

DIN ISO 24120-1

ICS 65.060.35

Einsprüche bis 2022-09-29

Entwurf**Maschinen und Geräte für die Bewässerung und die Dränung –
Leitfaden für die Implementierung von Druckbewässerungssystemen –
Teil 1: Allgemeine Grundsätze der Bewässerung (ISO 24120-1:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Agricultural irrigation equipment –
Guideline on the implementation of pressurized irrigation systems –
Part 1: General principles of irrigation (ISO 24120-1:2022);
Text in German and English

Matériel agricole d'irrigation –
Lignes directrices relatives à la mise en oeuvre des systèmes d'irrigation sous pression –
Partie 1: Principes généraux d'irrigation (ISO 24120-1:2022);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-07-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 62 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Wasserwirtschaft	6
4.1 Verhältnis Boden zu Wasser	6
4.1.1 Allgemeines	6
4.1.2 Feststoffpartikel und Porosität	6
4.1.3 Bodenwasser	7
4.1.4 Bestimmung der Wassermenge in einer Bodenschicht	8
4.1.5 Wasserretention in Böden	8
4.1.6 Bodenwasserpotential und Wasserbewegung im Boden	9
4.1.7 Wasserverteilung im Boden	10
4.1.8 Verteilung von Salzen im bewässerten Bodenvolumen	16
4.1.9 Salzkonzentrationen in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt	20
4.1.10 Verteilung der Nährstoffe	20
4.1.11 Wurzelverteilung	21
4.2 Wasserquellen	21
4.2.1 Quellen	21
4.2.2 Auswirkungen der wichtigsten Parameter zur Einstufung der chemischen/biologischen Qualität des Bewässerungswassers auf Boden und Pflanzen	21
4.2.3 Auswirkungen der chemischen und physischen Parameter auf Filter und Tropfer	22
4.3 Wasserverteilungsnetz: Hauptleitung, Zweigrohrleitungen, Verteilungsrohre	22
5 Auslegung von Druckbewässerungssystemen	23
5.1 Allgemeines	23
5.2 Datenerfassung	23
5.2.1 Bodeneigenschaften	23
5.2.2 Oberflächentopographie	23
5.2.3 Klima	23
5.2.4 Wasserquelle und Wasserqualität	23
5.2.5 Eigenschaften des Ernteguts (Obstplantage, Feldfrüchte, Gemüse)	23
5.2.6 Örtliche Bestimmungen zur Wassernutzung	24
6 Berechnung des Bewässerungsplans	24
6.1 Allgemeines	24
6.2 Boden als Wasserspeicher	24
6.2.1 Allgemeines	24
6.2.2 Berechnung des für die Pflanze verfügbaren Wassers im Wurzelraum	24
6.2.3 Berechnung des annehmbaren Bewässerungsdefizits	24
6.2.4 Nettobewässerungstiefe	25
6.2.5 Bruttobewässerungstiefe	25
6.2.6 Auswaschung	26
6.3 Wasserbedarf des Ernteguts	26
6.4 Bewässerungsturnus	26
Anhang A (informativ) Beispiel für Bodendaten	27
Anhang B (informativ) Verfahren zur Bestimmung der Maße der befeuchteten Zone	28
B.1 Verfahren nach Shwartzman und Zur	28
B.2 Hausenberg-Verfahren [3]	29
Anhang C (informativ) Salztoleranz ausgewählter Kulturarten	31
Literaturhinweise	32

Bilder

Bild 1 — Wasserverteilung bei Beckenbewässerung [1]	11
Bild 2 — Beregnung [1]	11
Bild 3 — Wasserbewegung bei Furchenbewässerung in verschiedenen Bodenarten [1]	12
Bild 4 — Befeuchtete Zone bei Tropfbewässerung in zwei verschiedenen Bodenarten	13
Bild 5 — Schematische Darstellung der Wasserverteilung aus einzelnen Mikroregnern	14
Bild 6 — Befeuchtungsmuster bei einzelnen Mikroregnern	15
Bild 7 — Salzansammlung im Bodenprofil bei einem furchenbewässerten Feld [4]	17
Bild 8 — Salzansammlung im Bodenprofil bei einem beregneten Feld	18
Bild 9 — Muster der Salzverteilung unter einem einzelnen Tropfer [6]	19
Bild 10 — Muster der Salzverteilung unter einem einzelnen Mikro-Sprüher [7]	19
Bild 11 — Wurzelsystem bei Tropfbewässerung (rechts) im Vergleich zu Wurzelsystem bei Beregnung (links)	21

Tabellen

Tabelle 1 — Schätzwerte für die Effizienz von saisonalen Bewässerungsverfahren (geändert aus [12])	25
Tabelle 2 — Erreichbare Applikationseffizienz bei Beregnung (Applikationseffizienz im Viertel mit der geringsten Wassermenge, geändert aus [13])	25
Tabelle 3 — Schätzwerte für die Effizienz von saisonalen Bewässerungsverfahren	26
Tabelle B.1 — Werte für die Berechnung des Beispiels	29
Tabelle B.2 — Ergebnisse der Berechnung für das Beispiel für alle Datenkombinationen in Tabelle B.1	29

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 24120-1:2022, die vom Technischen Komitee ISO/TC 23 „Tractors and machinery for agriculture and forestry“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 119-02-14 AA „Bewässerung und Dränung (CEN/TC 334, ISO/TC 23/SC 18)“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 23, *Tractors and machinery for agriculture and forestry*, Unterkomitee SC 18, *Irrigation and drainage equipment and systems* erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 24120 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument dient als Richtlinie für die Einrichtung von Druckbewässerungssystemen.

Es ist für kleine landwirtschaftliche Familienbetriebe ebenso wie für landwirtschaftliche Großbetriebe und für offene Felder oder geschlossene Bauwerke (z. B. Gewächshaus, Netzhaus) anwendbar.

Dieses Dokument ist für die Nutzung durch Landwirtschaftsministerien, Agrarwissenschaftler, Bewässerungsplaner, Landwirte und Endverbraucher vorgesehen.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Feuchtefront

Grenze zwischen dem befeuchteten Bodenbereich und dem trockeneren Bodenbereich während der Versickerung

[QUELLE: Glossary of Soil Science terms, modifiziert — im Englischen wurde „dry“ durch „drier“ ersetzt.]

4 Wasserwirtschaft

4.1 Verhältnis Boden zu Wasser

4.1.1 Allgemeines

Der Boden ist ein dreiphasiges System (mineralische und organische Feststoffpartikel, Wasser und Luft). Er wird von Pflanzen als Wasserspeicher genutzt. Bei der Planung eines Bewässerungssystems sollten die Verhältnisse zwischen Boden, Wasser und Pflanzen, wie in Abschnitt 4 beschrieben, beachtet werden. Beispielwerte für bodenphysische Parameter sind in Anhang A angegeben.

4.1.2 Feststoffpartikel und Porosität

Das Bodenvolumen besteht aus Feststoffpartikeln verschiedener Korngrößen (Sand, Schluff und Ton) und Poren. Die Bodenart wird durch den relativen Anteil der drei Partikelgruppen definiert.

Die Bodenporen werden durch das nicht von den Feststoffpartikeln ausgefüllte Volumen definiert. Das Gesamtvolumen und die Porengröße hängen von der Bodenart ab. Je höher der Tongehalt des Bodens, desto höher das Gesamtporenvolumen des Bodens und desto geringer die Porengröße. Das Gesamtporenvolumen liegt bei sandigen Böden bei 35 % bis 40 %, bei schluffigen Böden bei 50 % und kann bei Tonböden bis zu 60 % betragen.

Im Zustand der Wassersättigung des Bodens sind alle Bodenporen mit Wasser gefüllt und enthalten daher keine Luft.

4.1.3 Bodenwasser

Der prozentuale Anteil des Wassers im Verhältnis zur Feststoffmasse ist das Verhältnis zwischen der Masse des Wassers und der Masse der Partikel [siehe Gleichung (1)] und wird üblicherweise durch ein gravimetrisches Verfahren bestimmt.

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Dabei ist

w der Wassergehalt auf Grundlage der Trockenmasse (%);

m_w die Masse des Wassers (g);

m_s die Masse des trockenen Bodens oder die Masse der Feststoffe (g).

Das gravimetrische Verfahren ist das präziseste Verfahren (und daher das Standardverfahren) für die Bestimmung des Bodenwassers. Bei diesem Verfahren werden Bodenproben 24 h (oder bis die Probe eine konstante Masse erreicht) in einem Ofen bei 105 °C getrocknet. Der gravimetrische Wassergehalt (w) kann anhand von Gleichung (2) errechnet werden:

$$w = \frac{m_{w+c} - m_{d+c}}{m_{d+c} - m_c} \times 100 \quad (2)$$

Dabei ist

m_c das Eigengewicht des Behälters;

m_{w+c} die Masse von nassem Boden + Behälter;

m_{d+c} die Masse von trockenem Boden + Behälter.

Der Prozentanteil des Wassers im Verhältnis zum Bodenvolumen (d. h. der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens) ist das Verhältnis zwischen dem Volumen des Wassers und dem Gesamtvolumen des Bodens. Siehe Gleichung (3).

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \times 100 \quad (3)$$

Dabei ist

θ der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens (%);

V_w das Volumen des Wassers (cm³);

V_t das Gesamtvolumen des Bodens (cm³).

Das gravimetrische Verfahren kann zur Bestimmung der Schüttdichte des Bodens, des Wassergehalts auf Grundlage der Trockenmasse und des Wassergehalts auf Grundlage des Volumens verwendet werden. Zu diesem Zweck sollten unverformte Bodenproben mit dem Umland-Bodenprobenehmer oder mit einem ähnlichen Gerät zur Entnahme unverformter Proben genommen werden. Die Schüttdichte des Bodens ergibt sich aus Gleichung (4), in der das Gesamtvolumen des Bodens gleich dem Volumen des Behälters ist. Unter Annahme einer konstanten Wasserdichte von 1 g·cm⁻³ ergibt sich der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens aus Gleichung (5).

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t} \quad (4)$$

$$\theta = w \times \rho_b \quad (5)$$

Dabei ist

θ der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens (%);

w der Wassergehalt auf Grundlage der Trockenmasse (%);

ρ_b die Schüttdichte des Bodens ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

4.1.4 Bestimmung der Wassermenge in einer Bodenschicht

Die Wassermenge in einer Bodenschicht kann als Wassertiefe in Millimetern ausgedrückt werden. Siehe Gleichung (6).

$$h = \frac{\theta}{100} \times n \quad (6)$$

Dabei ist

h die Wassertiefe in einer bestimmten Bodenschicht (mm);

θ der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens (%);

n die Dicke der bestimmten Bodenschicht (mm).

ANMERKUNG

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l m}^{-2} = 10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

$$1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$$

4.1.5 Wasserretention in Böden

Die alleinige Kenntnis der Wassermenge im Boden ist ohne Kenntnis der anderen Bodeneigenschaften nicht ausreichend zur Bestimmung der Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser zur entsprechenden Programmierung des Bewässerungsschemas.

Das Wasser wird durch die Oberflächenspannung des Wassers im Kontakt mit der Luft und den Kontaktwinkel zwischen dem Wasser und den Bodenpartikeln in den Bodenporen gehalten. Daraus ergibt sich eine Retentionskraft in den Bodenporen (Kapillarität), die umso höher ausfällt, je geringer der Durchmesser der Bodenporen ist.

Jeder Boden hat seine eigene charakteristische Wasserretentionskurve (Wasserspannung im Verhältnis zur Veränderung der Feuchte) in Abhängigkeit seiner Bodenart und Struktur, aus der sich seine Porengrößenverteilung ergibt.

Anhand der Wasserretentionskurve lassen sich drei Wasserzustände im Boden definieren.

- Sättigung: Nach starken Regenfällen oder übermäßiger Bewässerung füllen sich alle Bodenporen mit Wasser, und die Versickerung setzt ein; dies geschieht bei sandigen Böden schneller und bei Böden mit zunehmendem Tongehalt langsamer.
- Speicherfeuchte (θ_{FC}): Der Wassergehalt im Boden 1 bis 3 Tage nach dem Zustand der Sättigung und nach weitgehendem Ende der Versickerung.

- Welkepunkt (θ_{WP}): Wenn Wasser durch die Evapotranspiration (aus Pflanzen und Böden) aus dem Boden entweicht, steigt die Spannung des Wassers (bis zu 1,5 MPa) auf einen Wert, bei dem die meisten Pflanzen das Wasser nicht mehr extrahieren können und dauerhaft verwelken.

Das gesamte pflanzenverfügbare Bodenwasser kann anhand der in Prozent ausgewiesenen Differenz zwischen dem Wassergehalt bei Speicherfeuchte und dem Wassergehalt am permanenten Welkepunkt berechnet werden. Siehe Gleichung (7).

$$W_{TA} = \left(\frac{\theta_{FC} - \theta_{WP}}{100} \right) n \quad (7)$$

Dabei ist

W_{TA} das gesamte pflanzenverfügbare Bodenwasser in einer bestimmten Bodenschicht (mm);

θ_{FC} der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens bei Speicherfeuchte (%);

θ_{WP} der Wassergehalt auf Grundlage des Volumens am Welkepunkt (%);

n die Dicke der bestimmten Bodenschicht (mm).

4.1.6 Bodenwasserpotential und Wasserbewegung im Boden

Auf das Wasser im Boden wirken diverse Kräfte. Aus diesem Grund weicht das Potential von Bodenwasser vom Potential von ungebundenem Reinwasser ab. Diese Kräfte beruhen auf der Anziehung des Wassers zur Feststoffmatrix des Bodens (Tonpartikel und organische Substanz) sowie auf dem Vorhandensein gelöster Salze und dem Einfluss der Schwerkraft. Das Bodenwasserpotential kann als Summe der einzelnen Beiträge jeder dieser Kräfte ausgedrückt werden, wie in Gleichung (8) gezeigt.

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \dots \quad (8)$$

Dabei ist

Ψ_t das Bodenwasserpotential;

Ψ_g das Gravitationspotential;

Ψ_m das Matrixpotential;

Ψ_o das osmotische Potential;

... Ausdruck anderer Terme des Bodenwasserpotentials, die theoretisch existieren.

Die Richtung der Wasserbewegung zwischen zwei Punkten im Boden wird durch das Vorhandensein einer Differenz im Bodenwasserpotential (Ψ_t) bestimmt. Die Bewegung verläuft vom Punkt mit dem höchsten Potential zu einem Punkt mit einem niedrigeren Potential. Bei der Bewegung des Bodenwassers zwischen zwei Punkten ist das osmotische Potential (Ψ_o) vernachlässigbar (aufgrund des Fehlens einer semipermeablen Membran zwischen den beiden Punkten), sodass das Bodenwasserpotential auf die Summe aus Gravitationspotential (Ψ_g) und Matrixpotential (Ψ_m) beschränkt ist ($\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m$).

Das Gravitationspotential von Wasser an einem gegebenen Punkt im Boden wird durch die relative Höhe des Punktes im Boden bestimmt (z. B. relativ zur Oberfläche).

Das Matrixpotential wird auch Kapillarpotential genannt. Es entsteht infolge der Kapillarität (die von der Größe der Bodenporen abhängig ist) und der Wasseradsorptionskräfte (durch Anziehung zu Feststoffpartikeln, insbesondere Ton und organische Substanz).

4.1.7 Wasserverteilung im Boden

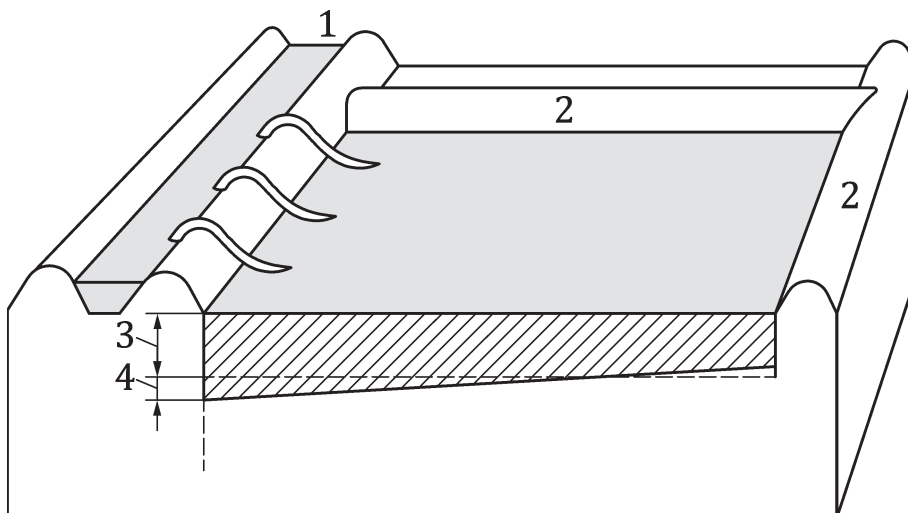
4.1.7.1 Verfahren mit Befeuchtung der gesamten Oberfläche

Bewässerungsverfahren mit Befeuchtung der gesamten Oberfläche (Beckenbewässerung und einige Beregnungsverfahren) sind darauf ausgelegt, eine gleichmäßige Wasserverteilung über die gesamte Bodenoberfläche zu bewirken, ähnlich wie bei natürlichem Regen. Die treibenden Kräfte hinter der Bewegung des Wassers im Boden bei der Bewässerung ist die Schwerkraft (die Differenz im Gravitationspotential des Bodenwassers zwischen der Oberfläche und tieferen Bodenschichten) sowie die Differenz im Matrixpotential.

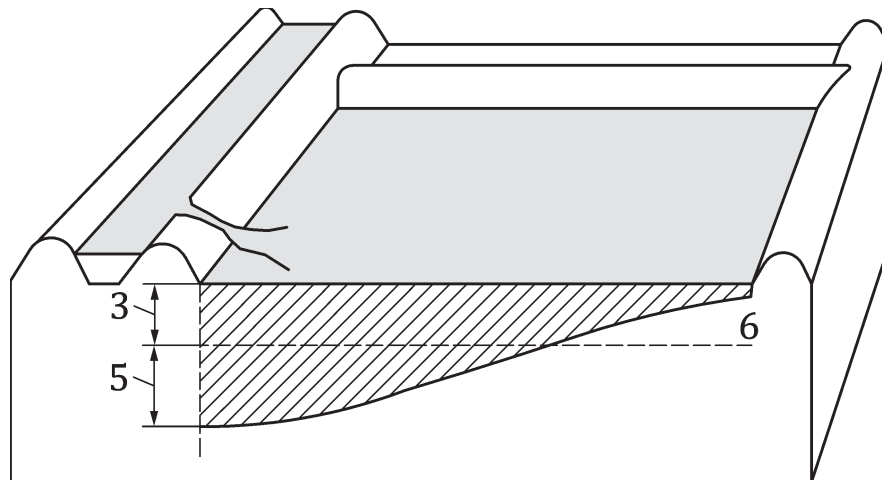
Im Allgemeinen ist die Feuchtefront eine Ebene, die sich parallel zur Bodenoberfläche verschiebt. Die horizontale Bewegung des Wassers geschieht, wenn es einen Unterschied in der Bodenfeuchte gibt, also eine Differenz im Matrixpotential zwischen zwei gleich tief liegenden Punkten im Boden. Bei Verfahren mit Befeuchtung der gesamten Oberfläche existiert diese Differenz nur innerhalb der Grenzen des bewässerten Grundstücks, in dem die Kontaktebene zwischen der feuchten Zone und der trockenen Zone (die Feuchtefront entlang der Grundstücksgrenzen) im Verhältnis zur Oberfläche des Gebiets und der Feuchtefront in vertikaler Richtung nur eine sehr kleine Fläche darstellt. Daher ist die seitliche Beweglichkeit im Verhältnis zur vertikalen Bewegung nur sehr gering, und das durch Wasserbewegung in horizontaler Richtung befeuchtete Volumen ist im Verhältnis zum gesamten bewässerten Bodenvolumen minimal. Das Wassermuster bei Beckenbewässerung ist in Bild 1 dargestellt und das Wassermuster bei Beregnung in Bild 2.

Bei der Beckenbewässerung mit idealem Befeuchtungsmuster gibt es geringe Durchsickerungsverluste in der Nähe des Feldkanals und dadurch eine geringe Durchsickerungstiefe am gegenüberliegenden Ende. Wenn die Zuflussrate nicht ausreichend ist, ist die Durchsickerung in der Nähe des Kanals hoch, und die Durchsickerungstiefe ist zum Ende hin geringer als unter optimalen Bedingungen (siehe Bild 1).

Bei der Beregnung ergibt sich die gleichmäßige Wasserverteilung auf der Bodenoberfläche durch ausreichend überlappende Verteilungsmuster nebeneinander liegender Regner. Das Ausmaß der Überlappung richtet sich nach dem charakteristischen Verteilungsmuster des einzelnen Regners, das wiederum je nach Regnerart, Höhe der Regner über dem Erntegut, Düsen, Druckhöhe und Windbedingungen unterschiedlich ist. Das Ausmaß der Überlappung und der Gleichförmigkeit sind zudem abhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung und davon, ob für den Prozenttimer 30 s, 60 s, 120 s oder ein anderer Wert eingestellt ist.



a) Ideales Befeuchtungsmuster

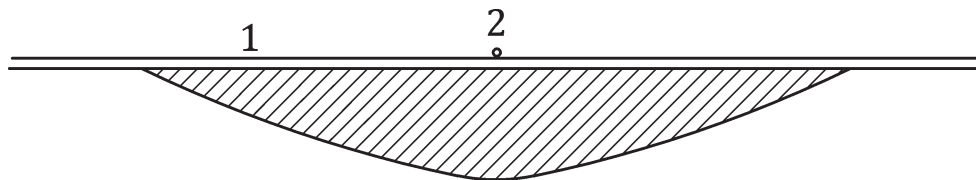


b) Befeuchtungsmuster bei unzureichender Durchflussrate

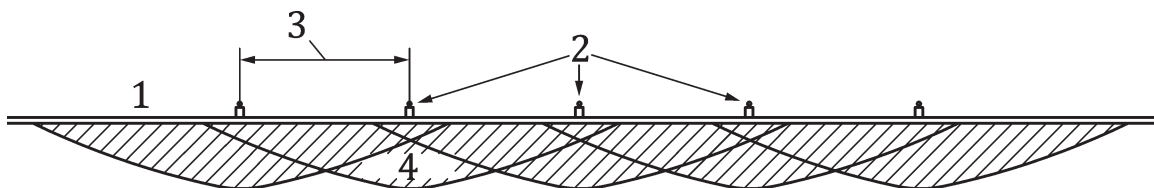
Legende

- 1 Feldkanal
- 2 Begrenzung
- 3 Wurzelraum
- 4 geringe Durchsickerungsverluste
- 5 hohe Durchsickerungsverluste
- 6 zu trocken

Bild 1 — Wasserverteilung bei Beckenbewässerung [1]



a) Befeuchtungsmuster eines einzelnen Regners



b) Befeuchtungsmuster mehrerer Regner mit Überlagerung zwischen den Befeuchtungszonen

Legende

- 1 Querrichtung
- 2 Regner
- 3 Abstand
- 4 befeuchteter Bereich

Bild 2 — Beregnung [1]

4.1.7.2 Verfahren mit teilweiser Befeuchtung der Oberfläche

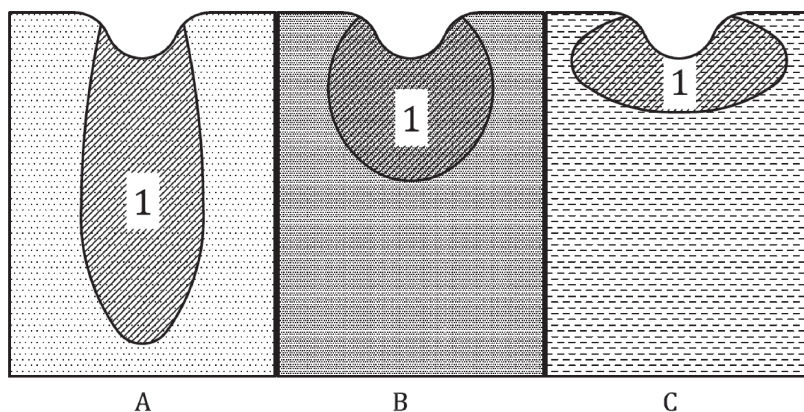
4.1.7.2.1 Allgemeines

Bei Bewässerungsverfahren mit teilweiser Befeuchtung des Bodens (Furchen, Tropfbewässerung, Mikroregner und manche Fälle von Bewässerung auf beweglichen Systemen wie die Niedrigenergie-Präzisionsanwendung LEPA [en: low energy precision application]) ist die Befeuchtungszone durch eine besondere Form gekennzeichnet. Diese ergibt sich aufgrund der Kräfte, die während der Versickerung und der Bewegung in den Boden auf das Wasser wirken. Das Wasser bewegt sich aufgrund der Differenz im Bodenwasserpotential [siehe Gleichung (8)]. Bei der vertikalen Bewegung wirken die Differenzen im Gravitationspotential ebenso wie die Differenzen im Matrixpotential. Bei der horizontalen Bewegung gibt es nur Differenzen im Matrixpotential.

Im Allgemeinen fällt die vertikale Bewegung (Gefälle im Matrixpotential und im Gravitationspotential) tendenziell stärker aus als die horizontale Bewegung (infolge des Gefälles ausschließlich im Matrixpotential). Die Differenz zwischen den beiden Bewegungsrichtungen vergrößert sich mit abnehmendem Tongehalt des Bodens. Dies liegt daran, dass die Differenz in der Potentialmatrix zwischen der Nasszone und der Trockenzone des Bodens bei Böden mit höherem Tongehalt größer ist, während es in der Gravitationskomponente keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Bodenarten gibt.

4.1.7.2.2 Furchenbewässerung

Das Wasser fließt in die Furche und versickert von der jeweiligen Furche aus nach unten und zu den Seiten (siehe Bild 3).



Legende

- A sandiger Boden
- B lehmiger Boden
- C toniger Boden
- 1 befeuchteter Bereich

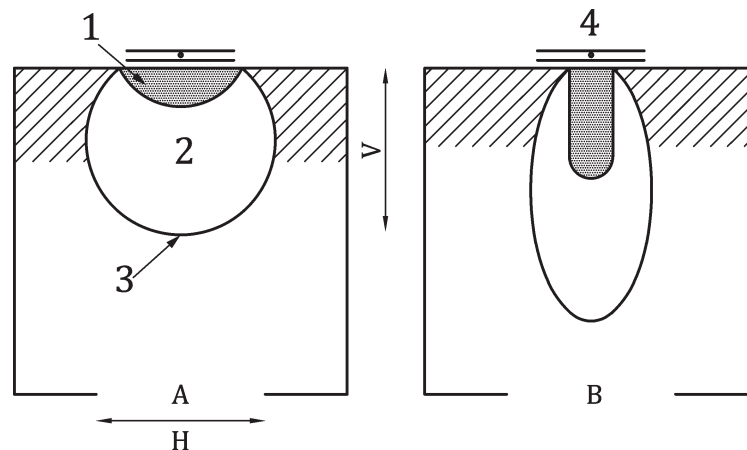
Bild 3 — Wasserbewegung bei Furchenbewässerung in verschiedenen Bodenarten [1]

4.1.7.2.3 Tropfbewässerung

Unterhalb des Tropfers und um den Tropfer herum bildet sich durch das herabtropfende Wasser ein befeuchteter Bodenbereich, der in drei Zonen eingeteilt werden kann (siehe Bild 4):

- Gesättigte Zone: Unmittelbar unterhalb des Tropfers und unmittelbar um den Tropfer herum bildet sich eine gesättigte Zone, von der aus sich das Wasser in den Boden bewegt. In dieser Zone herrscht ein Überschuss an Wasser und ein Mangel an Luft. Besonders in schluffigen oder tonigen Böden ergibt sich eine kleine Ansammlung von Wasser an der Oberfläche, von der aus Wasser in die gesättigte Zone sickert.

- Sickerzone: eine Zwischenzone, in der der Feuchtegehalt nahe der Speicherfeuchte liegt, sodass ein optimales Verhältnis zwischen Wasser- und Luftgehalt herrscht.
- Feuchtefront: die Grenze zwischen der Zwischenzone und der Trockenzone bzw. der Zone mit einem Feuchtegehalt, der gegenüber dem Beginn der Bewässerung nur wenig verändert ist. In diesem Bereich herrscht ein Mangel an Feuchte und maximale Durchlüftung des Bodens.



Legende

- A toniger Boden
- B sandiger Boden
- H Horizontalmaß
- V Vertikalmaß
- 1 gesättigte Zone
- 2 Sickerzone
- 3 Trockenzone (Feuchtefront)
- 4 Tropfer

Bild 4 — Befeuchtete Zone bei Tropfbewässerung in zwei verschiedenen Bodenarten

Form und Abmessungen der befeuchteten Zone richten sich nach fünf Einflussgrößen:

- Boden: Bei Einbringung einer bestimmten Wassermenge bildet sich in tonigem Boden (mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit für Grundwasser) eine flachere und breitere befeuchtete Zone als bei sandigem Boden (mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit für Grundwasser). Dort geht das Profil stärker in die Vertikale, während das Maß in der Horizontalen geringer ausfällt.
- Volumenstrom des Tropfers: Wenn bei einem gegebenen Boden der Volumenstrom des Tropfers gesteigert wird, vergrößert sich der Radius der gesättigten Zone, d. h. es entsteht eine breitere und näher an der Oberfläche liegende befeuchtete Zone. Bei unverändertem Volumenstrom hingegen vergrößert sich der Radius der gesättigten Zone mit zunehmendem Tongehalt des Bodens.
- Dauer der Bewässerung: Das Horizontalmaß vergrößert sich ab dem Beginn und im weiteren Verlauf der Bewässerung bis zu einem bestimmten Grenzwert, der auch von der Bodenart und vom Volumenstrom des Tropfers abhängt. Oberhalb dieses Grenzwerts findet Wasserbewegung hauptsächlich in der Vertikalen statt, sodass die Bewässerungseffizienz sich verringert, weil Wasser durch Versickerung unterhalb des Wurzelraums verloren geht.
- Bewässerungshäufigkeit: Mit abnehmendem Wassergehalt im Boden steigt die Spannung des Wassers. Die hydraulische Leitfähigkeit für Grundwasser des Bodens wirkt sich stark auf das von einem Tropfer in den Boden eingebrachte Wasser aus. Die hydraulische Leitfähigkeit für Grundwasser nimmt bei zunehmender Wasserspannung im Boden (Verringerung des Wassergehalts) exponentiell ab, und die Wasserbewegung

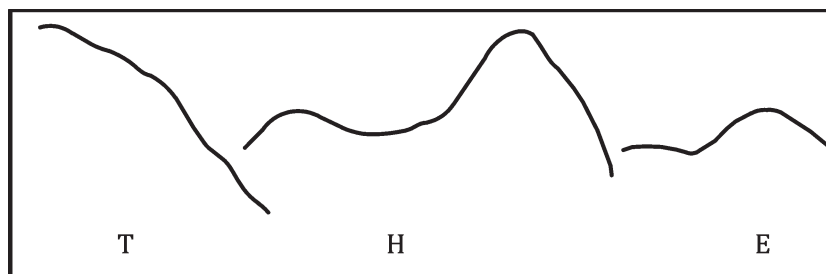
läuft langsamer ab. Unter diesen Bedingungen ist die relative Bedeutung des Matrixpotentials größer als die des Gravitationspotentials, sodass eine stärker ausgeprägte horizontale Bewegung entsteht.

- Berechnung der Maße der befeuchteten Zone und des Tropferabstands: Der Tropferabstand ist der Abstand (Entfernung) zwischen zwei Tropfern entlang einer Tropf-Kleinregnerleitung. Die optimale Entfernung zwischen zwei Tropfern entspricht 80 % des Durchmessers der von einem einzelnen Tropfer befeuchteten Zone, der durch Berechnung oder anhand einer Schätzung im Feld ermittelt wird. Bei diesem Abstand überlappen sich die befeuchteten Bereiche nebeneinander gelegener Tropfer. Entlang der Tropf-Kleinregnerleitung entsteht ein durchgängiger feuchter Streifen.

Beispiele für Mittel zur Schätzung der Maße des befeuchteten Bereichs sind in Anhang B angegeben. Hersteller von Tropfbewässerungssystemen geben in ihren Katalogen auf Grundlage ihrer Erfahrungen Empfehlungen zu den Abständen für verschiedene Böden und Kulturarten.

4.1.7.2.4 Berechnung mit Mikroregnern

Ähnlich wie bei der Tropfbewässerung wird der Boden auch bei diesem Bewässerungsverfahren nur teilweise befeuchtet. Es gibt verschiedene Arten von Mikroregnern mit unterschiedlicher Wasserverteilung über die Bodenoberfläche (siehe Bild 5). Somit richtet sich die Verteilung von Wasser im Boden bei der Beregnung mit Mikroregnern nach dem Muster der Wasserverteilung auf der Oberfläche und nach dem Radius, über den das Wasser vom Mikroregner verteilt wird. Das Muster der Wasserbewegung im Boden unterscheidet sich vom Muster einer punktförmigen Quelle (Tropfer) und ähnelt dem Muster bei der Beregnung. Wenn ein einzelner Regner platziert wird, d. h. ein Regner je Baum in einer Pflanzung, ergibt sich durch die Differenz des Wasserpotentials zwischen befeuchteten und trockenen Bereichen eine Wasserbewegung zu den Seiten (siehe Bild 6). In vielen Fällen sind die Regner so angeordnet, dass sich die durch zwei benachbarte Regner befeuchteten Bereiche überlappen und ein durchgängiger befeuchteter Streifen entlang der Baumreihe entsteht. In diesem Fall erfolgt die seitliche Bewegung des Wassers in Richtung des Bereichs zwischen den Baumreihen.



Legende

- T Dreieck
- H Hügel
- E Ebene

Bild 5 — Schematische Darstellung der Wasserverteilung aus einzelnen Mikroregnern

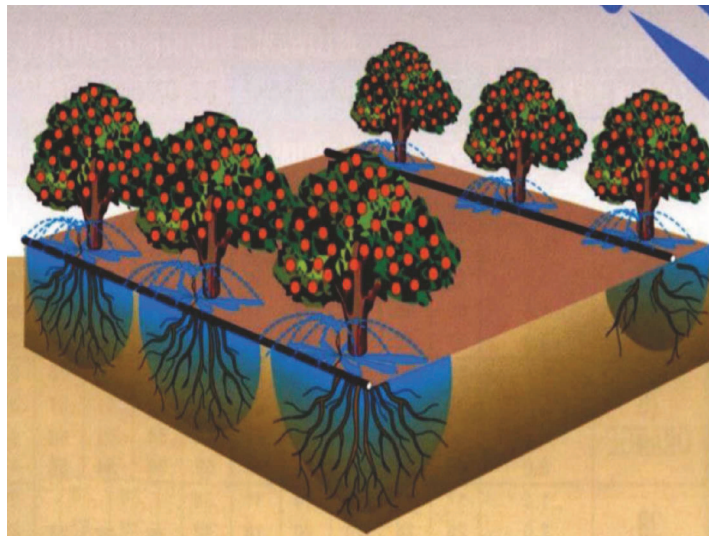


Bild 6 — Befeuchtungsmuster bei einzelnen Mikroregnern

4.1.7.2.5 Bewegliche Systeme — Kreis- und Linearberegnungsmaschinen — Untergruppe von Beregnungsanlagen

Unterhalb des Verteilungsgeräts und um das Verteilungsgerät herum bildet sich durch das herabtropfende Wasser ein befeuchteter Bodenbereich. Dieser kann in drei Zonen eingeteilt werden:

- **Gesättigte Zone:** unmittelbar Unterhalb des Applikationsgeräts und im von dem Gerät überfahrenen Bereich bildet sich eine gesättigte Zone, von der aus sich das Wasser in den Boden bewegt. Die gesättigte Zone im befeuchteten Boden unter Mikroregnern ist größer als in tropfberegneten Böden. In dieser Zone herrscht ein Überschuss an Wasser und ein Mangel an Luft. Besonders in schluffigen oder tonigen Böden ergibt sich eine kleine Ansammlung von Wasser an der Oberfläche, von der aus Wasser in die gesättigte Zone sickert.
- **Sickerzone:** eine Zwischenzone, in der der Feuchtegehalt nahe der Speicherfeuchte liegt, sodass ein optimales Verhältnis zwischen Wasser- und Luftgehalt herrscht.
- **Feuchtefront:** die Grenze zwischen der Sickerzone und der Trockenzone bzw. der Zone mit einem Feuchtegehalt, der gegenüber dem Beginn der Bewässerung nur wenig verändert ist. In diesem Bereich herrscht ein Mangel an Feuchte und maximale Durchlüftung des Bodens.

Form und Maße der Befeuchtungszone hängen von fünf Einflussgrößen ab:

- **Boden:** Bei Einbringung einer bestimmten Wassermenge bildet sich in tonigem Boden (mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit für Grundwasser) eine flachere und breitere befeuchtete Zone als bei sandigem Boden (mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit für Grundwasser). Dort geht das Profil stärker in die Vertikale, während das Maß in der Horizontalen geringer ausfällt.
- **Bewegliches Ausbringgerät:** Wenn bei einem gegebenen Boden die Ausbringmenge gesteigert wird, verbreitert sich dadurch die gesättigte Zone. Im Hinblick auf das Ausbringgerät bedeutet dies, dass bei höherem Tongehalt im Boden und dadurch breiterer gesättigter Zone die Wasserbewegung möglicherweise dem Ausbringgerät voraneilt. Dies hängt auch von der Bewegungsgeschwindigkeit des Ausbringgeräts ab.
- **Dauer der Bewässerung:** Das Horizontalmaß vergrößert sich ab dem Beginn und im weiteren Verlauf der Bewässerung bis zu einem bestimmten Grenzwert, der auch von der Bodenart und der Bewegung des Wasserausbringgeräts abhängt. Oberhalb dieses Grenzwerts findet Wasserbewegung hauptsächlich in der Vertikalen statt, sodass die Bewässerungseffizienz sich verringert, weil Wasser durch Versickerung unterhalb des Wurzelraums verloren geht.

- Bewässerungshäufigkeit: Mit abnehmendem Wassergehalt im Boden steigt die Spannung des Wassers. Die hydraulische Leitfähigkeit für Grundwasser des Bodens wirkt sich stark auf das vom Ausbringgerät in den Boden eingebrachte Wasser aus. Daher ist es wichtig zu beachten, dass die hydraulische Leitfähigkeit für Grundwasser bei zunehmender Wasserspannung im Boden (Verringerung des Wassergehalts) exponentiell abnimmt und die Wasserbewegung langsamer abläuft. Unter diesen Bedingungen ist die relative Bedeutung des Matrixpotentials größer als die des Gravitationspotentials, sodass eine stärker ausgeprägte horizontale Bewegung entsteht.
- Berechnung der Maße der befeuchteten Zone: Der Abstand ergibt sich aus dem Abstand (Entfernung) zwischen den Applikationsgeräten entlang der Wasserleitung und der Bewegungsgeschwindigkeit der Leitung. Der Abstand zwischen den von Applikationsgeräten befeuchteten Bereichen entlang der Wasserleitung ist auch von Boden und Kulturart abhängig. Mittels der Bewegungsgeschwindigkeit wird eine Überlappung in Bewegungsrichtung erreicht.

4.1.8 Verteilung von Salzen im bewässerten Bodenvolumen

4.1.8.1 Allgemeines

Alle Bewässerungsquellen enthalten gelöste Salze. Die Konzentration und Zusammensetzung hängt von der Quelle ab. Gelöste Salze sammeln sich im Wurzelraum, wenn Wasser von der Bodenoberfläche verdunstet, sowie durch Transpiration aus den Pflanzen. Die Salinität des Bodens ist in Breite und Tiefe unregelmäßig verteilt. Wurzeln entwickeln sich vorwiegend aus Bodenvolumina mit relativ geringer Salinität und relativ hoher Feuchtigkeit und nutzen diese Bodenvolumina zum Absorbieren von Wasser und Nährstoffen. Das Volumen des Hauptwurzelraums wird durch eine Reihe wichtiger Einflussgrößen bestimmt:

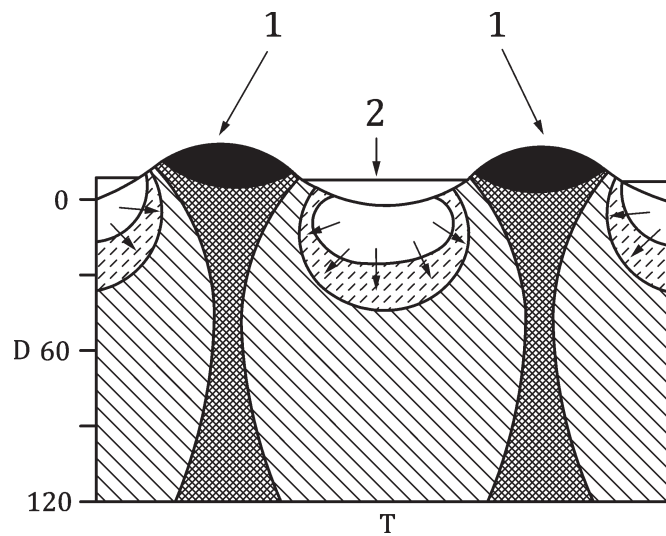
- Salzgehalt des Wassers;
- Bewässerungsschema;
- Düngungsschema;
- Bewässerungsverfahren;
- Evapotranspiration des Wassers;
- Bodenart;
- Regenwasser.

Die Salinität des Bodens nimmt zu, wenn die Bodenkonzentration im Wurzelraum ein Niveau erreicht, das oberhalb des Empfindlichkeitsbereichs der Pflanze für optimales Wachstum und optimalen Ertrag liegt. Diese Empfindlichkeit variiert von Pflanze zu Pflanze; es gibt sowohl sehr empfindliche als auch sehr resistente Pflanzen.

Gelöste Salze bewegen sich mit dem Wasser durch den Boden. Daher richtet sich die Verteilung von Salzen im Boden nach den vorherrschenden Wasserflussmustern. Die höchste Salzkonzentration ist an der Feuchtefront von versickerndem Wasser zu finden. Dementsprechend steht die Verteilung von Salzen im Boden mit der weiter oben beschriebenen Verteilung des Wassers im Zusammenhang.

4.1.8.2 Salzverteilung bei Furchenbewässerung

Die Furchenbewässerung gilt wegen der großflächigen und tiefen Versickerung, die Salze vom Wurzelraum fernhalten kann, als gutes Verfahren zur Vermeidung von Salzansammlungen. Allerdings kann die Furchenbewässerung eine Salzansammlung am Rand der Furche sowie im Wall zwischen zwei Furchen begünstigen (siehe Bild 7). Außerdem kann sich Salz an den Rändern an der Feuchtefront im Bodenprofil unmittelbar oberhalb des Wurzelraums ansammeln.



Legende

D	Tiefe in cm
T	Gesamtsalzgehalt im Bodenprofil
1	Bereich der Salzansammlung
2	Wasser in Furche
	0,01 bis 0,02
	0,02 bis 0,1
	0,1 bis 0,2
	0,2 bis 0,5
	0,5 bis 2,0

Bild 7 — Salzansammlung im Bodenprofil bei einem furchenbewässerten Feld [4]

4.1.8.3 Salzverteilung bei Beregnung

Da bei der Beregnung das Wasser auf die gesamte Bodenoberfläche trifft und von dort nach unten fließt, ist die Salzkonzentration im Boden über alle Tiefen hinweg relativ gleichförmig. Regner-Bewässerungssysteme, die die gesamte Bodenoberfläche befeuchten, führen zu einem Bodenprofil, in dem die Salinität zur Untergrenze des Wurzelraums hin mit der Bodentiefe zunimmt (siehe Bild 8).



Legende

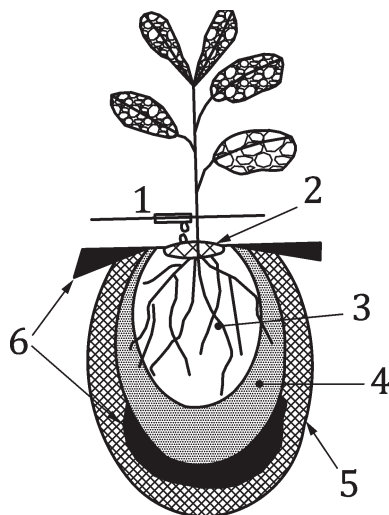
L niedrige Salinität

H hohe Salinität

Bild 8 — Salzansammlung im Bodenprofil bei einem beregneten Feld

4.1.8.4 Salzverteilung bei Tropfbewässerung

Bei der Tropfbewässerung werden große Mengen Salze ins befeuchtete Volumen eingebracht. Nach mehreren Bewässerungsturnussen, Evapotranspiration des Wassers und Salzeintrag entstehen im befeuchteten Volumen, an seinen Rändern und im Boden große Unterschiede in der Salinität der Bodenlösung (siehe Bild 9). Unter dem Bereich mit stehendem Wasser ist die Salinität im durchsickerten Volumen am geringsten. Von diesem Bereich aus steigt die Salzkonzentration zur Grenze des befeuchteten Bereichs hin allmählich an. Dabei ist der Anstieg in der Vertikalen am geringsten und in der Horizontalen am größten. Sehr hohe Salinität ist an der Untergrenze der befeuchteten Zone und an der Oberseite (durch Wasserverdunstung von der Bodenoberfläche) festzustellen.



Legende

- 1 Tropfer
- 2 Bereich mit stehendem Wasser
- 3 durchsickertes Volumen
- 4 Salzansammlung
- 5 hohe Salinität
- 6 extrem hohe Salinität

Bild 9 — Muster der Salzverteilung unter einem einzelnen Tropfer [6]

4.1.8.5 Salzverteilung bei Beregnung mit Mikroregnern

Die Verteilung von gelösten Salzen im Befeuchtungsmuster von Mikroregnern kann vom Muster bei der herkömmlichen Beregnung abweichen. Bei einem Mikro-Sprühsystem, das eine relativ große befeuchtete Zone um jede Pflanze herum erzeugt, kann sich Salz innerhalb jeder einzelnen Zone in einem Muster ansammeln, das dem Muster eines einzelnen Regners nicht unähnlich ist. Bei einem Bewässerungssystem mit Bubbler ist eine Ansammlung von Salz tendenziell in erster Linie an den äußeren Rändern der befeuchteten Zone festzustellen (siehe Bild 10) [7].



Legende

- A Mikro-Sprühsystem
- B Bubbler

Bild 10 — Muster der Salzverteilung unter einem einzelnen Mikro-Sprüher [7]