

Entkeimung von Nährlösung oder Gießwasser – Verfahren, Einsatzbereiche und Bewertung

1 Einführung

Modernes Wassermanagement im Gartenbau erfordert zunehmend die Wiederverwendung von Gießwasser (rein oder mit Dünger versetzt als Nährlösung) und den Zugriff auf gespeichertes Regenwasser. Dabei muss eine mögliche Kontamination mit Krankheitskeimen in Betracht gezogen werden, denn für viele Erreger und manche Schädlinge ist Wasser ein ideales Ausbreitungsmedium.

Während Grundwasser in der Regel frei von schädlichen Keimen ist, muss bei der Entnahme von Gießwasser aus Oberflächengewässern oder Regenwassersammelbecken mit einer mehr oder weniger starken Kontamination durch Krankheitskeime gerechnet werden. Insbesondere durch oberflächlich abfließendes Wasser kann infektiöses Material, meist an Bodenpartikel oder Pflanzenreste gebunden, in erheblichem Umfang eingeschwemmt werden. Oberflächlich aus den Pflanzenbeständen abfließendes Wasser kann nicht nur zur großflächigen Verbreitung von Krankheiten durch Kontamination von Bewässerungsteichen, Kanälen, Bach- und Flussläufen beitragen, sondern die Erreger auch innerhalb der Pflanzenbestände transportieren.

Geschlossene Bewässerungsverfahren sind besonders gefährdet

Das Risiko einer Krankheitsausbreitung ist bei den „geschlossenen Bewässerungsverfahren“ sehr unterschiedlich. Systeme, bei denen die rezirkulierende Nährlösung am Wurzelraum vorbeigeführt wird (Fließrinne, Anstau-bewässerung usw.), weisen meist ein relativ geringes, und nur in bestimmten Fällen (z.B. zu hohes Anstauen, zu langes Anstauen, schlechte Nivellierung, herabfallende Teile kranker Pflanzen) ein hohes Krankheitsrisiko auf. Hingegen besteht bei Verfahren, bei denen der Wurzelraum von der Nährlösung durchströmt wird (NFT-Kultur [Nutrient Film Technique], Steinwollkultur usw.), stets die große Gefahr, dass eingeschleppte Krankheitserreger relativ schnell im ganzen Pflanzenbestand verbreitet werden. Hier sollte deshalb aus Sicherheitsgründen stets eine pflanzenhygienische Aufbereitung der rezirkulierenden Nährlösung, d.h. eine Wasserentkeimung, vorgenommen werden.

Aber auch bei den Verfahren der Topfpflanzenbewässerung empfiehlt sich eine Desinfektion des zirkulierenden Wassers, wenn die technischen oder hygienischen Voraussetzungen nicht optimal sind.

Verfahren zur Wasserentkeimung

Mittlerweile gibt es eine Reihe von Wasserentkeimungsverfahren, die auch für den gartenbaulichen Bereich geeignet sind (Tab. 1). Je nach betriebsspezifischen Bedingungen (Bewässerungsverfahren, Kulturtechnik, Wasserversorgung usw.) können ganz unterschiedliche Verfahren die optimale Lösung darstellen. Grundsätzlich sind chemische Verfahren (Chlor, Chlordioxid u.a.) von den physikalischen Verfahren (Erhitzung, UV-Bestrahlung, Filtration) zu unterscheiden. Nur mit den chemischen Verfahren kann man bei Zudosierung in den Vorlauf auch eine Wirkung gegen Biofilme im Bewässerungssystem selber und auf den Kulturflächen (Ausbreitung von Pflanze zu Pflanze verhindern) erreichen.

Für Kulturverfahren mit geringen Mengen an Rücklaufwasser (z.B. Zierpflanzen- und Gemüsebau im Gewächshaus) haben sich vor allem die nicht-chemischen Verfahren Erhitzung, UV-Bestrahlung und Lang-

Tab. 1: Verfahren zur Wasserentkeimung im Gartenbau

Verfahren
Thermische Wasserentkeimung
Indirekte Erhitzung (Durchflussverfahren mit Wärmetauscher)
Bestrahlung
UV-Bestrahlung
Fotokatalyse mit UV
Filtration
Langsamfiltration
Ultrafiltration
Chemische Verfahren
Chlor und elektroaktiviertes Wasser
Chlordioxid
Ozon
Wasserstoffperoxid
UVOX (Wasserstoffperoxid und UV)
Kupfer- und Silberionisierung

samfiltration bewährt. Chemische Verfahren werden aus Kostengründen vor allem bei großen Rücklaufmengen eingesetzt, z.B. bei der Topfpflanzenproduktion und der Bewässerung in Baumschulen.

2 Thermische Wasserentkeimung

Insbesondere in den Niederlanden ist die Desinfektion durch kurzfristige Erhitzung im Durchflussverfahren (Pasteurisation) in der Praxis weit verbreitet. Es wird vor allem in Betrieben mit hydroponischer Substratkultur (z.B. Steinwolle) mit relativ geringem Rücklaufwasseranteil genutzt. Für eine sichere Wirkung sollte die Nährlösung ca. 30 Sekunden lang auf mindestens 95 °C, besser 97 °C aufgeheizt werden. Um den Energieaufwand möglichst gering zu halten, verfügen die Geräte über integrierte Wärmetauscher (Abb. 1 und 2).

Abbildung 2 zeigt ein Funktionsschema einer Erhitzungsanlage mit zwei Wärmetauschern. Im ersten Wärmetauscher (A) wird die von der Kultur kommende Nährlösung zunächst auf etwa 90 °C erwärmt. Die Erhitzung auf die Endtemperatur von 95 bis 98 °C erfolgt in einem zweiten Wärmetauscher (B), der direkt mit dem Heizkessel verbunden ist. Die erhitzte Nährlösung wird vor der Einspeisung in den Vorlauf (zur Kultur) im ersten Wärmetauscher wieder auf ca. 25 °C abgekühlt. Im Allgemeinen werden die Erhitzungsgeräte mit einem speziellen Heizkessel ausgerüstet, der mit Erdgas betrieben wird. Mit niedrigeren Spitzentemperaturen (85–95 °C) und längeren Einwirkungszeiten (bis zu 3 Minuten) sind ebenfalls gute Wirkungen zu erzielen. Dies eröffnet die Möglichkeit, auf spezielle Brenner zu verzichten und vorhandene Heizkessel mitzunutzen.

Ein wesentlicher Nachteil der thermischen Entkeimung ist der hohe Energieverbrauch. Für die Desinfektion von einem Kubikmeter Wasser wird etwa ein Kubikmeter Erdgas (entspricht 32 MJ oder 8,8 kWh) benötigt. Ein Erhitzungsgerät mit einer Durchflussleistung von zwei bis drei Kubikmeter Wasser je Stunde erfordert deshalb die Installation von 25 bis 30 Kilowatt. Die Investitionskosten liegen bei einem Gerät dieser Durchflussleistung bei ca. 30.000 €. Dies ist in Verbindung mit zwei Vorratsbehältern von je zehn Kubikmeter die Ausstattung für etwa ein Hektar Steinwollekultur bei einer Rücklaufquote von 20 bis 50 Prozent.

Nach heutigem Kenntnisstand kann mit dem Erhitzungsverfahren eine sehr gute Wirkung gegen alle relevanten Krankheitserreger und Nematoden erzielt werden. Bestimmte Viren und Dauerformen (Chlamydosporen) von Fusarium werden nicht in allen Fällen vollständig inaktiviert bzw. abgetötet. Unter praktischen Bedingungen scheint die Wirkung jedoch auch gegen diese Problemkeime ausreichend zu sein. Längere Einwirkungszeiten erhöhen die Wirkungssicherheit.

3 Bestrahlung

3.1 UV-Bestrahlung

Ultraviolettes Licht weist im Wellenlängenbereich von 200–315 nm eine deutliche mikrobizide Wirkung auf. Das Optimum liegt bei 254 nm, d.h. im sogenannten UV-C-Bereich. Je nach Wasserdurchsatz sind sowohl Niederdruck-

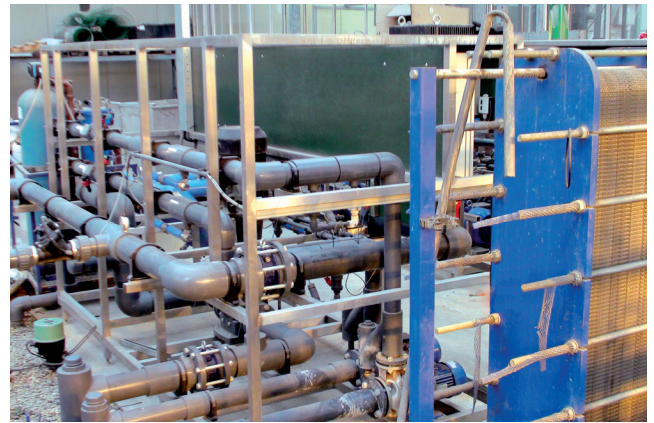


Abb. 1: Erhitzungsanlage in der Praxis (Foto: Domke)

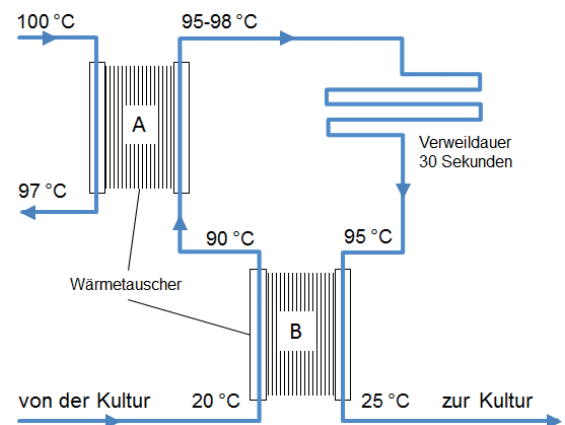


Abb. 2: Funktionsschema einer Erhitzungsanlage mit zwei Wärmetauschern (A, B) (Grafik: Wohanka)



Abb. 3: Modular aufgebaute Niederdruck-UV-Anlage (Foto: Domke)

als auch Mittel- und Hochdruck-UV-Lampen geeignet. Welcher Lampentyp infrage kommt, richtet sich nach den betriebsspezifischen Bedingungen. Für hohe Durchsatzleistungen sind meist Mittel- oder Hochdruckstrahler wirtschaftlicher. Niederdruckstrahler werden zu Modulen zusammengefügt (Abb. 3) und erlauben auf diese Weise eine sehr exakte Anpassung an die tatsächliche Durchflussmenge je Zeiteinheit.

Die für eine Abtötung der Keime erforderliche UV-Dosis wird in $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ oder Joule je Quadratmeter (J/m^2) bzw. mJ/cm^2 gemessen ($1 \text{ J}/\text{m}^2 = 100 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$). Die Bestrahlungsdosis ist abhängig von der Bestrahlungsstärke (E) und der Bestrahlungsdauer (t) beziehungsweise Verweildauer (Gl. 1).

$$\text{Bestrahlungsdosis} \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right) = E \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right) \cdot t \text{ (s)} \quad \text{Gl. 1}$$

Die verschiedenen Krankheitserreger und ihre Entwicklungs- bzw. Vermehrungsstadien reagieren sehr unterschiedlich auf die UV-Bestrahlung (Tab. 2). Bakterien sind z.B. sehr empfindlich, sie sterben bereits bei UV-Dosen unter $300 \text{ J}/\text{m}^2$ ab. Große Unterschiede in der UV-Empfindlichkeit sind bei den Pilzen zu beachten. Relativ empfindlich reagieren auch farblose Sporen oder Hyphen (Pilzfäden), für deren Abtötung in der Regel eine Dosis von $1.000 \text{ J}/\text{m}^2$ ausreicht. Dunkle Hyphen oder Sporen erfordern dagegen erheblich höhere Werte (3.000 bis $6.000 \text{ J}/\text{m}^2$). Bestimmte pilzliche Strukturen (z.B. Chlamydosporen von *Thielaviopsis basicola*) bleiben selbst nach Einwirkung von $30.000 \text{ J}/\text{m}^2$ noch voll lebensfähig. Auch Viren lassen sich mit einer UV-Behandlung zu einem hohen Prozentsatz inaktivieren bzw. abtöten. In diesen Fällen sind meist UV-Dosen von mindestens $2.500 \text{ J}/\text{m}^2$ erforderlich. Nematoden werden bereits bei $200 \text{ J}/\text{m}^2$ so stark geschädigt, dass keine Weitervermehrung erfolgt.

Für die praktische Anwendung werden heute je nach Schaderregeraufkommen 1.000 bis $2.500 \text{ J}/\text{m}^2$ empfohlen. Dabei kann jedoch nicht in allen Fällen eine hundertprozentige Wirkung garantiert werden. Verunreinigungen des Wassers können die Wirksamkeit erheblich beeinträchtigen und Erreger in Partikeln von Torf- oder Pflanzenresten können nicht erfasst werden. Eine Vorfiltration mit einem geeigneten Feinfilter ist deshalb unumgänglich. Empfehlenswert ist eine Filterschärfe von $20\text{--}30 \mu\text{m}$, mindestens jedoch $80\text{--}100 \mu\text{m}$. Ein weiterer Störfaktor ist die Zusammen-

setzung der Nährlösung. Insbesondere Fe-Chelate können dazu führen, dass mehr als 50 Prozent der Strahlung absorbiert werden. Vor der Installation einer UV-Anlage muss deshalb unbedingt die Transmission (z.B. T_{10} -Wert in %) bestimmt werden. Bei niedrigen Transmissionswerten ($T_{10} < 50 \%$) wird ein Verschneiden des Dränwassers mit Regen- oder Leitungswasser empfohlen. Die Zerstörung der Fe-Chelate durch UV-Bestrahlung kann unter bestimmten Umständen auch Fe-Mangel verursachen und somit zu Chlorosen bei den Pflanzen führen, wenn dies bei der Düngung nicht berücksichtigt wird.

Es sollten ausschließlich Geräte Verwendung finden, die über eine Kontrolleinrichtung für die UV-Intensität und eine automatische Reinigung der Strahler verfügen. Zu bedenken ist auch, dass die Strahler nur eine begrenzte Betriebsdauer haben und von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden müssen. Die Investitionskosten für eine UV-Behandlung des Gießwasser liegen etwa im gleichen Bereich wie die für eine thermische Entkeimung (ca. 35.000 €), der Energieaufwand ist hingegen geringer. Nur etwa 1 kWh ist erforderlich, um 3 m^3 Wasser (bei einer Dosis von ca. $2.000 \text{ J}/\text{m}^2$) zu behandeln. Allerdings muss auch der regelmäßige Austausch der Strahler bei der Kalkulation berücksichtigt werden.

3.2 Fotokatalyse mit UV

Eine spezielle Form der UV-Bestrahlung ist die sogenannte UV-Fotokatalyse. Im Gegensatz zur üblichen UV-Bestrahlung wird langwelliges UV-Licht (UV-A) verwendet, wie es auch im Sonnenlicht vorhanden ist. In der Reaktorkammer befinden sich Oberflächen, die mit dem Fotokatalysator Titandioxid beschichtet sind. Unter dem Einfluss von UV-A entstehen reaktionsfähige OH-Radikale, die eine sehr starke Oxidationskraft haben und auf diese Weise Krankheitskeime und anderes organisches Material abbauen. Da der Katalysator nicht verbraucht wird und die elektrische Leistung zum Betrieb der Strahler geringer als bei der UV-C-Bestrahlung sein kann, könnten sich deutliche Kostenein-

Tab. 2: UV-C-Letaldosen phytopathogener Bakterien und Pilze

Krankheitserreger	Letaldosis [J/m^2]
Bakterien	
<i>Erwinia chrysanthemi</i>	200
<i>Rhodococcus fascians</i>	240
<i>Xanthomonas hortorum</i> pv. <i>pelargonii</i>	260
Pilze	
<i>Aspergillus niger</i> (Konidien)	5.500
<i>Botrytis cinerea</i> (Konidien)	3.000
<i>Ceratocystis fimbriata</i> (Konidien)	1.000
<i>Cylindrocladium scoparium</i> (Konidien)	1.000
<i>Fusarium culmorum</i> (Konidien)	1.000
<i>Fusarium oxysporum</i> (Mikrokonidien)	400
<i>Penicillium</i> sp. (Konidien)	1.200
<i>Phytophthora cinnamomi</i> (Zoosporen)	300
<i>Phytophthora nicotianae</i> (Myzel, Sporangien)	700
<i>Pythium ultimum</i> (Myzel, Sporangien, Oosporen)	1.000
<i>Rhizoctonia solani</i> (Myzel, beginnende Sklerotienbildung)	1.200
<i>Thielaviopsis basicola</i> (Konidien)	1.000
<i>Thielaviopsis basicola</i> (Chlamydosporen)	> 30.000
<i>Verticillium dahliae</i> (Mikrosklerotien)	> 6.000

sparungen ergeben. Umfangreiche Tests unter gartenbau-spezifischen Bedingungen stehen aber noch aus.

4 Filtration

Die im Gartenbau üblichen „Feinfilter“, wie sie zum Beispiel in Tropfbewässerungsanlagen installiert werden, vermögen im Allgemeinen nur Partikel zu entfernen, die größer als 80–100 µm sind. Pilzliche Keime haben meist eine Größe zwischen 3 und 50 µm, Bakterien von etwa 1 µm und Viren von 0,03–0,3 µm (1 µm = 1/1.000 mm).

4.1 Langsamfiltration

Während die Ultrafiltration ausschließlich durch die mechanische Siebwirkung entkeimt, wirken bei der Langsamfiltration physikalische, chemische und vor allem biologische Komponenten zusammen. Das zu reinigende Wasser oder die gebrauchte Nährlösung durchströmt mit sehr niedriger Geschwindigkeit von 100 bis 300 l/(m² h) eine Filterschicht aus feinem Sand, Steinwolle oder anderem Filtermaterial. Bei hohen Ansprüchen an die Wirkungssicherheit sollte daher die niedrigere Filtergeschwindigkeit gewählt werden. Einen wichtigen Beitrag zur Filterwirkung leistet eine relativ dünne, intensiv belebte „Schmutzdecke“ oder „Filterhaut“, die sich in den ersten Wochen

nach Inbetriebnahme auf der Oberfläche entwickelt. Über die Größe der Filteroberfläche kann die Filterleistung beliebig an jeden Bedarf angepasst werden. Bisherige Versuche zeigen, dass Pythium- und Phytophthora-Arten sehr sicher entfernt werden können. Gegen Pilze mit sehr kleinen Sporen oder Bakterien besitzt die Langsamfiltration in ihrer optimierten Form zwar einen sehr hohen Wirkungsgrad, ein geringer Teil dieser Keime kann jedoch den Filterkörper passieren. Nach bisherigen Erfahrungen scheint die Wirkung unter Praxisbedingungen jedoch meist ausreichend zu sein. Gegen Viren und Nematoden ist die Wirkung nachzeitigem Kenntnisstand noch nicht zufriedenstellend. Bei Viren konnte jedoch zumindest eine erhebliche Verzögerung der Krankheitsausbreitung im Bestand beobachtet werden.

Aufgrund des einfachen Wirkprinzips lassen sich Langsamfiltrationsanlagen in beliebiger Größe und sehr unterschiedlichem Technisierungsgrad erstellen. Diese Flexibilität ermöglicht den Einsatz in den verschiedensten Gartenbausparten, Produktionssystemen und Betriebsgrößen. Die Geräte werden individuell für den jeweiligen Standort von der Zulieferindustrie oder in Eigenbau erstellt. Für den Anbau in Gewächshäusern hat sich die Nutzung von handelsüblichen Wasservorratsbehältern aus Wellblech mit Folienauskleidung bewährt (Abb. 4). Bei kleineren Einheiten werden oft mit geringem Aufwand vorhandene Wasserbecken unter den Kulturtischen umgerüstet.

Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau eines Langsamfilters für die Anwendung unter gartenbaulichen Bedingungen. Üblicherweise wird Sand (doppelt gewaschen, Körnung: 0–2 mm) in einer Schichtdicke von 80–120 cm als Filtermedium verwendet. Sand für die Langsamfiltration muss bestimmte Eigenschaften aufweisen, die in Tabelle 3 aufgeführt sind. Der Sand wird auf einer Dränage von drei Schichten Grob- bzw. Feinkies von je 10–20 cm Dicke aufgebaut (Körnungen: 2–8, 8–16 und 16–32 mm). Möglich ist auch die Verwendung von Steinwollegranulat als Filtermedium. Dadurch verringert sich die Verstopfungsgefahr und die Dränageschichten können entfallen. Am Boden des Filterbehälters sind in jedem Fall handelsübliche Dränagerohre zu verlegen, um eine gleichmäßige Filtratabfuhr zu ermöglichen.



Abb. 4: Langsamfilter aus Stahlwellblechbehältern (Foto: Wohanka)

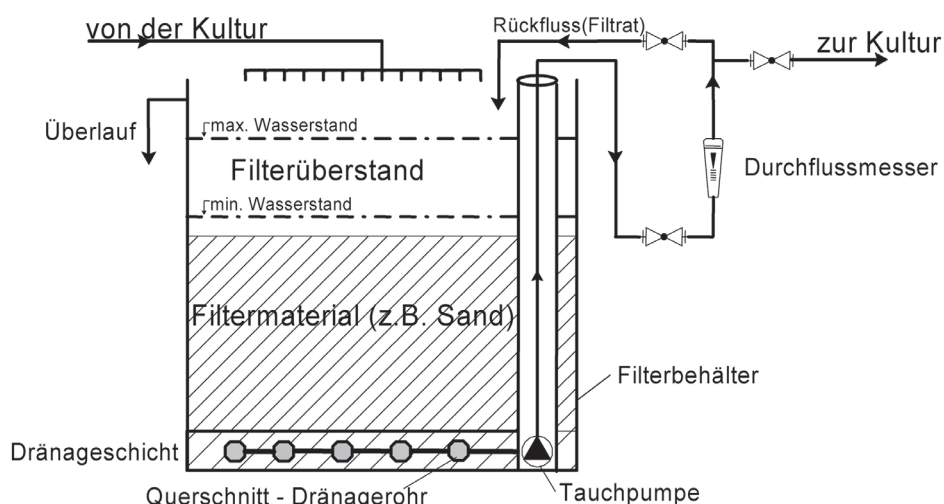


Abb. 5: Funktionsschema eines Langsamfilters (Zeichnung: Baus, HS-Geisenheim)

Tab. 3: Eigenschaften von Sand für die Langsamfiltration

Merkmal	Einheit	Eigenschaft
Effektive Korngröße ¹⁾ oder effektiver Durchmesser (d_{10})	mm	0,15–0,30
Uniformitätskoeffizient ²⁾ (UC)		< 3, max. 5
Abschlämbbare Teilchen (< 0,063 mm)	%	< 1
Säurelöslichkeit (CaCO_3) nach 30 min	%	< 5

¹⁾ Effektive Korngröße (d_{10}): Maschenweite durch die 10 % (Gewichtsanteil) abgesiebt werden können.

²⁾ Uniformitätskoeffizient (UC): Verhältnis der Maschenweite, durch die 60 % (Gewichtsanteil) abgesiebt werden können (d_{60}) zum „effektiven Durchmesser“ (d_{10}); $\text{UC} = d_{60}/d_{10}$.



Abb. 6: Rohwasserzulauf eines Langsamfilters (Foto: Wohanka)

Die Zufuhr des zu reinigenden Wassers muss so gestaltet werden, dass die empfindliche „Schmutzdecke“ bzw. „Filterhaut“ nicht vom zuströmenden Wasser zerstört wird. In der Praxis wird das Rohwasser häufig auf die Oberfläche des Wasserüberstandes „verregnet“ (Abb. 6). Dies hat zudem den Vorteil, dass das Wasser mit Sauerstoff angereichert wird. Am oberen Rand des Filterbehälters sollte ein Sicherheitsüberlauf vorgesehen werden, der in den Rohwasserbehälter zurückführt.

Die für die Wirkung besonders wichtige, niedrige Filtergeschwindigkeit von 100 bis 300 l/(m² h) wird in der Regel über die Entnahmeverrichtungen gesteuert. Häufig wird ein relativ weites Plastikrohr eingebaut, das durch das eigentliche Filterbett bis in die Dränageschicht reicht und mit den Dränagerohren verbunden ist. In diesem Rohr befindet sich eine Tauchpumpe, mit der das gereinigte Wasser gefördert wird. Sinnvoll sind geregelte Tauchpumpen, die lediglich die gewünschte Durchflussmenge fördern. Andernfalls muss die Förderleistung (Filtergeschwindigkeit) mit einem Reduzierventil geregelt werden. Die Dränagerohre können auch an übliche Saugpumpen außerhalb des Filters angeschlossen werden. Im einfachsten Fall (Schwerkraftfilter) kommt man auch ohne Pumpe aus und nutzt lediglich den durch den Filterüberstand (in diesem Fall mind. 100 cm) verursachten Druck. In jedem Fall ist ein geeignetes Durchflussmessgerät zur Kontrolle erforderlich. Niveauschalter sind dringend zu empfehlen, um ein Absinken des Wasserstandes unter die Filteroberfläche zu verhindern.

Nach dem Einbau des Filtermaterials erfolgt die erste Füllung mit „sauberem“ Wasser (z.B. Leitungswasser) von unten mit sehr geringer Geschwindigkeit (max. 100 l/

(m² h)). Nach bisherigen Erfahrungen scheint sich die volle Filterleistung bei Behandlung von Dränwasser schon innerhalb weniger Tage einzustellen. Bei nährstoffarmem Wasser und niedriger Temperatur können dafür mehrere Wochen erforderlich sein. In Abhängigkeit von der Wasserqualität baut sich mit der Zeit ein Filterwiderstand auf, der eine Reinigung erforderlich macht. Dazu wird der Wasserspiegel bis unterhalb der Filteroberfläche abgesenkt, um dann lediglich die obersten Zentimeter der Filterschicht zu entfernen. Nach mehreren Reinigungsprozessen sollte dann das Filtermaterial wieder auf die ursprüngliche Höhe von ca. 80–100 cm aufgefüllt werden.

Die Langsamfiltration ist grundsätzlich ein kostengünstiges System. Sie erfordert im Vergleich zur Erhitzung oder UV-Bestrahlung nur geringe Investitions- und Betriebskosten. Eine Anlage mit einer Stundenleistung von ca. 3 m³ erfordert Investitionskosten von ca. 15.000 €. Außer für den Pumpenbetrieb wird keine weitere Energie benötigt. In der Praxis werden die Anlagen oft in Eigenleistung erstellt, was zu einer weiteren Kostensenkung beitragen kann. Wesentlicher Nachteil der Langsamfiltration ist jedoch der hohe Platzbedarf (ca. 3 m² je 1 m³/h Entnahmeleistung), insbesondere bei großen Wassermengen. Je nach Wasserqualität kann häufiges Reinigen der Filteroberfläche einen erhöhten Aufwand und somit höhere Betriebskosten verursachen.

4.2 Ultrafiltration

Will man Krankheitskeime mit Filtration sicher entfernen, so muss mit Methoden der Ultrafiltration oder Membranfiltration gearbeitet werden. Dabei käme vor allem die sogenannte cross-flow-Technik infrage. Trotz guter Testergebnisse haben sich die sehr teuren Geräte, die nach diesem Prinzip arbeiten, in der gartenbaulichen Praxis nicht etabliert.

5 Chemische Verfahren

Chemische Verfahren verfügen über eine Residualwirkung, d.h. die eingesetzten Chemikalien bleiben über einen gewissen Zeitraum stabil und aktiv. Im Gegensatz zu nicht-chemischen Verfahren verhindern sie die direkte Übertragung von Pflanze zu Pflanze in einer Kultureinheit (z.B. Ebbe/Flut-Tisch). Die chemischen Verfahren bewirken zudem eine Reinigung der Bewässerungsleitungen und verhindern den Aufbau von Biofilmen, die zu Verstopfungen führen können. Problematisch bei allen chemischen Verfahren ist die potentielle Gefahr von Pflanzenschäden durch Überdosierung oder die unzureichende Wirkung durch Unterdosierung. Aus ökonomischer Sicht bieten die chemischen Verfahren (ausgenommen Ozon) Vorteile, da



Abb. 7: ECA-Anlage zur Chlorung (Foto: Wohanka)

die Gesamtkosten für die Behandlung meist deutlich unter 0,10 €/m³ liegen. Bei großen Anlagen ist jedoch mit Investitionskosten von ca. 30.000 € zu rechnen.

5.1 Chlor

Die Chlorung des Wassers ist eine altbekannte Maßnahme zur Trink- und Badewasseraufbereitung, die auch zur Gießwasserdesinfektion eingesetzt wird. Chlorungsverfahren sind relativ preisgünstig, da die Behandlung von einem Kubikmeter Wasser meist weniger als 0,10 € kostet. Die Dosierung erfolgt meist in flüssiger Form mit Natriumhypochlorit (NaClO), seltener in Tablettenform mit Calciumhypochlorit (Ca(ClO)₂). Grundsätzlich könnte auch Chlorgas (Cl₂) eingesetzt werden, womit aber besondere Sicherheitsvorkehrungen und Anforderungen an den Betreiber verbunden sind.

Seit einigen Jahren wird das sogenannte elektrochemisch aktivierte Wasser (ECA-Wasser) als „Alternative“ zur Chlorung propagiert. Aber auch bei diesem Verfahren ist letztlich Chlor die wirksamste Substanz. ECA-Wasser wird meist mit dem Verfahren der Membran-Elektrolyse hergestellt (Abb. 7). Eine Lösung aus Kochsalz (NaCl) oder Kaliumchlorid (KCl) wird in einer durch eine semipermeable Membran geteilten Reaktorkammer in zahlreiche Reaktionsprodukte (u.a. Wasserstoffperoxid, Chlordioxid, Ozon) umgewandelt. Mikrobizid aktiver Hauptbestandteil ist die hypochlorige Säure (HClO), auch unterchlorige Säure genannt, die in der Anodenkammer entsteht und als sogenanntes Anolyt zur Einspeisung in den Wasserkreislauf verwendet werden kann. In der Praxis findet man auch Einkammersysteme ohne Membran. Meist wird das ECA-Wasser auf Vorrat vor Ort erzeugt und bei Bedarf dem

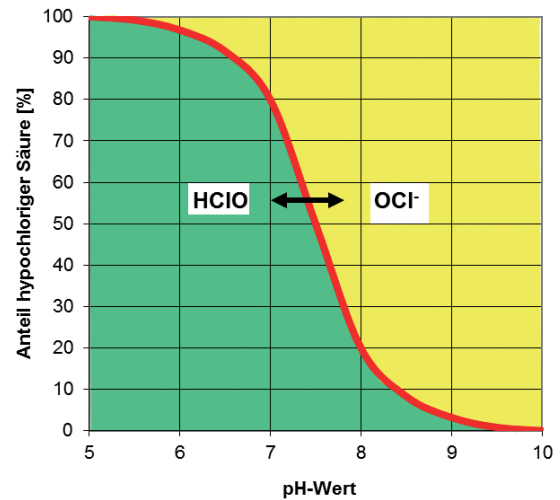


Abb. 8: Verfügbarkeit der wirksamen hypochlorigen Säure (HClO) in Abhängigkeit vom pH-Wert (Grafik: Wohanka)

Gießwasser zudosiert. Wenn die entsprechenden Chlor-dosierungen eingehalten werden, ist mit vergleichbaren Wirkungen, aber auch Schwierigkeiten (wie bei der üblichen Chlorung) zu rechnen. Die Investitionskosten für eine mittlere Anlage liegen bei ca. 30.000 €.

Unabhängig davon, welche technische Anwendungsform der Chlorung gewählt wird, erfolgt im Wasser stets eine pH-abhängige Reaktion zu hypochloriger Säure (HClO) und Hypochlorit (OCl⁻). Beide Verbindungen werden zusammengefasst als „freies Chlor“ oder „Aktivchlor“ bezeichnet. Besonders wirksam ist jedoch nur die hypochlorige Säure. Der pH-Wert des Wassers sollte deshalb möglichst im Bereich von 5,5 bis 7,0 liegen (Abb. 8).

Die Zudosierung von Chlor oder ECA-Wasser erfolgt meist so, dass eine Konzentration von ca. 2 ppm Aktivchlor am Wirkort (z.B. Auslass der Bewässerungsanlage) erreicht wird. Im Bereich von 2–4 ppm Aktivchlor und Einwirkungszeiten von 10–20 Minuten lassen sich Bakterien und die einfachen Sporen vieler Pilze oder pilzähnlicher Organismen zuverlässig abtöten. Dauerformen (Chlamydosporen von *Fusarium* oder *Thielaviopsis* sowie Sklerotien und Mikrosklerotien) werden auch bei höheren Konzentrationen nicht sicher erfasst. Mit Ausnahme von hydroponischen Anbauverfahren (inertes Substrat) sind im genannten Konzentrationsbereich keine Pflanzenschäden zu erwarten.

Da vom jeweils zudosierten Aktivchlor je nach Wasserqualität ein erheblicher Anteil gezehrt werden kann (siehe Zehrung von Chlor und anderen Oxidationsmitteln) ist eine Kontrolle der Chlor-Konzentration am Zielort (z.B. Ebbe/Flut-Tisch oder Beregnungsdüse) äußerst wichtig. Vor allem während der Anlaufphase nach dem Einbau sind enge Messintervalle erforderlich. Für die Praxis eignet sich dafür die sogenannte DPD-Methode. Nach der Zugabe einiger Tropfen von zwei Testreagenzien lässt sich mittels Farbreaktion und einem kleinen Fotometer die Konzentration an „aktivem Chlor“ relativ genau und schnell bestimmen (Abb. 9). Diese manuelle Überprüfung sollte routinemäßig auch dann durchgeführt werden, wenn die entsprechenden Geräte mit Chlor- bzw. Redoxsonden ausgerüstet sind.



Abb. 9: Einfache fotometrische Messung des Chlorgehaltes nach der DPD-Methode (Foto Wohanka)

Bei der Anwendung von Chlor ist zu bedenken, dass durch die Reaktion mit organischem Material (z.B. Huminsäuren) im Gießwasser oder der Nährlösung krebserregende Verbindungen (z.B. Trichlormethan) entstehen können. Dies könnte insbesondere bei Rückstandsuntersuchungen in der Gemüseproduktion zu Problemen führen.

Zehnung von Chlor und anderen Oxidationsmitteln beachten

Die Wirkung der meisten Chemikalien zur Wasserentkeimung (Chlor, Chlordioxid, Ozon, Wasserstoffperoxid) beruht auf einer mehr oder weniger starken Oxidationskraft. Diese Oxidationsmittel reagieren mit allem organischen Material im Wasser sowie anorganischen oxidierbaren Substanzen wie zweiwertigem Eisen oder Mangan. Die Reaktion der Oxidationsmittel mit verschiedenen Stoffen im Wasser oder Ablagerungen an den Leitungen (Biofilme) muss bei der Dosierung berücksichtigt werden, da entsprechend der Wasserqualität größere Mengen der wirksamen Substanz verbraucht („gezehrt“) werden können. Vor allem beim erstmaligen Einsatz von Desinfektionsverfahren auf der Basis von Chlor oder anderer Oxidationsmittel ist die zum Teil erhebliche Reaktion mit Biofilmen zu beachten. Aus diesen Gründen muss die Zudosierung meist in einer höheren Konzentration erfolgen, um die letztlich angestrebte „Zielkonzentration“ zu erreichen. Aus den gleichen Gründen ist für die Wasserentkeimung mit Oxidationsmitteln eine gute Vorfiltration zwingend erforderlich.

Besonders kritisch ist die Chlorung düngerhaltigen Gießwassers, da 1 mg/l Ammonium-Stickstoff rechnerisch ca. 10 mg/l (ppm) Aktivchlor bindet. Dadurch entstehen kurzfristig Chlamine (Schwimmbadgeruch), Nitrit und letztlich Nitrat. Der ursprünglich als Ammonium vorliegende Stickstoff ist somit weiterhin für die Pflanzen verfügbar. Aus Aktivchlor entsteht bei dieser Reaktion das nicht mehr wirksame Chlorid. Im Falle von Harnstoff erfolgt die Reaktion wesentlich langsamer, aber letztlich wird auch dabei die gleiche Menge Aktivchlor gebunden bzw. umgewandelt.



Abb. 10: Chlordioxidanlage (Foto Wohanka)

5.2 Chlordioxid

Die Anwendung von Chlordioxid zur Gießwasserbehandlung darf nicht mit der üblichen „Chlorung“ (s.o.) von Wasser verwechselt werden. Chlordioxid (ClO_2) ist eine gasförmige Chlorsauerstoffverbindung, die sich als ganzes Molekül im Wasser löst. Eine Umwandlung in hypochlorige Säure (siehe Kap. 5.1) findet nicht statt. Chlordioxid wirkt direkt als starkes Oxidationsmittel. In konzentrierter Form ist Chlordioxid instabil und kann nicht über längere Zeit gelagert werden. Es wird deshalb meist am Bedarfsort hergestellt und sofort verwendet. Meistens wird das Chlorit-Säure-Verfahren eingesetzt, bei dem verdünnte Lösungen von Natriumchlorit (NaClO_2) und Säure (meist Salzsäure) in einer Reaktorkammer gemischt werden (Abb. 10). Das entstehende Chlordioxid bleibt in relativ hoher Konzentration im Wasser gelöst und wird so über ein Bypass-System in das Gießwasser eingespeist. Für die Installation einer entsprechenden Anlage ist mit Investitionskosten von ca. 20.000 € zu rechnen. Die Betriebskosten liegen mit weniger als 0,10 € je m^3 ähnlich niedrig wie bei der Chlorung.

Chlordioxid wirkt bereits in sehr niedrigen Konzentrationen von weniger als 1 ppm. Da Chlordioxid, ähnlich wie Chlor, mit organischem Material oder anderen oxidierbaren Substanzen reagiert, muss je nach Wasserqualität meist höher dosiert werden (z.B. 1,5–2 ppm). In verschiedenen Untersuchungen konnte eine sichere Wirkung gegen Bakterien und gegen die Sporen verschiedener Pilze und pilzähnlicher Organismen nachgewiesen werden. Dauerformen, Chlamydosporen von *Fusarium* oder *Thielaviopsis* sowie Sklerotien und Mikrosklerotien werden auch bei sehr hohen Konzentrationen nicht sicher abgetötet. Zur Wirkung gegen pflanzenpathogene Viren gibt es noch keine ausreichenden Forschungsergebnisse. Versuche haben gezeigt, dass bei Überkopfbewässerung bereits sehr niedrige Konzentrationen von Chlordioxid (ca. 0,5 ppm) im Gießwasser die Ausbreitung von Bakterien, z.B. *Xanthomonas* an Kohl- und Jungpflanzen oder *Acidovorax* an Orchideen, mit dem Spritzwasser weitgehend verhindern können. Bei der Orchideenkultur ist die Verwendung von Chlordioxid bei der Überkopfbewässerung inzwischen eine gängige Maßnahme zur Verhinderung der Ausbreitung verschiedener

Bakterien. Die Messung der jeweiligen Chlordioxidkonzentration ist mit der gleichen Methode (DPD) möglich wie bei der Messung von Aktivchlor (Abb. 9).

Im Gegensatz zur Chlorung ist bei der Anwendung nicht mit der Bildung von Trichlormethan oder anderer unerwünschter Verbindungen zu rechnen. Die desinfizierende Wirkung von Chlordioxid ist im Vergleich zu Chlor praktisch unabhängig vom pH-Wert und von der Einwirkungszeit. Außerdem reagiert Chlordioxid nicht mit Ammonium, sodass es auch bei der Anstaubewässerung oder ähnlichen Verfahren gut einsetzbar ist. Schließlich führt die Behandlung mit Chlordioxid zu einer erheblichen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes des Gießwassers und damit oft zu einem besseren Wurzelbild.

5.3 Ozon

Die desinfizierende Wirkung von Ozon (O_3) beruht auf einer Oxidation von organischer Substanz und der damit verbundenen Abtötung von Mikroorganismen. Ozon ist das stärkste bekannte Oxidationsmittel. Bei der Reaktion entstehen keine schädlichen Stoffe, der freiwerdende Sauerstoff ist eher erwünscht. Meist wird Ozon extern in einem elektrischen Hochspannungsfeld erzeugt und in einen speziellen Behälter in das zu behandelnde Wasser eingeleitet. Es gibt nur wenige verlässliche Untersuchungen zum Einsatz von Ozon im Gartenbau. Versuche in den Niederlanden haben ergeben, dass mit 10 g Ozon je Kubikmeter nach einstündiger Einwirkung eine sichere Wirkung gegen alle Arten von Krankheitserregern, einschließlich der schwer bekämpfbaren Viren, erzielt werden kann. Die Wirkung kann durch Absenken des pH-Wertes auf ca. 4 noch gesteigert werden. Allerdings ist zu beachten, dass eine Belastung des Wassers mit organischen Stoffen (Wurzelreste, Huminsäuren usw.) die Wirkung beeinträchtigt. Eine Vorfiltration zur Entfernung organischer Partikel ist in jedem Fall empfehlenswert. Überschüssiges Ozon muss nach der Behandlung vollständig entfernt werden, sodass Pflanzen- oder Gesundheitsschäden durch Restozon normalerweise auszuschließen sind. Das bedeutet allerdings auch, dass im Gegensatz zu Chlor oder Chlordioxid keine Restwirkung auf der Fläche zu erwarten ist. Neben der schwierigen Anwendung dürften jedoch vor allem die sehr hohen Investitionskosten (ca. 60.000 €) dazu geführt haben, dass die Ozonbehandlung keine weite Verbreitung im Gartenbau gefunden hat.

5.4 Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist ebenfalls ein starkes Oxidationsmittel. Während der Reaktion zerfällt es in Wasser und Sauerstoff, sodass keine schädlichen Zerfallsprodukte entstehen. Wasserstoffperoxid ist in reiner Form schlecht haltbar und schwierig anzuwenden. Deshalb bestehen entsprechende Handelsprodukte meist aus einer Mischung von Wasserstoffperoxid mit einer organischen Säure und einem Stabilisator (z.B. Silber). Untersuchungen mit derartig „aktiviertem“ Wasserstoffperoxid haben sehr hohe Wirkungsgrade auch gegen schwer erfassbare Krankheitserreger wie Tomatenmosaik-Virus oder *Fusarium oxysporum* ergeben. Wenn kein Befall durch Viren oder Nematoden zu erwarten ist, dann reicht nach Untersuchungen in

den Niederlanden eine Konzentration von 100 ppm. Diese Konzentration verursacht nach bisherigen Erfahrungen offensichtlich keine Pflanzenschäden. Zur Abtötung von Nematoden oder Viren sollte die Konzentration auf 400 ppm erhöht werden. Bei dieser Konzentration ist jedoch eine anschließende Neutralisation erforderlich, um Pflanzenschäden auszuschließen. Besondere Vorsicht ist bei erdelosen Kulturverfahren geboten. An Salat in NFT-Kultur (Nutrient Film Technique, Nährlösungsfilm) können bereits bei 8–12 ppm H_2O_2 Wurzelschäden auftreten. Für eine abschließende Beurteilung dieser Methode sind noch weitere Forschungsarbeiten und Praxiserprobungen erforderlich.

5.5 UVOX

Eine Sonderform der Anwendung von Wasserstoffperoxid ist das sogenannte UVOX-Verfahren, eine Kombination von Oxidationsmittel, z.B. Wasserstoffperoxid, und UV-Strahlung. Dadurch entsteht das Hydroxyl-Radikal, das eine wesentlich stärkere Oxidationskraft aufweist als das ursprüngliche Peroxid. Das Verfahren wird vor allem zum Abbau organischer Verunreinigungen oder Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser verwendet. Zur Wasserentkeimung im Gartenbau liegen noch keine wissenschaftlich gesicherten Versuchsergebnisse vor.

5.6 Ionisation mit Kupfer und Silber

Kupfer und Silber haben in Ionenform bereits bei sehr niedriger Konzentration keimtötende oder keimhemmende Wirkungen. Zur Wasserbehandlung sind Geräte auf dem Markt, die in einem elektrolytischen Verfahren positiv geladene Kupfer- und/oder Silberionen von metallischen Elektroden in das vorbeiströmende Wasser abgeben. Die Elektroden können in Kunststoffrohre (Abb. 11) oder Tanks eingebaut werden oder in Form von Platten an Schwimmkörpern angebracht werden. Das letztgenannte Verfahren dient vor allem zur Wasserbehandlung in großen Becken oder Teichen. Die Konzentration ist im Wesentlichen abhängig vom Salzgehalt (EC), dem Volumenstrom und der elektrischen Stromstärke. Speziell für die Anwendung im Gartenbau sind Geräte geeignet, die in Abhängigkeit von



Abb. 11: Gerät zur Kupferionisierung von Gießwasser (Foto: Wohanka)

schwankenden EC-Werten oder Volumenströmen über die Regelung der Stromstärke für eine stets gleichbleibende Konzentration der metallischen Ionen im Gießwasser sorgen, (z.B. AquaHort®). Die Investitionskosten für ein Röhrengerät mittlerer Leistung liegen bei ca. 10.000 €, der Verbrauch an elektrischer Leistung und Kupfer ist mit weniger als 0,10 € je m³ zu veranschlagen.

Zahlreiche Labortests haben gezeigt, dass vor allem Bakterien, aber auch verschiedene Pilzsporen sowie die Zoosporen von *Pythium* und *Phytophthora* bei Konzentrationen von 1 bis 4 ppm Kupfer abgetötet werden können. Im Gegensatz zu den Oxidationsmitteln (Chlor, Chlordioxid, Ozon, Wasserstoffperoxid) sind jedoch in der Regel wesentlich längere Einwirkungszeiten von meist mehreren Stunden erforderlich. Dies ist ein gewisser Nachteil, da die Umschlagzeiten für zirkulierendes Gießwasser oft kürzer sind. Dennoch zeigen die bisherigen Versuche unter Praxisbedingungen, dass zumindest die Ausbreitung von *Phytophthora* in Topfpflanzenkulturen stark vermindert werden kann. Zahlreiche Praxisberichte weisen darauf hin, dass auch andere Krankheitserreger wirkungsvoll erfasst werden können.

Ungeklärt ist bislang, ob bei Kulturen mit längerer Standzeit durch höhere Kupferkonzentrationen (z.B. 2–4 ppm) langfristig Pflanzenschäden entstehen können. Bei Verwendung von organischen Substraten (z.B. Torfkultursubstraten) ist dies jedoch nicht zu erwarten, da Kupfer mit organischer Substanz sehr feste Komplexbindungen eingeht und dann nicht mehr pflanzenverfügbar ist. Kupfer ist, im Gegensatz zu Silber, ein wichtiger Spurennährstoff. Insofern kann die Kupferionisierung des Gießwassers auch als Düngemaßnahme mit einem Nebeneffekt gegen Krankheitserreger gesehen werden.

Wie bei allen chemischen Wasserbehandlungsverfahren sollte auch bei der Ionisation regelmäßig die Konzentration im Gießwasser bestimmt werden. Im Falle von Kupfer ist das relativ einfach mithilfe eines Schnelltests (z.B. Microquant®, Merck) durchführbar. Für Silber gibt es solche Schnelltests für den sehr niedrigen Konzentrationsbereich bislang nicht.

6 Auswahl eines geeigneten Wasserentkeimungsverfahrens

Die Auswahl des für den Betrieb besten Wasserentkeimungsverfahrens ist komplex. Die äußerst unterschiedlichen betriebspezifischen Bedingungen und Ziele müssen in die Überlegungen einbezogen werden. Großen Einfluss auf die Auslegung einer Wasserentkeimungsanlage hat das im Betrieb eingesetzte Kultur- bzw. Bewässerungsverfahren (Ebbe/Flut, Überkopfbewässerung, Steinwollekultur usw.). Aufgrund dieser vielfältigen Voraussetzungen ist auch ein direkter Kostenvergleich der verschiedenen Verfahren kaum möglich. Erst wenn die für den jeweiligen Betrieb sinnvollen Verfahren in entsprechender Konfiguration ermittelt wurden, kann ein sinnvoller Kostenvergleich durchgeführt werden.

Eine gewisse Hilfe gibt der Textkasten: Punkte, die bei der Auswahl eines Wasserentkeimungsverfahrens bedacht werden müssen. Zu bedenken ist, dass für alle Wasserdesinfektionsmaßnahmen eine mehr oder weniger auf-

wändige Vorfiltration sinnvoll und teilweise absolut notwendig ist. Die Kosten für diese Vorfiltration müssen bei der Kalkulation berücksichtigt werden.

Punkte, die bei der Auswahl eines Wasserentkeimungsverfahrens bedacht werden müssen:

1. Welche Krankheitserreger spielen nach Rücksprache mit der Pflanzenschutzberatung eine Rolle bzw. sind zu erwarten?
2. Welches Restrisiko (kein, gering, mittel) kann in Kauf genommen werden?
3. Welches Kultur- bzw. Bewässerungsverfahren (Ebbe/Flut, Überkopfbewässerung, Steinwollekultur usw.) wird im Betrieb eingesetzt?
4. Welche Wassermengen bzw. Volumenströme sind zu erwarten und welche Minimal- und Maximalwerte sind zu beachten?
5. Welche Wasser- bzw. Nährlösungsqualität (Verunreinigungen, Substratreste, Eisen-, Mangan- und Ammoniumgehalt) liegt vor und welche Schwankungen sind zu erwarten?
6. Gibt es Anforderungen hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit?
7. Lässt sich das Wasserentkeimungsverfahren in das bestehende Bewässerungssystem integrieren? (Möglichst die Bewässerungsinstallationsfirma beteiligen.)
8. Wie betreiberfreundlich ist die Anlage und ist Spezialwissen zum Betrieb notwendig?
9. Welche Umwelt- und Arbeitssicherheitsaspekte sind zu beachten?
10. Mit welchen Installations- und Betriebskosten ist unter Berücksichtigung der zu erwartenden Wasser- bzw. Nährlösungsmengen (siehe insbesondere Punkt 4) zu rechnen?
11. Sind die Vorbedingungen bzw. Kenngrößen aus 3., 4. und 5. vom Anbieter der Wasserentkeimungsanlage berücksichtigt worden und sind sie in der Angebotsbeschreibung enthalten?

Hinweis:

Soweit Produkte oder Firmennamen genannt werden, handelt es sich lediglich um Beispiele und nicht um Empfehlungen. Bei der Anwendung von Wasserentkeimungsverfahren sind die jeweils gültigen rechtlichen Bestimmungen und Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Veröffentlichungen zum Thema Gartenbau



Topfpflanzenbau

Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen
2014, 212 S., 25 €, Best.-Nr. 19516

Die Produktion von Topfpflanzen umfasst die Kultur von Beet- und Balkonpflanzen, Topfstauden und Zimmerpflanzen. Die Datensammlung enthält Produktionsverfahren, welche anhand produktionstechnischer, arbeits- und betriebswirtschaftlicher Kennzahlen beschrieben sind. Unter www.ktbl.de gibt es eine kostenfreie Excel-Anwendung für betriebsindividuelle Berechnungen.



Containerbaumschule

Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen
2010, 140 S., 24 €, Best.-Nr. 19496

Mit der Datensammlung können Produktionsverfahren speziell für Containerbaumschulen geplant und kalkuliert werden. Ergänzend zur Schrift finden Sie unter www.ktbl.de „Fachinfo“ im Downloadbereich eine kostenfreie Excel-Anwendung für betriebsindividuelle Berechnungen.

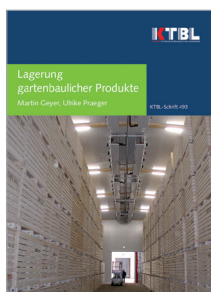


Beltz, H.; Lüttmann, R.

Containerkulturflächen

2015, 8 S., 5 €, Best.-Nr. 26737, PDF-Download Best.-Nr. P_26737

Containerkulturflächen können unterschiedlich aufgebaut sein. Dieses Arbeitsblatt gibt einen Überblick über die technischen Möglichkeiten und die Kosten für Containerkulturflächen.



Geyer, M; Praeger, U.

Lagerung gartenbaulicher Produkte

2012, 296 S., 24 €, Best.-Nr. 11493

Schwerpunkte der Schrift sind neben der Planung und der maschinellen Ausstattung der Betrieb von Kühllagern und die Beschreibung der Kühlverfahren von der Ernte bis zur Vermarktung. Eine beispielhafte Kältebedarfsrechnung rundet diese Schrift ab.

➤ **Das weitere Angebot
finden Sie unter
www.ktbl.de**

Bestellservice:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Tel.: 06151 7001-189 | E-Mail: vertrieb@ktbl.de