

2.5 Bewässerung und Beregnung

(W. REUST und E. R. KELLER)

2.5.1 Einleitung

Seit Jahrtausenden und weltweit - denken wir z. B. an die mit riesigen Anstrengungen erstellten bewässerbaren Terrassen in den Gebirgsgegenden von Südamerika und Asien, an die riesigen Reisfelder usw. - spielen Bewässerung und in neuerer Zeit auch die Feldberegnung in allen Erdteilen eine herausragende Rolle. So auch in einzelnen Regionen von Mitteleuropa, wie dies z. B. aus der Karte mit den mittleren Niederschlagssummen in Deutschland (ROTH 1993) herausgelesen werden kann. Die beregnete Fläche liegt v. a. in Niedersachsen und den anschließenden östlichen Bundesländern. Die jährlichen Niederschläge nehmen in Niedersachsen von Westen und Norden von 700 bis 900 mm auf 500 mm/Jahr im Osten von Niedersachsen und den angrenzenden Bundesländern ab (ROTH 1993 und FRICKE 1996). Gemäß ROTH et al. (1995) wurden 1994 in Deutschland ca. 531 000 ha (3,1% der LF) beregnet. Davon entfielen 44% auf Niedersachsen (= 8,6% der LF) und ca. 11% auf Sachsen-Anhalt. In den einzelnen Beregnungsgebieten gibt es Betriebe, die fast vollständig (Fruchtfolge!) beregnet werden. In

1,5 l/Pflanze/Tag. Aufgrund der flachen Bewurzelung reagiert die Kartoffel besonders rasch auf Trockenheit.

ROTH et al. (1993) geben in Tab. 34 eine Übersicht über die **Transpirationskoeffizienten** verschiedener Nutzpflanzen. Die Zuckerrübe weist einen eher kleinen TK auf, bei der Kartoffel ist er wesentlich höher.

Nach Untersuchungen von VOS und OYARZUN (1987) sowie VOS (1989a) werden pro Liter Wasser 7 bis 11 Gramm Trockensubstanz gebildet. Der Assimilationsapparat ist jedoch je nach Wasserverfügbarkeit mehr oder weniger effizient. Die Bodenfeuchte zum Zeitpunkt des Knollenansatzes beeinflusst deren Zahl. HAVERKORT et al. (1990) konnten zeigen, daß bei Trockenheit während den ersten 40 Tagen nach dem Auspflanzen deutlich weniger Knollen angesetzt werden als bei optimaler Feuchte.

Nach LEVY (1983), LEVY et al. (1989) sowie VOS und GROENWALD (1989) gibt es Sortenunterschiede im Verhalten gegenüber Wasserstreß, d. h. es gibt Sorten, die deutlich stärker mit einer Ertragseinbuße reagieren als andere. COFFEY et al. (1997) konnten den

deshalb an dieser Stelle darauf beschränken, die v. a. für die Beregnung von Kartoffeln und Zuckerrüben (s. Abschnitt Zuckerrüben Kap. 2.4) maßgebenden Zusammenhänge hervorzuheben.

2.5.2 Wasserspeicherung im Boden und Wasserbedarf der Kartoffel

2.5.2.1 Der Boden als Wasserspeicher

Die Speicherkapazität des Bodens ergibt sich aus seinen physikalischen Eigenschaften und der Tiefe der durch die Pflanzen nutzbaren Zone. Der Boden enthält im Mittel 1 mm leicht aufnehmbares Wasser pro Zentimeter Tiefe. Bei einer Durchwurzelungstiefe von 50 cm bildet sich also ungefähr ein Reservoir von 50 mm Wasser. Je nach Bodenbeschaffenheit variiert auch die Wasserspeicherkapazität der Böden (Tab. 33).

2.5.2.2 Wasserbedarf der Kartoffel

Bei Kartoffeln kann der Wasser- und somit auch der Nährstoffmangel in der Hauptvegetationszeit zu deutlichen Ertragseinbußen führen. Der Tagesverbrauch einer Kultur an Wasser variiert von 2 mm bei bedecktem Wetter bis 5–6 mm an einem warmen Sommertag unter unseren Breitengraden (s. Kap. 1.5). Dies entspricht einem Wasserverbrauch von 20 000 bis 60 000 l/ha oder 0,5 bis

spezifischen Wasserbedarf anhand von Messungen des Stengel-Wasserpotentials bestätigen. Sorten verschiedener Reifegruppen weisen einen zeitlich unterschiedlichen Wasserbedarf auf. Frühe Sorten benötigen am meisten Wasser von ca. Mitte Mai bis gegen Ende Juni, mittelfrühe von Anfang Juni bis Anfang August und mittelspäte Sorten während ca. 8 Wochen ab Mitte Juni. Anschauliche Darstellungen über die **Beregnungszeitspannen** bei verschiedenen Ackerkulturen sind in ROTH (1991 a, 1993) zu finden. Wenn Zeitpunkt und Höhe der Gabe nicht richtig gewählt werden, kann dies zu einer ungünstigen Knollenentwicklung beitragen. Kartoffeln können nach einem Wachstumsstillstand infolge Trockenheit nicht ohne Qualitätsbeeinträchtigung weiterwachsen: Zwiewuchs und Durchwuchs (Kettenbildung) stellen sich ein. Eine ausgeglichene Wasserversorgung ist Voraussetzung zur Erzielung hoher Kartoffelerträge (ALBRECHT und ROTH 1995). Die richtige Feldberegnung von Kartoffeln stellt einige Anforderungen an den Landwirt.

2.5.3 Einfluß des Klimas

Die **Evapotranspiration** verursacht den Hauptwasserverbrauch. Diese hängt vor allem von der Sonneneinstrahlung, der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und dem Wind ab. Sie setzt sich aus der Verdunstung des Bodens (Evaporation) und der Pflanze (Transpiration) zusammen. Wenn die Pflanzen den Boden bedecken und nicht an Trockenheit leiden, erreicht die Evapotranspiration ihren maximalen Wert. Dieser kann je nach Wetter 1–6 mm/Tag erreichen.

2.5.4 Grundsätze der Bewässerungstechnik

2.5.4.1 Die Wasserbilanz

Mit Hilfe der drei Elemente **Bodenreserve**, **Evapotranspiration** und **Niederschläge** läßt sich eine **Wasserbilanz** berechnen. Sie stellt die Differenz dar zwischen Evapotranspiration und den Niederschlägen oder der Bewässerung. Die Wasserbilanz wird am besten wöchentlich berechnet (Tab. 35); sie ist eine große Hilfe für die Festlegung der Beregnungstermine und der Wassergaben. Für detaillierte Angaben zur Berechnung des Wasserbedarfes für die Beregnung unter Berücksichtigung weiterer wichtiger Faktoren wird auf ROTH (1991 b) verwiesen.

Bekanntlich ist der Boden heterogen und man erhält nur dann ein Bild von seinem Zustand, wenn man ihn an mehreren Stellen untersucht. Dazu können auch **Tensiometer**

(Saugspannungsmeßgeräte) eingesetzt werden (REUST 1989 b, NIEVERGELT 1988). Es handelt sich um wassergefüllte Rohre mit einer Keramikspitze, welche am oberen Ende mit einem Manometer ausgerüstet sind, an dem der Unterdruck abzulesen ist. Je weiter die Bodenfeuchte sinkt, desto höher steigt der Saugdruck, mit dem der umgebende Boden das Wasser aus dem Röhrchen festhält. Bei hohem Wassermangel steigt der Saugdruck bis 0,8 bar an. Optimale Werte für Kartoffeln liegen zwischen 0,3 und 0,5 bar. Es sollten mindestens 3 Tensiometer in einem Feld stehen, um einen guten Durchschnittswert der Parzelle zu erhalten. Nach FRICKE (1996) werden in Deutschland über 90% aller Beregnungsflächen aufgrund des Wasserdefizites während der Vegetationszeit beregnet.

In den USA werden auch Neutronensonoden zur Bodenfeuchtigkeitsmessung eingesetzt (STOCKLE und HILLER 1994).

2.5.4.2 Zeitpunkt und Höhe der Gaben

Nicht überall, wo Beregnung nötig ist, stehen gut entwickelte Methoden zur Verfügung, die zuverlässige Angaben über den richtigen Zeitpunkt von zusätzlichen Wassergaben liefern. Unter kritischen Anbaubedingungen wird der Landwirt daher vielleicht (vorsorglich) einmal wöchentlich beregnen oder jedenfalls dann, wenn sich der Boden unterhalb des Knollennestes trocken anfühlt.

ROTH und ROTH (1987) haben die Auswirkungen einer unterschiedlichen Wasserversorgung in einzelnen Entwicklungsschnitten der Kartoffel in Tab. 36 zusammen-

gestellt und für die Verhältnisse in den trockeneren Regionen Thüringens entsprechende Empfehlungen ausgearbeitet. Vor Beginn des Knollenansatzes sollte nicht beregnet werden. Für eine zügige Entwicklung z. B. der Frühkartoffeln sollte die nutzbare Wasserkapazität (**Feldkapazität**) nicht unter 50% absinken. Um das Risiko der Nährstoffverlagerung zu minimieren, sollte der Boden maximal bis zu 90% der Feldkapazität mit Wasser versorgt werden. Es muß eine Rest-Speicherkapazität für natürliche Niederschläge offen bleiben.

Die **Höhe der einzelnen Wassergaben** richtet sich nach der Wasserspeicherkapazität in der durchwurzelten Bodenschicht. Je nach Boden und Entwicklung der Kartoffeln können somit Einzelgaben von 20 – 30 mm Wasser verabreicht werden (REUST 1989, DEMMLER 1991). Sandböden haben eine geringere

Wasserspeicherfähigkeit als lehmige, bindigere Böden; ein sandiger Boden muß daher öfters, aber mit kleineren Gaben beregnet werden. ALBRECHT und ROTH (1995) schätzen, daß der Zusatzwasserbedarf/Jahr für mittelfrühe und mittelspäte Kartoffeln im Durchschnitt mehrerer Jahre bei niedrigem Wasserspeichervermögen ca. 100 mm, bei hohem Wasserspeichervermögen dagegen nur 60 mm beträgt. Die Regenmenge in der Zeiteinheit darf bei der Kartoffel nicht zu hoch sein, um das Abschwemmen der Dämme und die Bodenerosion zu vermeiden. DEMMLER (1991) empfiehlt dazu Schwachregner mit Niederschlagsmengen bis 7 mm/Std. Zu beachten ist zudem, daß die Tröpfchen nicht zu groß und die Dämme nicht zu steil (Erosionsgefahr) geformt sind. VAN DER ZAAG (1987) geht etwas höher, empfiehlt jedoch, nicht mehr als 10 mm/Std. zu verreg-

nen, solange der Boden nicht völlig bedeckt ist; danach kann die Beregnungsdichte auf 15 mm/Std. erhöht werden. Heute wird die Beregnung mehr und mehr mit Hilfe von Computern gesteuert. Die Programme basieren auf der Wasserbilanz und Bodenmerkmalen (DEUMIER und LANCELOT 1997, CURVEN et al. 1995). In traditionellen Beregnungsgebieten geben die Beratungsdienste bzw. Forschungs- und Versuchsanstalten Empfehlungen über Zeitpunkt und Höhe der Gaben zu den verschiedenen Kulturen ab.

2.5.4.3 Wirksamkeit der Bewässerung

ALBRECHT (1997) betont, daß die bedarfsgerechte Beregnung nicht nur zu Mehrerträgen führt, sondern ganz besonders zur **Ertragsstabilisierung** über Jahre hinweg ent-

erträge bei verschiedenen Kulturen. Daraus geht hervor, daß die zu erwartende Leistung bei Kartoffeln und Zuckerrüben beträchtlich sein kann. Dies geht auch aus Abb. 42 (ALBRECHT und ROTH 1995) hervor, besonders wenn v. a. während der kritischen Phase von Blühmitte bis gegen Krautreife beregnet wird. Schließlich zeigt FRICKE (1996), daß auf dem Standort Güstau während 14 Jahren (verschiedene Sorten) mit der Beregnung nicht nur regelmäßig Mehrerträge erzielt worden sind, sondern daß auch die Schwankungen zwischen den Erträgen verschiedener Jahre geringer ausfielen (Abb. 43). Die durchschnittlich verregnete Menge an Zusatzwasser von 119 mm gleicht im Durchschnitt genau die negative klimatische Wasserbilanz (KWB) aus. Nach FOTI et al. (1995) erbrachte ein mm Zusatzberegnung bei Kartoffeln Ertragssteigerungen bis zu 0,175 t/ha. Der TS-Gehalt nahm jedoch signifikant ab. STARK et al. (1993) erzielten in den USA mit der Sorte 'Russet Burbank' die besten Erträge und Qualitäten bei einer zweiwöchentlichen Stickstoffgabe zur Bewässerung,

In anderen Bundesländern stammt das Wasser vermehrt aus Seen, Flüssen (v. a. Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern) oder Speicherbecken für Bewässerungszwecke (Thüringen, Sachsen). Von den Bewässerungsverfahren haben in Mitteleuropa die Rohrtrommelmaschinen (Abb. 46) eine recht große Verbreitung gefunden.

Die gemachten Ausführungen beziehen

scheidend beiträgt, was sich natürlich auch in der Kostenberechnung deutlich auswirkt. Nach REUST (1989) konnten in einem dreijährigen Bewässerungsversuch (Tropfsystem) mit der mittelfrühen Speisesorte Nicola auf eher schwereren lehmigen Böden Ertragssteigerungen von 0 bis 35% erzielt werden. In einem Jahr wurde trotz einer defizitären Wasserbilanz von 75 mm kein zusätzlicher Ertragszuwachs beobachtet (Tab. 37 sowie Abb. 41). Aus Tab. 38 geht ferner hervor, daß Verfahren 3 (Bewässerung plus 2x30 kg N/ha als Kopfdüngung kurz vor bzw. während der Knollenbildungsphase) mit geringerem Stärkegehalt und erhöhter Empfindlichkeit der Knollen für Blaufleckigkeit reagierte. LANG (1992) gibt in Tab. 39 eine Übersicht über – unter beregnungsbedürftigen Standorten in der ehemaligen DDR – zu erwartende Mehr-

und zwar vom Knollenansatz bis eine Gesamtstickstoffgabe von 132 kg N/ha erreicht wurde.

2.5.5 Bewässerungs- bzw. Beregnungseinrichtungen

Während weltweit in vielen Regionen die Bewässerung planierter Anbauflächen über die Wasserzuleitung in Furchen (Furchenbewässerung) üblich ist, kommen in Mitteleuropa moderne und zugleich wassersparende Systeme immer häufiger zur Anwendung. Diese Systeme sind in Band 1 Kap. 4.7 bereits beschrieben worden (s. auch Abb. 4.112–4.115). Es soll daher an dieser Stelle nur eine Übersicht über die verschiedenen Bewässerungsverfahren mit den entsprechenden Kenndaten (Abb. 44 und 45) gegeben werden. Das **Beregnungswasser** wird in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern, Hessen, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg zum überwiegenden Teil dem Grundwasser entnommen (ROTH et al. 1995).

sich v. a. auf Deutschland, doch lassen sich grundsätzliche Erfahrungen zu einem guten Teil auf andere Bewässerungsgebiete in Mitteleuropa übertragen. Weiterführende Angaben sind zu finden u. a. in ALBRECHT und ROTH (1995), JÄGER und FUNK (1994), ROTH et al. (1995), SOURELL (1994), SOURELL et al. (1990 und 1996), STRASSER (1993), THÖRMANN und SOURELL (1998).

erträge bei verschiedenen Kulturen. Daraus geht hervor, daß die zu erwartende Leistung bei Kartoffeln und Zuckerrüben beträchtlich sein kann. Dies geht auch aus Abb. 42 (ALBRECHT und ROTH 1995) hervor, besonders wenn v. a. während der kritischen Phase von Blühmitte bis gegen Krautreife beregnet wird. Schließlich zeigt FRICKE (1996), daß auf dem Standort Güstau während 14 Jahren (verschiedene Sorten) mit der Beregnung nicht nur regelmäßig Mehrerträge erzielt worden sind, sondern daß auch die Schwankungen zwischen den Erträgen verschiedener Jahre geringer ausfielen (Abb. 43). Die durchschnittlich verregnete Menge an Zusatzwasser von 119 mm gleicht im Durchschnitt genau die negative klimatische Wasserbilanz (KWB) aus. Nach FOTI et al. (1995) erbrachte ein mm Zusatzberegnung bei Kartoffeln Ertragssteigerungen bis zu 0,175 t/ha. Der TS-Gehalt nahm jedoch signifikant ab. STARK et al. (1993) erzielten in den USA mit der Sorte 'Russet Burbank' die besten Erträge und Qualitäten bei einer zweiwöchentlichen Stickstoffgabe zur Bewässerung,

In anderen Bundesländern stammt das Wasser vermehrt aus Seen, Flüssen (v. a. Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern) oder Speicherbecken für Bewässerungszwecke (Thüringen, Sachsen). Von den Bewässerungsverfahren haben in Mitteleuropa die Rohrtrommelmaschinen (Abb. 46) eine recht große Verbreitung gefunden.

Die gemachten Ausführungen beziehen

und zwar vom Knollenansatz bis eine Gesamtstickstoffgabe von 132 kg N/ha erreicht wurde.

2.5.5 Bewässerungs- bzw. Beregnungseinrichtungen

Während weltweit in vielen Regionen die Bewässerung planierter Anbauflächen über die Wasserzuleitung in Furchen (Furchenbewässerung) üblich ist, kommen in Mitteleuropa moderne und zugleich wassersparende Systeme immer häufiger zur Anwendung. Diese Systeme sind in Band 1 Kap. 4.7 bereits beschrieben worden (s. auch Abb. 4.112-4.115). Es soll daher an dieser Stelle nur eine Übersicht über die verschiedenen Bewässerungsverfahren mit den entsprechenden Kenndaten (Abb. 44 und 45) gegeben werden. Das **Beregnungswasser** wird in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern, Hessen, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg zum überwiegenden Teil dem Grundwasser entnommen (ROTH et al. 1995).

sich v. a. auf Deutschland, doch lassen sich grundsätzliche Erfahrungen zu einem guten Teil auf andere Bewässerungsgebiete in Mitteleuropa übertragen. Weiterführende Angaben sind zu finden u. a. in ALBRECHT und ROTH (1995), JÄGER und FUNK (1994), ROTH et al. (1995), SOURELL (1994), SOURELL et al. (1990 und 1996), STRASSER (1993), THÖRMANN und SOURELL (1998).

Vorteile der Furchenbewässerung sind die geringen Investitionskosten (in geeigneten Gebieten) sowie die geringe Gefahr, daß Blattinfektionen mit *Phytophthora infestans* gefördert werden. Demgegenüber sind als **Vorteile der Feldberegnung** (Starkregner, Düsenwagen) zu nennen:

- effizientere Nutzung der Zusatzwassergaben,
- das Feld muß nicht planiert werden,
- Erleichterung des Maschineneinsatzes z. B. für Pflanzenschutzmaßnahmen und Ernte (BEUKEMA und VAN DER ZAAG 1990).

Als **Nachteile der Furchenbewässerung** gelten u. a.

- die Notwendigkeit exakter Planierung,
- der hohe Arbeitsaufwand,
- die geringere Ausnutzungsquote des Bewässerungswassers.

Bei der Feldberegnung (Starkregner, Düsenwagen) kann sich der Einfluß des Windes nachteilig auswirken.

Ein Verfahren, mit dem der Wasserverlust während der Entwicklung der Pflanzen am geringsten gehalten werden kann, ist die Micro-Bewässerung und -Beregnung. Das Wasser wird mit Tropfregner-Schläuchen direkt den Pflanzen zugeführt. Diese Schläuche werden bei der Pflanzung in die Dämme gelegt und mit dem Anhäufeln zugedeckt. Das Wasser wird mit Tiefdruck (1–2 bar) zugeführt und diffundiert durch Poren (BANGRATZ und DUPUIS 1994).

2.5.6 Wirtschaftlichkeit der Beregnung

In Kap. 2.5.4.3 wurde gezeigt, daß bei fachgerechtem Einsatz der Beregnung zu Kartoffeln Mehrererträge erwartet werden dürfen. Um die oft gestellte Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Beregnung (s. u. a. ALBRECHT und ROTH 1995, FRICKE 1996, JÄGER und FUNK 1994, JAEP 1992, SEESSELBERG 1991, SOURELL 1994) beantworten zu können, müssen selbstverständlich noch andere Kriterien herangezogen werden. Es sind dies v. a.

- Investitionskosten, unter Berücksichtigung aller Feldfrüchte, die auf einem Betrieb beregnet werden,
- Arbeitskosten,
- Rücklage finanzieller Mittel für die Modernisierung,
- qualitative Verbesserung, z. B. höherer Anteil an Marktware (z. B. weniger Zwiewuchs, gewöhnlicher Schorf),
- Ertragsstabilisierung,
- Verkaufspreis.

Berechnungsbeispiele sind in der oben angegebenen Literatur enthalten, z. T. wird auch auf ökologische Vorteile der Beregnung hingewiesen.

ALBRECHT (1997) weist besonders darauf hin, daß die Kostenberechnung sehr von der Anzahl beregnungswürdiger Fruchtarten in der Fruchtfolge beeinflusst wird, ebenso von einem sparsamen Energieverbrauch (Dieselpumpen empfohlen) und von einer effizienten

Verwertung des (bedarfsgerecht) eingesetzten Wassers. Er erläutert dies anhand von aufschlußreichen Berechnungen.

Grundsätzlich ist die Beregnung ein teures Betriebsmittel, das nur bei Kulturen mit hohem Deckungsbeitrag (Hackfrüchte, Gemüse, Sonderkulturen) eingesetzt werden sollte und auch hier nur nach vorangegangener, sorgfältiger Abklärung der Wirtschaftlichkeit aufgrund der örtlichen Verhältnisse. Bei der Micro-Bewässerung sind die Investitionskosten ungefähr doppelt so hoch wie bei einer klassischen Anlage; auch die jährlichen Betriebskosten sind bedeutend höher.

2.5.7 Beregnung zum Schutz vor Frostschäden

Junge Kartoffelpflanzen bzw. solche, die den Boden unmittelbar durchstoßen, ertragen Temperaturen von ca. -2 bis -3 °C nicht. Ähnlich wie im Obst- und Weinbau können Frühkartoffeln unter Vlies mittels leichter Beregnung vor Frost geschützt werden. Die Intensität der Beregnung ist sehr vorsichtig einzustellen, da es sonst leicht zur Auswaschung von Nährstoffen und/oder zur Verschlämmung bzw. Erosion kommen könnte. Es bildet sich auf den Blättern und Stengeln eine Eisschicht. Weil das Wasser beim Gefrieren Wärme abgibt, wird der Eispanzer nicht kälter als 0 °C. Deshalb bleiben die Pflanzen geschützt (sie erfrieren erst bei ca. -2 °C). Die Beregnung muß fortgesetzt werden, bis die Frostgefahr vorüber und der Eispanzer geschmolzen ist.

Literatur zu Kap. 2.5

- ALBRECHT, M.: Kartoffelberegnung bei niedrigen Erzeugerpreisen. Kartoffelbau 48, 3, 96–98, 1997.
- ALBRECHT, M. und D. ROTH: Beregnung lohnt sich – Empfehlungen zum Zusatzwassereinsatz und zur Verfahrensgestaltung. Kartoffelbau 46, 3, 116–119, 1995.
- BANGRATZ, J. et F. DUPUIS: Micro-irrigation. La Pomme de Terre Française 482, 135–141, 1994.
- BEUKEMA, H. und D. E. VAN DER ZAAG: Introduction to Potato Production. Pudoc Wageningen 1990.
- BRAMM, A. und H. SOURELL: Zur Ertragsbildung von Kartoffeln in Abhängigkeit von unterschiedlichen Beregnungsverfahren. Kartoffelbau 41, 5, 184–187, 1990.
- CALAME, F.: Bewässerung im Gemüsebau. Schweiz, Gemüse-Union (SGU), Ins, 64 S., 1987.
- CARLEY, W.L.P., R.J. GORDON and M.A. DIXON: Patterns of stem water potential in field grown potatoes using stem psychrometers. Potato Res. 40, 35–46, 1997.
- CURWEN, D., L. BINNING, W. STEWENSON and J. WYMAN: (IPM) Integrated Pest Management Program, WISDOM: University of Wisconsin, Cooperative Extension College of Agricultural and Life Sciences 101 p., 1995.
- DEMMLER, D.: Steuerung des Beregnungseinsatzes in Kartoffeln. Kartoffelbau 42, 5, 204–208, 1991.
- DEUMIER, J.M. et F. LANCELOT: Maîtriser l'irrigation de la pomme de terre. Pomme de terre Hebdo 448, 4–5, 1997.
- FOTI, S., G. MAUROMICALE and A. IERNA: Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cv. Spunta. Potato Res. 38, 307–318, 1995.
- FRICK, R.: Beregnungsautomaten: Bewässern und Güllen im gleichen System. Die Grüne 27, 18–20, 1995.
- FRICKE, E.: Lohnt die Beregnung? Kartoffelbau 47, 3, 94–97, 1996.
- HAVERKORT, A. J., M. VAN DE WAART and K. B. A. BODLAENDER: The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. Potato Res. 33, 1, 89–96, 1990.
- JÄGER, P. und M. FUNK: Beregnen gut kalkulieren. DLZ 5, 88–90, 1994.
- JAEP, A.: Beregnung von Kartoffeln – Lohnt sich das überhaupt? Kartoffelbau 43, 4, 166–170, 1992.
- LANG, H.: Mit wenig Wasser – viel Ertrag. Neue Landwirtschaft 5, 50–53, 1992.
- LEVY, D.: Varietal differences in the response of potatoes to repeated short periods of water stress in hot climates. 2. Tuber yield and dry matter accumulation and other tuber properties. Potato Res. 26, 315–321, 1983.
- LEVY, D., A. PEHU and R. E. VEILLEUX: Variability of diffuse leaf resistance and transpiration rates of various potato genotype and its possible contribution to water economy. Potato Res. 32, 3, 275–282, 1989.
- NIEVERGELT, J.: Beregnungssteuerung im Kartoffelbau – Praxisversuche mit Wasserbilanzen und Tensiometern. Landwirtschaft Schweiz 1, 1, 57–62, 1988.
- REUST, W.: Irrigation et complément d'azote sur la pomme de terre (Bewässerung und Kopfdüngung der Kartoffel). Revue suisse d'Agric., 21, 1, 19–22, 1989a.
- REUST, W.: Kartoffelbewässerung mit zusätzlicher

- Stickstoffdüngung. Landwirtschaft Schweiz 2, 8, 487–490, 1989 b.
- ROTH, D.: Pflanzenwasserverbrauch und ertragsbezogener Wasserbedarf als Grundlage für einen effizienten Beregnungseinsatz. Z. f. Bewässerungswirtschaft 26, 1, 49–65, 1991 a.
- ROTH, D.: Grundlagen und Methodik zur Ermittlung des Wasserbedürfnisses für die Beregnung. Z. f. Bewässerungswirtschaft 26, 2, 40–54, 1991 b.
- ROTH, D.: Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf in der Feldberegnung. Schriftenreihe LUFA, Thüringen, 6, 53–86, 1993.
- ROTH, D. und R. ROTH: Beregnung zur Boden- und Bestandesführung für die Erzielung hoher Erträge bei Kartoffeln, Zuckerrüben und Getreide. Feldwirtschaft 28, 5, 198–200, 1987.
- ROTH, D., R. ROTH und K. KACHEL: Untersuchungen zum Einfluß differenzierter Wasserversorgung auf den Verlauf der Ertragsbildung und den Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) sowie Schlußfolgerungen für einen effizienten Beregnungseinsatz. Potato Res. 30, 625–636, 1987.
- ROTH, D., R. GÜNTHER und R. ROTH: Der Einfluß unterschiedlicher Wasserversorgung auf die Wasserausnutzung landwirtschaftlicher Fruchtarten. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 34, 65–71, 1993.
- ROTH, D., TH. EGGERS, F. SEESSELBERG und M. ALBRECHT: Analyse des Bundesverbandes Feldberegnung (BFVF) zum Stand der Beregnung in Deutschland. Zeitschr. f. Bewässerungswirtschaft 30, 1/2, 113–120, 1995.
- SOURELL, H.: Schriftl. Mittlg. 1996.
- SEESSELBERG, F.: Lohnt Beregnung? Landtechnik 5, 212–215, 1991.
- SOURELL, H.: Zeitgemäße Beregnung – Verringerung des Wasser- und Energieaufwandes bei mobilen Beregnungsmaschinen. Landtechnik 5, 209–212, 1991.
- SOURELL, H.: Regen bringt Segen – Viele Verbesserungen an Beregnungsanlagen. DLZ 5, 80–87, 1994.
- SOURELL, H., H. H. THÖRMANN und A. BRAMM: Kartoffelberegnung mit Regner oder Düsenwagen? Kartoffelbau 41, 4, 139–143, 1990.
- SOURELL, H., A. BRAMM und F. J. LÖPMEIER: Kartoffelberegnung mit neuen Wasserverteilungstechniken. Kartoffelbau 47, 3, 98–100, 1996.
- STARK, J. C., I. R. McCANN, D. T. WESTERMANN, B. IZADI and T. A. TINDALL: Potato response to split nitrogen timing with varying amounts of excessive irrigation. American Potato Journal 70, 11, 765–777, 1993.
- STOCKLE, C. O. and L. K. HILLER: Evaluation of on-farm irrigation scheduling methods for potatoes. American Potato Journal 71, 3, 155–164, 1994.
- STRASSER, H. R.: Technik der Beregnungsautomaten. Die Grüne 24, 23–27, 1993.
- THÖRMANN, H.-H.: und H. SOURELL: Beregnung mit Großflächen-Beregnungsmaschinen findet immer mehr Verbreitung. Kartoffelbau 49, 3, 68–71, 1998.
- VOS, J. and P. J. OYARZUN: Photosynthesis and stomatal conductance of potato leaves – effects of leaf age, irradiance and leaf water potential. Photosynthesis Research 11, 253–264, 1987.
- VOS, J. and J. GROENWALD: Genetic differences in water-use efficiency, stomatal conductance and carbon isotope fractionation in potato. Potato Res. 32, 1, 113–121, 1989 a.
- VOS, J.: Associations between genetic differences in water use efficiency porometer estimates of stomatal conductance and carbon isotope discrimination in *Solanum tuberosum*. EAPR-Physiology section meeting Israel. Potato Res. 32, 2, 214, 1989 b.
- ZAAG, D. E. VAN DER: Water supply to potato crops. Neth. Potato Consult. Inst. the Hague 1987.

2.6 Düngung zu Kartoffeln

(B. SATTELMACHER)

Die Grundzüge der Düngung zu Kartoffeln ergeben sich aus:

- dem Ertragsniveau,
- der Dauer der Vegetationsperiode,
- den sich aus der Produktionsrichtung ergebenden Qualitätskriterien,
- der Empfindlichkeit bestimmter Mineraldüngerformen gegenüber sowie
- den Standortgegebenheiten.

2.6.1 Nährstoffentzüge

Der Nährstoffentzug entspricht den Nährstoffmengen, die mit dem Ernteprodukt vom Acker abgefahren werden. In Tab. 40 sind die durchschnittlichen, mit 100 dt Knollen Frischmasse vom Feld abgefahrenen Nährelementmengen wiedergegeben. Zu bedenken bleibt allerdings, daß die Nährelementkonzentrationen in den Knollen keineswegs unabhängig vom Ertrag sind. So steigt mit den durch N-Düngung hervorgerufenen Mehrerträgen auch der N-Gehalt der Knollen, während der von P und K unter Umständen abnimmt (KOLBE et al. 1990, GUPTA und