eine ständige Überprüfung der Beregnungsmaßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit notwendig.