

## Salatanbau in hydroponischen Systemen

### 1 Einleitung

Bei Salat- und Blattgemüsen, die landläufig unter dem Begriff Salat zusammengefasst werden, ist es zwingend notwendig, den Kunden und das angebotene Produkt zu spezifizieren, um ganzjährig beständige Preise zu erzielen. Von April bis Oktober stehen Indoor-Produkte unter erheblichem Preisdruck durch Freilandware aus regionalem und überregionalem Anbau. Beispielsweise wurden im Hitzesommer 2018 für Kopfsalat aus dem Freiland an den deutschen Erzeugermärkten mit durchschnittlich 31,76 €/100 Stück vergleichsweise hohe Preise erzielt (ILLERT 2020). 2016 lag der Durchschnitts(erzeuger-)preis für Endivien bei 35,93 €/100 Stück, bei Frisee-Endivien waren es im Schnitt 44,82 €/100 Stück (ROGGE 2018). Für Eissalat haben die Verbraucher 2019 durchschnittlich 1,48 €/kg ausgegeben. Das entspricht Ausgaben von rund 0,86 €/Stück (KOCH 2019).

Zu beachten ist die genetische Vielfalt, die sich ergibt, wenn man aus der botanischen Betrachtung heraustritt und das gesamte Angebot der Blattgemüse einbezieht. Diese Betrachtung eröffnet eine weite Produktpalette, um sich mit spezifischen Einzelprodukten oder Produktkombinationen am Markt sichtbar zu machen. Je nach Auslegung des Betriebs kann somit eine ganzjährige Produktpräsenz gewährleistet werden.

So zeichnet sich auch im Salatmarkt eine deutliche Kategorisierung in die Segmente „good-better-best“ mit entsprechenden Preisstrategien ab. Neben anderen Entwicklungen wie dem „local-for-local“-Ansatz führt dies zunehmend zur Überführung der bodengebundenen Produktion in hydroponische Anbausysteme. So wird erwartet, dass bis 2025 bereits 10% des heutigen Freilandanbaus in hydroponischen Systemen unter geschützten Bedingungen durchgeführt wird.

### 2 Hydroponischer Anbau

Hydroponik ist der allgemeine Begriff für alle Verfahren der Pflanzenproduktion, bei denen keine Erde zum Einsatz kommt. Hydroponische Systeme nutzen eine Nährlösung, die automatisch den Pflanzen zugeführt wird.

Diese Verfahren sind bodenunabhängig, d. h. die Pflanzen wachsen nicht im natürlichen Boden, sondern in organischen, mineralischen oder synthetischen Substraten. Dadurch kann die Substratmasse pro Fläche reduziert werden: von 500 t/ha bei Bodennutzung auf 10 t/ha bei Steinwolle oder gar 1 t/ha bei Vliesen. Weiterhin wurden hydroponische Systeme ohne Substrat entwickelt, d. h. die Pflanzenwurzeln wachsen direkt in der Nährlösung in Rinnen, Containern oder anderweitig gestalteten Wurzelumgebungen.

Hydroponische Systeme bieten durch die Kontrolle der Umweltparameter und Ausgangsstoffe beste Voraussetzungen, um schadstofffreie Nahrungsmittel und sonstige pflanzliche Produkte zu erhalten. Kernparameter der Nährlösung sind neben der richtigen Nährstoffzusammensetzung die angemessene Temperatur und eine hohe Sauerstoffsättigung.

Die Vorteile hydroponischer Systeme sind:

- sichere und qualitativ hochwertige Frischeprodukte mit erhöhter Haltbarkeit
- sehr hohe und stabile Erträge durch Kontrolle der Nährstoffe, Wassergabe usw.
- reduzierter Flächenbedarf durch nachhaltige Produktionsintensivierung
- vollständige Kontrolle über die Pflanzenernährung (Zusammensetzung, Konzentrationen, Proportion, Entwicklungsstadium der Pflanzen) führt zu definierter Produktqualität (Nitratgehalte, Ausfärbung, wertgebende Inhaltsstoffe, Geschmack usw.)
- minimierter Wasserverbrauch durch geschlossene Systeme ohne Versickerung oder Evaporation
- minimierter Nährstoffverbrauch durch rezyklierende Nährlösung, weil die Entnahme nur durch die Pflanzen erfolgt
- bei geschlossenen Systemen kein Kontakt und Nährstoffeintrag in den Boden und ins Grundwasser; in Wasserschutzgebieten, auf versiegelten oder degradierten Flächen einsetzbar
- Automatisierung der Wasser- und Nährstoffversorgung und Transportabläufe, dadurch hohe Einsparungen und erhebliche Arbeitserleichterung

- reduzierter Pflanzenschutzmitteleinsatz durch Ausschluss bodenbürtiger Krankheiten und Schädlingen sowie Vermeidung von Bei- und Wildkräutern
- geringer Substratbedarf (10 t/ha bei Steinwollkulturen bis ~ 0 t/ha bei Nutrient Film Technique (NFT))
- Vermeidung phytosanitärer Probleme (z.B. Bodenermüdung, -entseuchung)
- Möglichkeit zur Reinigung bzw. Desinfektion
- Zugang zum Wurzelbereich als zusätzliche Möglichkeit des Pflanzenmonitorings
- Möglichkeit zur aktiven Gestaltung des Wurzelbereichs durch Schaffung von Strukturen und ökologischen Nischen
- verlängerte Haltbarkeit gegenüber Schnittsalaten bei Vermarktung mit Wurzelballen
- ohne Verschmutzungen durch Bodenpartikel o. Ä., dadurch kaum Waschaufwand

Als Nachteile sind zu nennen:

- „Puffervermögen“ natürlicher Systeme muss durch hohe fachliche Qualifikation ausgeglichen werden
- hohe Investitionskosten für technische Ausrüstung (290–400 €/m<sup>2</sup>)
- hohe Abhängigkeit von Energie
- Notwendigkeit der Nährlösungsdesinfektion bei geschlossenen Kreisläufen
- Entsorgung von inerten Substraten und Kunststoffen
- Verbraucherwahrnehmung und -akzeptanz des Produktionssystems
- nach derzeitiger Rechtslage nicht als Öko-Produktion zertifizierbar

### 3 Hydroponische Systeme im professionellen Kräuter- und Salatanbau

Für den kommerziellen Anbau von Kräutern und Salaten sind derzeit hauptsächlich zwei hydroponische Systeme im Einsatz: Deep Water Cultivation (DWC; Tiefwasserkultur) und Nutrient Film Technique (NTF; Nährlösungsfilmtechnik). Diese Systeme zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass sie einen hohen Grad an Betriebssicherheit, Automatisierung und Skalierbarkeit bieten. Damit sind nicht nur unterschiedliche Systemgrößen, sondern auch ein weites Feld an Produktionsbereichen möglich. Zwar befinden sich hydroponische Systeme in Deutschland meist in Gewächshäusern, sie können jedoch auch im Freien, in Hochtunneln oder geschlossenen Kulturräumen installiert werden. Der Vollständigkeit halber wird im Folgenden auch auf die „Aeroponik“ eingegangen, die aufgrund des technischen Anspruchs derzeit im deutschsprachigen

Raum keine Rolle spielt. Für den Hobbyanbau finden sich zahlreiche Hybridansätze auf dem Markt, die sich aus diesen drei Grundprinzipien der Nährlösungsführung (DWC, NFT und Aeroponik) in unterschiedlichem Maße bedienen.

Während es in der Vergangenheit und in anderen geografischen Breiten nicht unüblich war, die Nährlösungen nach einmaligem Durchlauf zu verwerfen (offenes System), wird in den heute betriebenen Anlagen die Nährlösung nach Aufbereitung und Anpassung im Kreis geführt (geschlossenes System). Alle Kreislaufsysteme erfordern eine kontinuierliche Überwachung sowie Einrichtungen zur Hygienisierung der Nährlösung. Es bedarf also einer technischen Mindestausstattung, um geschlossene Systeme über einen längeren Zeitraum sinnvoll betreiben zu können. Nach der Vorstellung der drei Hauptsysteme DWC, NFT und Aeroponik wird in Kapitel 4 eingehender auf das Nährlösungsmanagement eingegangen.

#### 3.1 Deep Water Cultivation (DWC) – Tiefwasserkultur

Die einfachste Hydroponik ist die sogenannte Tankkultur, zu denen das Floating-System und die Deep Water Culture (DWC) (Abb. 1) gezählt werden können. Im Prinzip wachsen die Wurzeln der Pflanzen in eine größtenteils stehende Nährlösung, die gegebenenfalls belüftet oder permanent aufgefrischt wird. Beim Floating-System treiben die Pflanzen auf einem großen Bassin.

Während der 70er- und 80er-Jahre des 20. Jahrhunderts wurde diese Anbaumethode auf schwimmenden Kunststoffflößen für den kommerziellen Anbau von Salaten und Kräutern durch unabhängige Beschreibungen und Tests durch MASSANTINI (1976) sowie JENSEN und COLLINS (1985) praktisch wiederentdeckt. Anlagen zum großflächigen Anbau finden sich vor allem in Japan, China und Europa. Seit etwa 2017 beginnt diese Technik für den Anbau von Salaten auch auf dem deutschen Markt Fuß zu fassen.

Die heute eingesetzten Systeme basieren im Wesentlichen noch immer auf den Systembeschreibungen von JENSEN und COLLINS (1985), die den Anbau in großen, flachen und mit Folie ausgelegten Becken mit einer Wasserhöhe von ca. 30 cm beschrieben haben. Die Nährlösung in den Wasserbecken wird regelmäßig beprobt bzw. online überwacht und in geschlossenen, teilweise belüfteten Kreisläufen geführt. Die rechteckig angelegten Wasserbecken fungieren zum einen als reibungslose Transportflächen zum Bestücken und Beernten der beweglichen Flöße und zum anderen als horizontale, wegflächenlose, einteilige Pflanzoberfläche, die mit einer optimierten Produktionsfläche einhergeht und ein Maximum an Lichtausbeute erlaubt.



- ① Beckenstruktur mit quer laufenden Bahnen für die Schwimmkörper, systemabhängige Bereiche mit unterschiedlichen Pflanzdichten (enger Pflanzenstand, Endabstand) möglich
- ② umlaufende Transportbahn (Ausführung als Wasserbecken oder automatisierte Rolltische)
- ③ zentraler Arbeitsbereich

Abb. 1: DWC-System mit linearem Layout (Produktion von einer Seite zur anderen, also kein Umsetzen während der Produktion (gefaltet))  
 (© N. Domurath)



Abb. 2: Floßsystemen mit 12 Rasterlöcher außerhalb des Beckens mit gut ausgebildetem Wurzelwerk (© N. Domurath)

Die Jungpflanzen werden auf Floßsystemen (Abb. 2) in entsprechend vorbereitete Rasterlöcher eingebracht. Die meist aus extrudiertem Polystyrol (XPS) oder Hart-Polyethylen (HDPE) gefertigten Platten sind entweder so konzipiert, dass die Pflanzen im Vierecksverband oder einreihig eingesetzt werden können. Bei der Auswahl des richtigen Floßes für das jeweilige Produkt müssen das Gewicht, der Platzbedarf, der angestrebte Ertrag und die sortenbedingten Anforderungen berücksichtigt werden. Neben Standardlösungen sind die meisten Hersteller auch bereit, kundenspezifische Anforderungen umzusetzen. Die Jungpflanzen sollten zum Zeitpunkt der Verbringung in die Floßöffnungen bereits genügend Wurzeln entwickelt haben (Abb. 3), um mit den Wurzelspitzen in die Nährlösung hineinzureichen. Je nach Systemdesign wird die Nährlösung aktiv (z.B. durch Pumpen) oder passiv (z.B. durch Fallstufen) mit Sauerstoff angereichert (Abb. 4). Einige Flöße erlauben durch entsprechendes Design die Bildung eines Luftpelsters zwischen Floß und Nährlösungsoberfläche, sodass die Pflanzenwurzeln direkten Luftkontakt erhalten und so Sauerstoff erreichen.

Der wichtigste Parameter für eine hohe Sauerstoffsättigung in der Nährlösung ist die Temperatur. Mit zunehmender Nährlösungstemperatur nimmt der maximal im Wasser lösliche Sauerstoffanteil linear ab, zugleich steigt der Sauerstoffbedarf der Pflanzenwurzeln an. Gleichmäßige und an die Bedürfnisse der Pflanzen angepasste Nährlösungstemperaturen sind deshalb sicherzustellen. In Abhängigkeit mit den Umgebungsparametern haben sich Nährlösungstemperaturen von 18 bis 24 °C in der Salatproduktion bewährt.



Abb. 3: Pflanzeinsatz eines Floßsystems zum Einsetzen in Rasterlöcher (© N. Domurath)

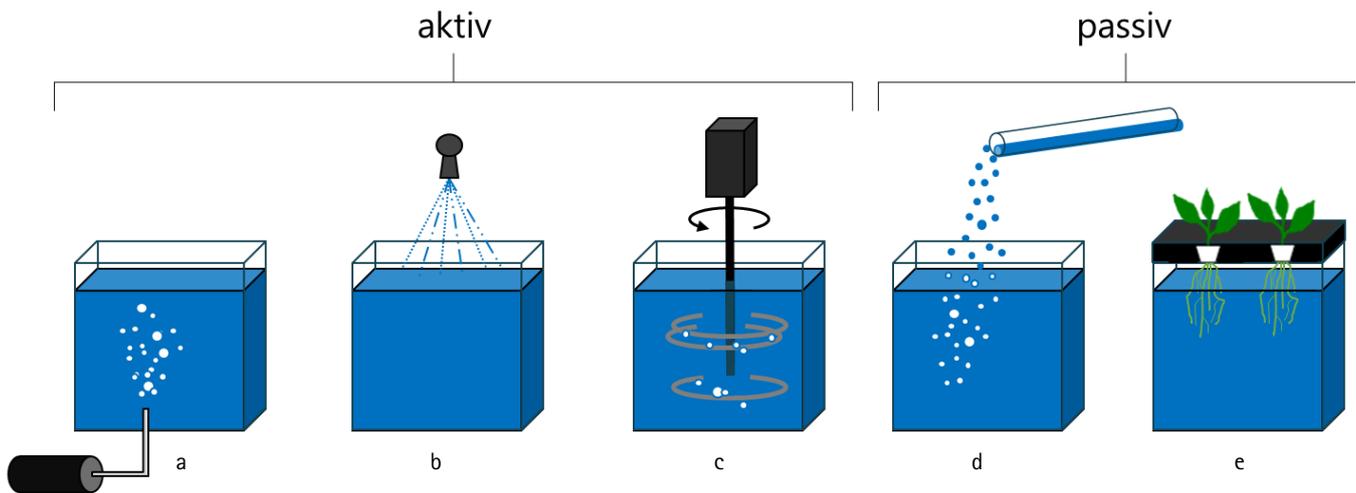


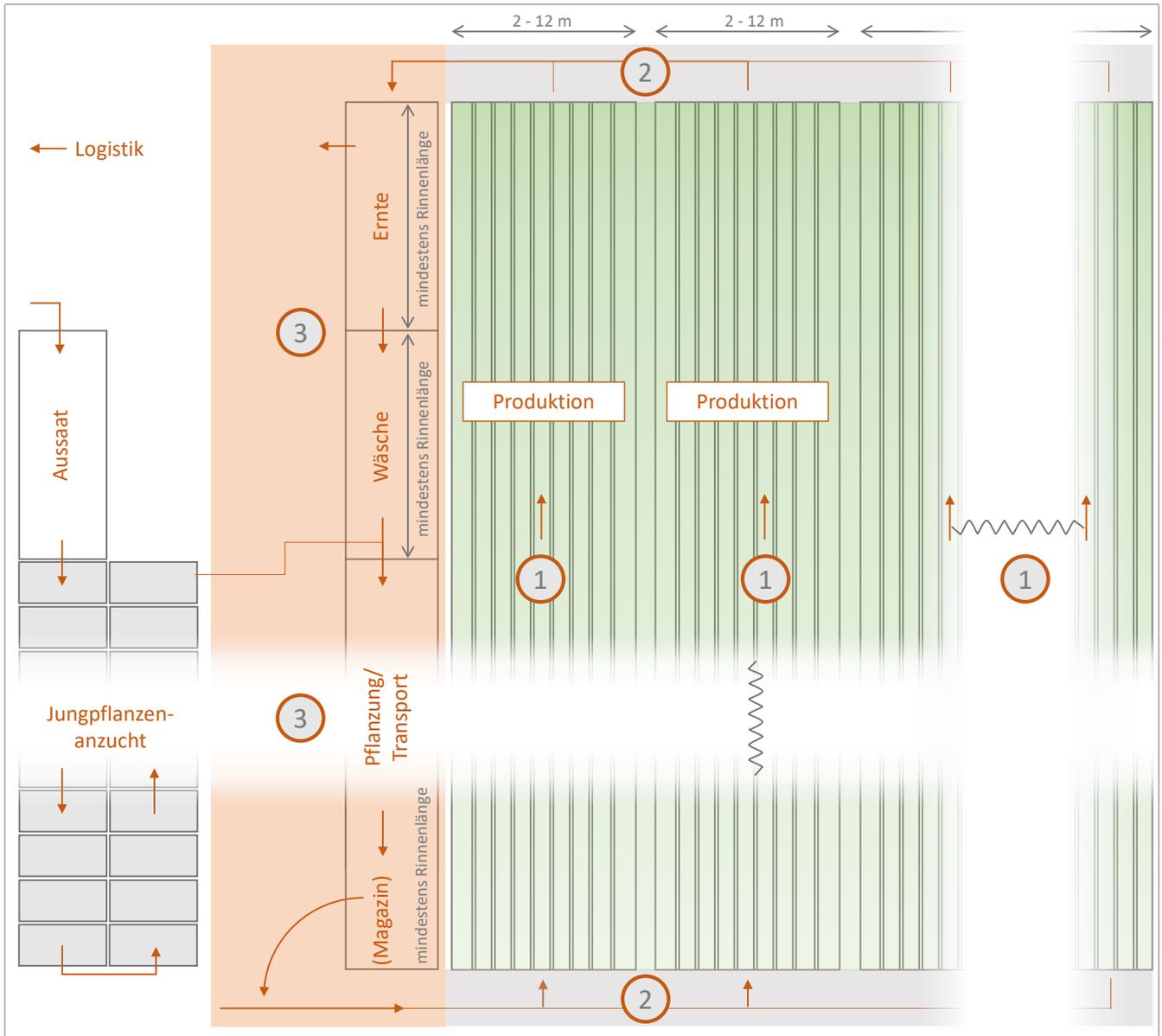
Abb. 4: Schematische Abbildungen zu Möglichkeiten der Sauerstoffanreicherung in Nährlösungen; a – Erzeugung von Luftblasen, b – Vernebeln bzw. Sprühen, c – Rühren, d – Oberflächenvergrößerung durch Fallstufen, e – Schaffung von Lufträumen im Kultursystem (© N. Domurath)

In DWC-Systemen werden die Pflanzen üblicherweise an einer Seite des Beckens eingesetzt und auf der gegenüberliegenden Seite geerntet. Dies wird dann als „lineares“ System bezeichnet. Auf diese Weise können die Wasseroberflächen kontinuierlich ausgelastet und Arbeitsaufwendung oder Investitionen in Rücktechnik minimiert werden. Systeme, bei denen die Pflanzen während der Produktion von einem Becken in ein anderes Becken umgesetzt werden, werden als „gefaltetes“ System bezeichnet. Beim DWC-System muss die Nährlösung nicht aktiv an die Einzelpflanze geführt werden. Stattdessen wird lediglich Pumparbeit benötigt, um die Nährlösung im Becken aufzubereiten. Um einen gleichbleibend hohen Wasserpegel zu halten, empfiehlt es sich analog zur Schwimmbadtechnik auf breitflächige Wasserüberläufe zu setzen. Die Zuführung kann über viele kleinere Zuläufe oder ebenfalls als vollflächiger Einlauf ausgeführt werden. Wichtig ist auch hier, bei zentralen Wasserführungseinrichtungen möglichst gegenüberliegende Beckenseiten für den Zu- und Ablauf zu nutzen, um die Nährlösung an allen Stellen des Beckens gleichmäßig führen zu können und kurze Wasserwege und daraus resultierende stehende Wasseroberflächen zu vermeiden. Alternativ kann mit verteilten, dezentralen Wasserzulauf- und -entnahmestellen gearbeitet werden.

In der Praxis werden Floßsysteme erfolgreich eingesetzt. Der Betrieb „Sapori & Aromi Sempre Freschi“ in Castelvetro auf Sizilien baut beispielsweise auf einer Gewächshausfläche von 3.600 m<sup>2</sup> Basilikum an. Dazu werden Anzuchtplatten aus Styropor eingesetzt, in denen die Pflanzen zunächst während der Anzucht auf Tischen im Ebbe-Flut-System stehen. Nach etwa drei Wochen werden sie mit Pikieretechnik maschinell in Kulturplatten mit weiterem Pflanzenabstand gesetzt, die in ca. 300 m<sup>2</sup> großen Wasserbecken mit 25 cm Wassertiefe eingesetzt werden (SCHMITT 2015).

### 3.2 Nutrient Film Technique (NFT) – Nährlösungsfilmtechnik

Die NFT-Technik (Abb. 5) wurde in den späten 1960ern maßgeblich am Institut für Gewächshauskulturen (Glasshouse Crops Research Institute) in Littlehampton, England, entwickelt. Die Pflanzen werden bei diesem Verfahren in gelochten Plastikröhren, -rinnen oder -kanälen (Abb. 6) platziert, die in der Regel durch ein nivelliertes Ständerwerk aus verzinktem Stahl auf Arbeitshöhe gehalten werden. Die Rinnen bestehen meist aus lebensmittelechtem, lichtundurchlässigem, weißem Polyvinylchlorid (PVC). Rinnen aus 100% recyceltem oder kompostierbarem Material sind derzeit nicht am Markt zu finden. Es gilt jedoch bei den Herstellern genauer nachzufragen und sich die Eignung für den Anbau durch Vorlage von Zertifikaten bestätigen zu lassen, um auf Rückfragen durch Kunden und Zertifizierer eingehen zu können. Die Rinnen sollten zudem über Endkappen mit Entwässerungsöffnungen, -lippen oder -stützen verfügen.



- ① Produktionsbereich mit quer zur Rinne laufender Führung, systemabhängige Bereiche mit unterschiedlichen Pflanzdichten durch Rücken (enger Pflanzenstand, Endabstand) möglich
- ② umlaufender Transportbereich zum Rinnentransport
- ③ zentraler Arbeitsbereich

Abb. 5: NFT-System mit linearem Layout (Produktion von einer Seite zur anderen, also kein Umsetzen während der Produktion (gefaltet)) und Jungpflanzenanzucht (© N. Domurath)



Abb. 6: Rinnen eines NFT-Systems mit Salat mit gut ausgebildetem Wurzelwerk (© N. Domurath)

Die Pflanzen werden direkt oder mit Hilfsmitteln, wie Gittertöpfe o. Ä., in die Rinnen eingesetzt, sodass sich ihr Wurzelwerk innerhalb der Hohlkörper entfalten kann. Ein dünner Nährlösungsfilm versorgt dabei die offenliegenden Wurzeln.

Die Rinnen werden auf geeigneter Arbeitshöhe mit einem leichten Gefälle von 1,0 bis 1,5% (maximal 2,5% bei Langzeitkulturen mit ausgeprägtem Wurzelwerk) ausgerichtet. Die Nährlösung wird in der Regel am Kopf eingeleitet und durchläuft mit geringer Fließgeschwindigkeit die Rinnen mithilfe der Schwerkraft. Um Ausfällen durch Blockaden oder Leckagen vorzubeugen, kann die Nährlösungszuführung auch über zwei Einlasstropfer erfolgen. Am Ende jeder Rinne wird die verbleibende Nährlösung aufgefangen und nach entsprechender Aufbereitung wieder dem Kreislauf zugeführt (geschlossenes System).

Limitationen bestehen durch Probleme in der Sauerstoffversorgung der Wurzeln bei zu groß gewählten Rinnenlängen und allgemeinen Belangen der Nährlösungshygiene (siehe Kapitel 4.3) in geschlossenen Anbausystemen. Inzwischen werden NFT-Anlagen vor allem beim Anbau von kompakten Kurzzeitkulturen wie Salaten, Kräutern und sonstigen Blattgemüsen eingesetzt. Allgemein wird

empfohlen, die Rinnenlängen unter 12 m zu halten. Bei wärmeren Anbaubedingungen ist diese Empfehlung weiter zu reduzieren, da die Nährlösung sich sonst auf dem Weg durch die Rinne zu stark erwärmt und die Sauerstoffsättigung absinkt.

Die Auslegung des Nährlösungssystems (siehe Kapitel 4) wird maßgeblich vom Wasserbedarf und der Entwicklung des Wurzelwerks der gewählten Kulturen bestimmt. Als grobe Faustzahlen zur Abschätzung des in der Kultur befindlichen Volumens an Nährlösung kann Folgendes angenommen werden: 0,5 Liter, mindestens jedoch 0,25 Liter, pro Pflanze bei Kurzzeitkulturen wie Salat und schnellwachsenden Kräutern, bis zu 2 Liter pro Pflanze bei Langzeitkulturen (z.B. Anbau von Pharmapflanzen mit längerer Entwicklungszeit). Für die Fließgeschwindigkeiten in den Rinnen kann überschlägig mit 0,5 Litern und 2 Litern pro Minute und Rinne für Kurz- bzw. Langzeitkulturen gerechnet werden. Tabelle 1 zeigt die empfohlenen Wassermengen je Bewässerungsintervall und die Pausen zwischen den Bewässerungsintervallen bei der Bewässerung von Salaten mit unterschiedlichen Kopfgewichten. Die Fließgeschwindigkeiten sind neben der Kultur auch an den Durchmesser und die Neigung der Rinnen anzupassen.

Tab. 1: Wassermengen je Bewässerungsintervall und Intervalle bei der Bewässerung von Salaten

	Einheit	Kopfgewicht				
		10–30 g	30–50 g	50–100 g	100–150 g	> 150 g
Wassermenge je Bewässerungsintervall und Rinne	ml/Pflanze	900	1.100	1.600	2.000	2.200
Pausen zwischen den Bewässerungsintervallen						
Tag	min	60	30	20	16	14
Nacht	min	300	210	150	90	60

Ein weiterer Parameter der Systemauslegung ist die Wahl des Rinnendurchmessers entsprechend der anzubauenden Kultur. Typische Breiten reichen von 100 mm (4 Inch) für schnellwachsende Kulturen (Abb. 7) über 150 mm (6 Inch) für Langzeitkulturen mit geringer Wuchshöhe wie Erdbeeren bis zu 200 mm (8 Inch) für fruchttragende Langzeitkulturen. Die Oberseite der Kanäle ist entweder direkt mit Pflanzlöchern versehen oder verfügt über separate Deckplatten, die aufgeklickt oder eingeschoben werden und so die Rinne komplettieren. Die eingesetzte Reinigungstechnik bestimmt hierbei maßgeblich die Wahl. Zusätzlich wird aber auch die Rinnenstabilität gegen Durchbiegen und Verdrehen durch die Wahl der Rinnenform und die gegebenenfalls wechselbare Abdeckung bestimmt.

Die Lochabstände betragen in NFT-Systemen zwischen 10 und 25 cm, die Lochdurchmesser zwischen drei und



Abb. 7: Salatbestand in einem NFT-Rinnensystem (© N. Domurath)

acht cm je nach Kulturart und eingesetzten Jungpflanzen bzw. Pflanzenträgern. Die Löcher sollten nicht zu groß gewählt werden, um Lichteinfall und die damit verbundene Bildung von Biofilmen und Algenwachstum zu vermeiden. Um auch für Jungpflanzen den Kontakt zur Nährlösung sicherzustellen, wurden Rinnen entwickelt, die über entsprechende Rippen oder Rinnenausbuchtungen verfügen. Bei der Verwendung größerer Durchmesser besteht zudem die Möglichkeit, dünne Kapillarmatten aus Zell- oder Kunststoffen einzulegen, um die Versorgung der Pflanzen in allen Entwicklungsstadien sicherzustellen und zudem einen kleinen Nährlösungspuffer vorzuhalten.

Zu den Stärken des NFT-Verfahrens gehört die geringe vorzuhaltende Nährlösungsmenge. Dadurch reduziert sich der Energieaufwand zur Temperierung der Nährlösung erheblich (THOMPSON et al. 1998). Andererseits sind NFT-Systeme aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Pumptechnik als störungsanfällig einzustufen (FRANTZ and WELBAUM 1998).

#### Mobile Gutter System (MGS) – mobile Rinnensysteme

MGS-Systeme unterscheiden sich von der üblichen NFT- oder Rinnenkultur durch die, je nach Stand der Pflanzenentwicklung, vorgenommene Anpassung der Reihenabstände. Da der Raum durch manuelles oder automatisches Rücken besser genutzt wird, steigt die Flächenproduktivität erheblich. MGS-Systeme werden von Komplettanbieter meist so ausgelegt, dass alle Arbeitsgänge vom Pflanzen bis zur Ernte und der Nachernte hygiene der Rinnen automatisiert werden können. Die mit einer Vollautomatisierung (Abb. 8) einhergehenden höheren Investitions- und Betriebskosten können durch die erhöhte Flächeneffizienz und die Ausweitung auf eine ganzjährige Produktion unter Einsatz von Zusatzlicht gerechtfertigt werden.



Abb. 8: Wasserzuführung eines mobilen Rinnensystems (© N. Domurath)

### 3.3 Aeroponik

Neben den beiden bereits vorgestellten Systemen ist der aeroponische Pflanzenbau eine zu erwähnende Option für die effiziente Pflanzenproduktion in High-Tech-Systemen. Dabei werden die Wurzeln mit einem Aerosol besprüht, sodass Wasser und Sauerstoff den Pflanzen immer optimal zur Verfügung steht. Die aeroponischen Systeme werden vor allem in der vertikalen, gebäudegebundenen Pflanzenproduktion eingesetzt.

Folgende Eigenschaften sind charakteristisch:

- Verringerung Volumen und Gewicht der Verbrauchsmaterialien
- Reduzierung Abfallmenge
- Einsparung von Substraten
- Senkung des Befalls mit Pflanzenkrankheiten
- Minimierung des Wasserverbrauchs
- Erhöhung Sauerstoffversorgung der Pflanze
- Steigerung des Pflanzenwachstums und bessere Nährstoffversorgung
- exaktes Monitoring

Das Wort „Aeroponik“ wird abgeleitet aus dem Griechischen: „aero“ für Luft und „ponos“ für Arbeit. Anders als im traditionellen hydroponischen oder aquaponischen System werden im aeroponischen System die Wurzeln mit einem Gemisch aus Nährstoffen und Wasser besprüht (Abb. 9), dem sogenannten „Aerosol“. Die Zerstäubung der Nährstofflösung erfolgt über feine Nebeldüsen. Die Partikelgröße ist sehr wichtig für den Erfolg des Systems. Zu große Partikel bedeuten weniger Sauerstoffverfügbarkeit für die Wurzeln. Die meisten Aeroponik-Systeme sind auf Sprühstöße von wenigen Sekunden je zwei bis fünf Minuten ausgelegt. Die so entstehende dauerhaft gespannte Luft im Wurzelbereich genügt, um die Wurzel feucht und produktiv zu halten und andererseits ein Maximum an Sauerstoff bereitzustellen. Krankheiten und Schädlinge stellen im aeroponischen System ein kalkulierbares Risiko dar. Da es sich um ein geschlossenes System handelt, muss nur das Eindringen und Entstehen von z.B. Pathogenen verhindert werden. Häufig werden Schädlinge und Krankheiten über Substrat übertragen oder sind bodenbürtig. Diese Übertragungswege sind bei aeroponischen wie hydroponischen Systemen ausgeschlossen.



Abb. 9: Besprühte Wurzeln in einem aeroponischen System (© stock.adobe.com | neznamov1984)

Aeroponische Systeme wurden maßgeblich von Dr. Merle Jensen in Arizona entwickelt und stehen für eine Vielzahl von Blattgemüsen bis hin zu Tomaten zur Verfügung (JENSEN und COLLINS 1985). Die Bauformen aeroponischer Wurzelräume variieren stark. Für viele Anwendungen (z.B. Babyleaf-Salate wegen der hohen Pflanzdichten) im Bereich des Etagenanbaus wird ein schalen- oder tunnelartiger Aufbau bevorzugt. Für eine gewächshausba-

sierte Produktion unter Tageslichteinfluss kommen meist sogenannte A-Frame-Konstruktionen zum Einsatz, die die Anbaufläche in Form von Prismen mit dreieckigen Seitenflächen oder Pyramiden aufwölben. Einige Systeme nutzen auch Säulen, um die Anbaufläche vertikal auszubauen. Die Seitenplatten, die meist aus aufgeschäumten Materialien wie Styrodur® bestehen, weisen Maße von etwa 1,2 x 2,4 m auf, um von einer Person eigenstän-

dig transportiert werden zu können. Platten dieser Größe werden im Fußbereich etwa 1,2 m ausgestellt, um so den A-Frame aus zwei rechtwinkligen Dreiecksformen zu bilden. Der A-Frame seinerseits steht auf einem Wassersammelbehälter, der eine Füllhöhe von 25 cm für die Nährlösung bereitstellt und als Anker für das Sprühzubehör fungiert. Bei größeren Anlagen wird das Unterbecken nicht als Wanne mit entsprechendem Volumen ausgeführt, sondern bildet lediglich eine geneigte Rinne aus, die die Nährlösung zu einem zentralen Auffangbecken führt. Von dort aus kann die Nährlösung nach Aufbereitung wieder im System vernebelt werden. Die vorgezogenen Jungpflanzen werden in die Platten mit festem, der Kultur angepasstem Lochabstand eingesetzt. Somit hängen die Wurzeln frei in einem lichtdicht eingeschlossenen Bereich, in dem, wie bereits beschrieben, periodisch die Nährlösung vernebelt wird (JENSEN und COLLINS 1985).

Für den Einsatz von aeroponischen Systemen sprechen folgende Vorteile:

- geringerer Einsatz von Nährstoffen und Wasser als in vergleichbaren Systemen
- maximale Sauerstoffzufuhr für die Pflanzenwurzel führt zur Steigerung der Pflanzenproduktivität
- vollständige Kontrolle des Wurzelraumes
- rascher Wechsel der Nährlösungszusammensetzung sowie bedarfsgerechte Nachsteuerung von Nährlösung durch geringste Rücklaufwasseraufkommen möglich
- flexible Einstellung des Intervalls und der Dauer des Sprühvorganges für eine angepasste Versorgung unterschiedlicher Entwicklungsstadien oder Kulturen
- Entnahme von Einzelpflanzen ohne Störung der anderen Pflanzen jederzeit möglich
- sehr gute Eignung für hohe Pflanzdichten, u. a. durch Aufwölbung der Pflanzfläche
- Beschleunigung der Wachstumsrate und der Reife
- Steigerung der Produktion von Biomasse und Sekundärmetaboliten

Insbesondere im vergleichsweise hohen technischen Aufwand liegen jedoch auch die Nachteile einer aeroponischen Produktionsweise:

- Die Komplexität des Systems führt zu hohen Anschaffungs- und Produktionskosten, hohem Energieaufwand und dem Bedarf an speziell ausgebildetem Personal.
- Die hohe Abhängigkeit des Pflanzenbestands von der technisch Wurzelbefeuchtung birgt erhebliche Risiken hinsichtlich technischer (Teil-)Ausfälle und Unterbrechungen der Versorgung mit elektrischer Energie.
- Die Sprühdüsenteknik neigt je nach Bauform des Systems mehr oder weniger zum Verstopfen und zum Einwachsen von Wurzeln.

Trotz dieser erheblichen Nachteile werden aeroponische Systeme insbesondere im urbanen Kontext inzwischen häufiger kommerziell eingesetzt.

### 3.4 Systemvergleich

Neben technischen Daten, der möglichen Flächennutzung oder dem systemspezifischen Energieverbrauch ergeben

sich einige mögliche Kriterien für die Entscheidung, welches hydroponische Grundverfahren zum Einsatz kommen soll. Die geplante Kulturart und -abfolge mündet in die Frage nach dem am Markt nachgefragten Produkt. Hydroponische Salate werden je nach Nutzung in vielerlei Erscheinungsformen angeboten, die sich teilweise erheblich von klassischen Freilandsalaten unterscheiden. Die Bandbreite reicht hier beispielsweise von spezifischen Einzelprodukten oder Produktkombinationen für Gastronomie, Convenience bis hin zu hyperlokalen Angeboten des urbanen Gartenbaus.

Um insbesondere in der Saison nicht direkt im Wettbewerb mit den Angebotsspitzen aus dem Freiland zu stehen, empfiehlt es sich, über betriebsspezifische oder auf einzelne Absatzkanäle angepasste Produktlinien nachzudenken. Von der Produktentscheidung abgeleitet sollten die Risikolage aus phytopathologischer Sicht, der Stand der Technik, die Sicherheit des jeweiligen Verfahrens sowie Anforderungen des Qualitäts- und Risikomanagements in die Entscheidung Für oder Wider eines Anbausystems bewertet werden.

Es ist zu empfehlen, zumindest in der ersten Saison auf Angebote der externen Beratung durch den Systemhersteller selbst oder spezialisierte Berater zurückzugreifen. Bau-liche Fragestellungen, Anforderungen des Bodens- und Grundwasserschutzes oder Abfallmengen und Möglichkeiten der langfristigen Entsorgung bzw. Wiederverwendung können betriebsabhängig sehr unterschiedlich ausfallen.

Die Produktionsmittel und die Arbeitskräfte zum Betrieb der Anlagen müssen verfügbar sein. Diese Aspekte üben eine erhebliche Hebelwirkung auf die Investitions- und Betriebskosten aus. Nicht zuletzt sind die subjektive Einstellung und das Vertrauen zu den unterschiedlichen Systemen entscheidend. Es empfiehlt sich deshalb der intensive Austausch mit potenziellen Anbietern (siehe Kapitel 6) sowie der Austausch mit Referenzkunden.

## 4 Herstellung von Gießwasser und Desinfektion von Rücklaufwasser

Die Wasserbevorratung unterscheidet sich nach ihrem Zweck, ihrem Ziel und ihrer Notwendigkeit. Es wird zwischen Rücklaufbecken, Wasservorratsbecken und Regenwasserauffangbecken unterschieden (VIEHWEG 2000).

Rücklaufbecken sind Teil eines geschlossenen Bewässerungssystems. Sie nehmen das überschüssige, zurückfließende Wasser auf, das für den nächsten Bewässerungsvorgang erneut verwendet wird. In Abhängigkeit von der Größe der Bewässerungsgruppen beträgt das Volumen im geschützten Anbau in der Regel nur wenige Kubikmeter. Es ist sinnvoll eine Trennung vom reinen Regenwasserauffangbecken vorzunehmen.

Wasservorratsbecken werden eingesetzt, um Wasser aus Quellen mit geringer Kapazität (eigener Brunnen, technische Wasseraufbereitung) zu bevorraten. Hierdurch kann ein Ungleichgewicht zwischen Ergiebigkeit der Wasserquelle und Abnahmebedarf ausgeglichen werden. Selten sind Beckengrößen von mehr als 50 bis 100 m<sup>3</sup> notwendig.

Regenwasserauffangbecken dienen dem Sammeln und Bevorraten von Niederschlägen. Zusätzlich kann in diesen Becken ein Verschneiden mit Wasser minderer Qualität erfolgen. Die Beckengröße richtet sich nach den betrieblichen Erfordernissen und kann einige hundert bis mehrere tausend Kubikmeter betragen.

Zudem ist Nährlösungshygiene die Grundvoraussetzung für einen dauerhaft gesunden Pflanzenbestand. In den nachfolgenden Abschnitten wird deshalb auf die wichtigsten Aspekte der Wasserbevorratung, Wasseraufbereitung und der Kreislaufführung von Nährlösungen eingegangen.

#### 4.1 Brunnen und Auslegung der Regensammelbecken

Eine häufig angewendete Wasserentnahme im Gartenbau ist die Grundwasserentnahme durch Saug- oder Tauchpumpen. Je nach Grundwasserqualität und -quantität kommen Brunnen mit einer Tiefe von 15 bis 50 m zum Einsatz. Des Weiteren können Brunnen mit einer Tiefe bis > 150 m gebohrt werden. Solche Tiefenbrunnen sind in der Herstellung sehr kostenintensiv und werden nur eingesetzt, wenn andere Wassergewinnungssysteme nicht möglich sind.

Vorteil eines Brunnens ist die konstante Verfügbarkeit von Grundwasser und dessen gleichbleibende Qualität und Quantität. Nachteilig sind die auftretenden hohen Salzgehalte und die für die produzierenden Kulturen unzureichenden pH-Werte sowie eventuell hohe Eisengehalte (Region bezogen).

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Verwendung von Regenwasser als Gießwasser. Die hohe Anforderung an die Gießwasserqualität und die Bereitstellung von unbelastetem Ausgangswasser ist für salzempfindliche Kulturen von existenzieller Bedeutung (Tab. 2). Dies gilt insbesondere für hydroponische Kulturen, die in einem geschlossenen Bewässerungssystem produziert werden. Ballastsalze im Gießwasser können bei einer gezielten Düngung von Nährstoffen stören und die Qualität der Produkte maßgeblich beeinträchtigen.

Tab. 2: Elektrische Leitfähigkeit und Nährstoffgehalte im Ausgangswasser eingeteilt nach ihrer Eignung als Gießwasser

	Einheit	Eignung für Gießwasser		
		gut geeignet	geeignet	schlecht geeignet
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	< 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5
Hydrogencarbonat	mmol/l	< 2,5	2,6–5,0	5,1–10,0
Natrium	mg/l	< 35	35–70	70–115
Chlorid	mg/l	< 50	50–100	100–175
Sulfat	mg/l	< 100	100–200	200–400
Zink	mg/l	< 0,33	0,33–0,65	0,65–1,65
Mangan	mg/l	< 0,40	0,40–1,10	1,10–1,65
Bor	mg/l	< 0,22	0,22–0,44	0,44–0,65
Bromid	mg/l	< 0,4	0,4–1,2	1,2–3,2

Als Gründe für den Bau von Regenwassersammelbecken können folgende genannt werden:

##### Qualitative Gründe

- Wasserinhaltsstoffe (Salze, Eisen, pathogene Keime usw.), die zu Kulturproblemen führen können
- hohe Wasserhärtegrade, die zu Problemen an Bewässerungssystemen führen
- Bewässerungsdüngung erfordert unbelastetes Wasser

##### Quantitative Gründe

- Förderkapazität des Brunnens ist zu gering
- bessere Ausnutzung von Aufbereitungsanlagen

##### Allgemeine und wirtschaftliche Gründe

- Kosten für den Wasserbezug aus dem öffentlichen Netz sind sehr hoch
- hydrologische Verhältnisse schließen eine rentable Eigenförderung aus
- kein Wasserentnahmerecht für eigenen Brunnen erhältlich
- technische Wasseraufbereitung nicht wirtschaftlich einsetzbar
- Abfuhr des Regenwassers über Kanalanschluss ist kostenintensiv
- Abfuhr des Regenwassers über Muldenversickerung zu flächenintensiv
- Wiederverwendung von Bewässerungswasser aus geschlossenen Systemen

Eine pauschale Berechnung der notwendigen Vorratsmenge an Wasser ist nicht sinnvoll. Die zu bevorratende Menge richtet sich zunächst nach den Ansprüchen der Kultur. VIEHWEG (2000) gibt an, dass eine zweimonatige Bedarfsdeckung aus Regenwasser anzustreben ist. Überschlägig wird ein kulturabhängiger Bedarfswert für Salat von 100 und 150 l/m<sup>2</sup> Kulturfläche und Sommermonat angenommen. Weiterhin müssen die jährlichen Niederschlagsmengen und die zeitliche Niederschlagsverteilung bzw. bei Brunnenwassernutzung dessen Leistung und gegebenenfalls bestehende Entnahmehöchstmengen berücksichtigt werden. Temperaturverläufe und Lichtintensitäten, Gewächshaustyp sowie die technische Ausstattung des Kulturraumes bilden weitere Einflussgrößen für eine sinnvolle Dimensionierung. Um dennoch eine Größenordnung ohne Detailkenntnis der objektbedingten Einflussfaktoren zu geben, kann für einen Hektar Produktionsfläche überschlägig von ca. 3.000 bis 5.000 m<sup>3</sup> (300–500 l/m<sup>2</sup>) Frischwasserbevorratung ausgegangen werden.

In der Praxis werden häufig günstige Erd-Folien-Becken als Regenauffangbecken verwendet, während Stahl-Folien-Becken als Sammelbecken für Gießwasser und Rücklaufwasser verwendet werden. Weitere Informationen sind dem KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0695 „Regensammelbecken“ (VIEHWEG 2000) zu entnehmen.

## 4.2 Auslegung der Wasserbehälter und der Düngerdosierung

### Auslegung der Wasservorratsbehälter

Die klassische rezirkulierende Bewässerungsdüngeranlage im Gartenbau besteht aus einem Behälter für Frischwasser und einem Behälter für das zurückfließende Rücklaufwasser. Letzterer entfällt bei dem DWC-System, da hier nur der Verlust der Evapotranspiration aufgefüllt wird. Daher wird nur ein Behälter für Frischwasser benötigt, um gegebenenfalls ein Mischwasser aus verschiedenen Quellen, z.B. Brunnenwasser und Regenwasser, zu verschneiden. Ein Behälter für Rücklaufwasser wird demzufolge nur bei dem NFT-System benötigt. Hier werden praxisüblich Bewässerungsvorgänge mit einem Überschuss an Gießwasser durchgeführt. Das anfallende Rücklaufwasser wird in einem Behälter gesammelt, bevor es nach der Desinfektion (siehe Kapitel 4.3) dem Frischwasserbehälter wieder zugeführt wird.

Für die Auslegung der Behälter für Frisch- und Rücklaufwasser wird für Salat im hydroponischen System je nach Saison ein Wasserbedarf von 5 bis 25 m<sup>3</sup> pro Hektar und Tag angenommen. Die Dimensionierung der Reservoirs sollte für zwei Tage erfolgen, damit Wartungs- und Reinigungsintervalle oder technische Ausfälle sinnvoll überbrückt werden können. Daraus ergibt sich für die Auslegung des Frischwasserbehälters eine Größe von mindestens 50 m<sup>3</sup>/ha. Bei der Annahme von 40% Rücklaufwasser sollte der Rücklaufwasserbehälter ein Fassungsvermögen von etwa 20 m<sup>3</sup>/ha aufweisen.

### Auslegung der Düngerdosierung

Für die Düngerdosierung in DWC- und NFT-Systemen kommen in der Regel zwei Injektionssysteme zur Anwendung. Hierbei wird zwischen Injektionssystemen mit Stammlösungstanks (auch A/B-Lösungen genannt) (Abb. 10) und Systemen mit Einzelnährstoffdosierung unterschieden (Abb. 11).

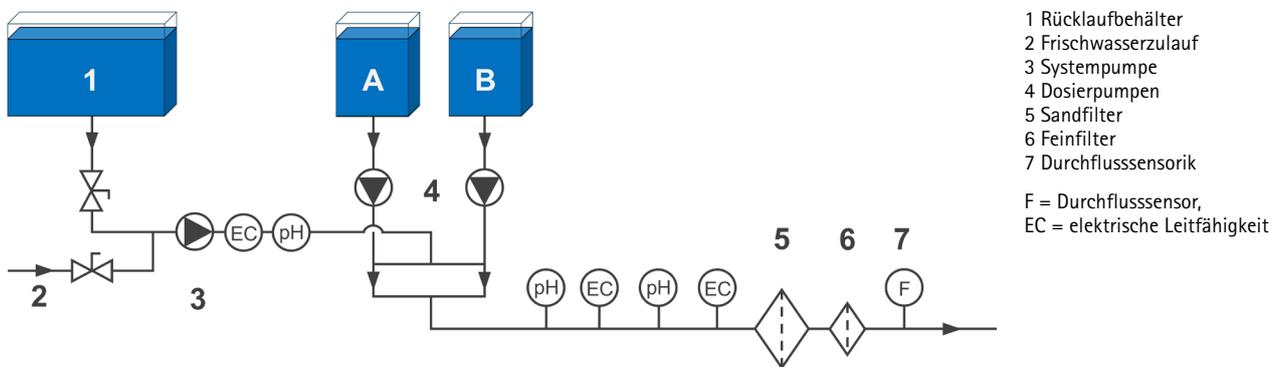


Abb. 10: Schematische Darstellung eines Versorgungssystems mit Direktinjektion von A/B-Stammlösungen (Savvas und Passam 2002, verändert)

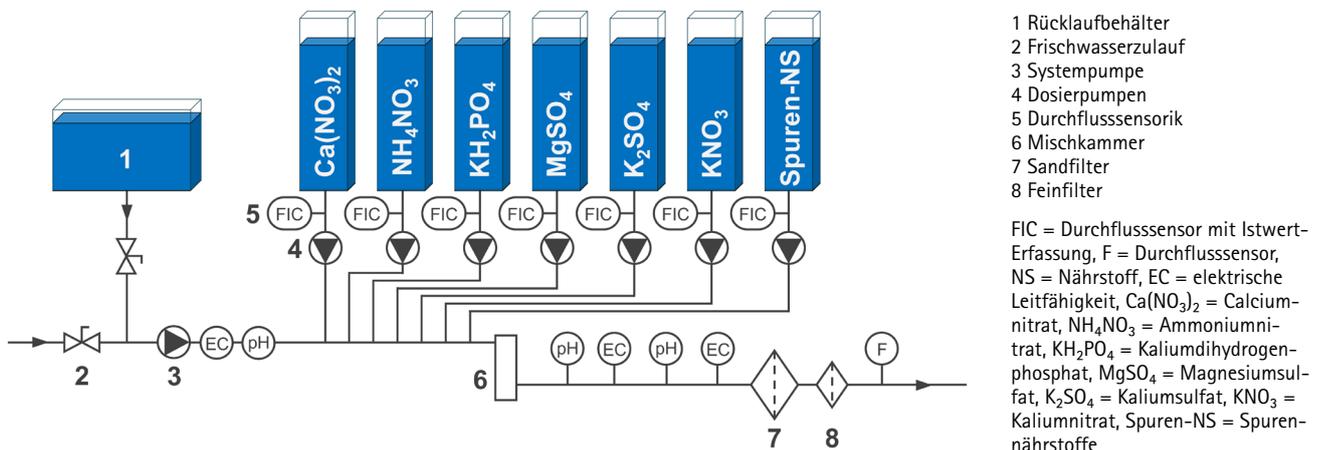


Abb. 11: Schematische Darstellung eines Versorgungssystems mit Direktinjektion von Einzelnährstoffen (Savvas und Passam 2002, verändert)

Beim System der Einzelnährstoffdosierung werden die flüssigen Düngemittel direkt aus dem Behälter zudosiert und nicht als 10%ige Stammlösung vorgemischt, wie es in Stammlösungssystemen üblich ist. Die Anschaffung einer Einzelnährstoffdosierung lohnt sich jedoch erst ab einer Kulturfläche von 5 ha.

Bei beiden Systemen wird das Wasser-Dünger-Gemisch kurz hinter der Nährstoff-Injektionsstelle mit einer EC-Messsonde gemessen und mit dem Sollwert verglichen. Je nach Abweichung wird die Injektionspumpe auf- oder

zugefahren. Wichtig ist das Vorhandensein einer Verwirbelungskammer zwischen Injektionspunkt und Messstelle der EC-Sonde. Die injizierten Nährstoffmengen werden auf diese Weise gut vermischt und ermöglichen einheitliche Nährstoffkonzentrationen im Wurzelbereich der Pflanzen. Für die Anlagenauslegung müssen die benötigten Eckwerte definiert werden. Auch der Regelbereich einer Injektionspumpe hat physikalische Grenzen. Meist ist der Hub der Dosierpumpen im Verhältnis 1:10 verstellbar. Sollen auch Kleinmengen optimal ausgeregelt werden, muss zusätzlich

zur mechanischen Hubverstellung eine Drehzahlregelung (Frequenzregelung) die Leistung des Antriebsmotors der Injektionspumpen verändern (ca. 1:10). Des Weiteren ist zu beachten, dass die Düngerdosierung ein Teil der Fertigungsanlagen ist, die vom Installateur sorgsam geplant sein sollten. Da die Düngerdosierung nicht von der Wasserversorgung (Pumpen) getrennt betrachtet werden kann, ist ein Anforderungskatalog der gesamten Anlage vor der Realisierung erforderlich (DOMKE 2006).

In Tabelle 3 sind die erforderlichen Dosiermengen für eine hydroponische Salatkultur angegeben.

Tab. 3: Konzentration der essenziellen Nährstoffe für eine hydroponische Salatkultur

Nährstoff	Konzentration in ppm
Stickstoff	200–600
Phosphor	30–120
Kalium	200–400
Calcium	100–300
Magnesium	20–100
Schwefel	20–100
Eisen	0–10
Mangan	0,2–0,4
Bor	0,2–0,5
Zink	0,2–0,5
Kupfer	0,03–0,1
Molybdän	0,04–0,07

### 4.3 Reinigung und Desinfektion von Rücklaufwasser

Im Sinne der Ressourcenschonung ist ein modernes Wassermanagement selbstverständlich, das die Wiederverwendung von gebrauchtem Gießwasser bzw. die Nutzung von gespeichertem Regenwasser einschließt. Durch die Wiederverwendung von gebrauchter Nährlösung ist eine Kontamination mit Pathogenen – Pilze, Viren oder Bakterien – und deren Ausbreitung im Gießwasser möglich. Auch können sich im Regenauffangbecken pflanzenschädliche Pathogene ausbreiten, die in der Produktion zu Problemen führen können, während bei der Nutzung von Brunnenwasser (Grundwasser) oder Wasser aus dem öffentlichen Trinkwassernetz nicht mit einer Kontamination von Schadorganismen zu rechnen ist.

Nach Angaben von WOHANKA et al. (2015) ist das Risiko einer Krankheitsausbreitung in geschlossenen Bewässerungsverfahren sehr unterschiedlich. Systeme, bei denen die rezirkulierende Nährlösung am Wurzelraum vorbeigeführt wird, z.B. Fließrinne, Anstaubewässerung, weisen meist ein geringes Risiko auf. In DWC-Systemen, wo die Pflanzenwurzeln dauerhaft mit der Nährlösung in Kontakt stehen, ist mit einem höheren Risiko einer Infektion der Pflanzen zu rechnen. Aus Sicherheitsgründen ist insbesondere bei DWC-Systemen eine pflanzenhygienische Aufbereitung des rezirkulierenden Gießwassers durch eine Wasserentkeimung empfehlenswert.

Hierzu gibt es im Gartenbau eine Reihe von geeigneten Wasserentkeimungsverfahren, die je nach dem betriebli-

chen Bewässerungsverfahren, der Wasserversorgung oder der Kulturtechnik eine individuelle Lösung darstellen können. WOHANKA et al. (2015) unterscheiden grundsätzlich zwischen chemischen und physikalischen Verfahren.

Zusammenfassung der wichtigsten Verfahren:

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

Eine effektive Wirkung gegen Biofilme im Bewässerungssystem wird jedoch nur mit den chemischen Verfahren erreicht. Diese Verfahren verhindern eine Ausbreitung der Krankheiten von Pflanze zu Pflanze. Gleichzeitig eignen sie sich für den Einsatz in DWC-Systemen. Für die Produktion von Salaten in einem Rinnensystem (NFT) fallen deutlich geringere Mengen an Rücklaufwasser an, die zudem regelmäßig zentral geführt werden, sodass sich physikalische Verfahren bewährt haben.

Weitere Informationen zum Thema „Reinigung und Desinfektion von Rücklaufwasser“ können dem KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0738 „Entkeimung von Nährlösung oder Gießwasser – Verfahren, Einsatzbereiche und Bewertung“ von Dr. Walter Wohanka, Otto Domke und Johannes Schmidt aus dem Jahr 2015 entnommen werden.

## 5 Investitionsbedarf

Bei der Planung eines hydroponischen Systems spielt der Investitionsbedarf eine entscheidende Rolle. Er hängt in hohem Maße von den vor Ort tätigen Baufirmen und den teilweise transportbedingten Kosten des Materials zusammen. Daher können keine allgemeingültigen Angaben dazu gemacht werden. Im Folgenden werden zwei Beispielskalkulationen (ohne Kosten für das Gewächshaus) angeführt, um die Kostenzusammensetzung abzubilden. Im Einzelfall können die Kosten allerdings deutlich davon abweichen.

In den Tabellen 4 bis 6 ist der Investitionsbedarf für DWC- und NFT-Systeme dargestellt. Es sind Nettopreise (ohne MwSt.) und beinhalten die Installation. Die Datenerhebung erfolgte durch finanzielle Unterstützung des von Bund und Ländern geförderten KTBL-Arbeitsprogramms „Kalkulationsunterlagen“. Die Daten basieren auf Angeboten von Herstellern und ausgewerteten abgeschlossenen Bauvorhaben.

In den Tabellen 5 und 6 ist der Investitionsbedarf, am Beispiel einer 1 ha großen Anlage, in seine Komponenten unterteilt worden. Die angegebenen Werte können als Richtwerte fungieren, ersetzen aber nicht im Einzelfall eine Projektierung und die genaue Kalkulation mit eingeholten Angebotspreisen. Um die Kostendegression bei größeren Anlagen zu berücksichtigen, wurden unterschiedliche Standardgrößen angenommen.

Tab. 4: Investitionsbedarf für die Systeme Deep Water Cultivation (DWC) und Nutrient Film Technique (NFT)

Systemkomponenten	DWC			NFT		
	Größe der Kulturelfläche			Größe der Kulturelfläche		
	1 ha	2,5 ha	5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha
	Investitionsbedarf in €			Investitionsbedarf in €		
Summe hydroponisches System	581.104	1.089.570	1.888.588	1.300.000	2.437.500	4.225.000
Summe Nährlösungsmanagement	198.500	372.188	645.125	198.500	372.188	645.125
<b>Gesamtkosten</b>	<b>779.604</b>	<b>1.461.758</b>	<b>2.533.713</b>	<b>1.498.500</b>	<b>2.809.688</b>	<b>4.870.125</b>
<b>Gesamtkosten pro ha</b>	<b>779.604</b>	<b>584.703</b>	<b>506.743</b>	<b>1.498.500</b>	<b>1.123.875</b>	<b>974.025</b>

Tab. 5: Beispiel eines 1 ha großen Deep Water Cultivation (DWC)-Systems

Komponenten	Einheit	Betrag in €/Einheit	Preis in €/ha
<b>Hydroponisches System</b>			
Beckenstruktur	m <sup>2</sup>	9,38	93.842
Beckeneinlagen	m <sup>2</sup>	5,49	54.911
Wasserleitung inklusive Pumpen und Filter	m <sup>2</sup>	4,56	45.573
Kulturflöße	m <sup>2</sup>	30,09	300.860
Floß-Rücksystem	m <sup>2</sup>	8,59	85.918
Floß-Fördersystem	m <sup>2</sup>	11,14	111.384
<b>Summe hydroponisches System</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>58,11</b>	<b>581.104</b>
<b>Nährlösungsmanagement</b>			
Pumpenanlage mit Steuerkasten und automatischer Steuerung inklusive Anschlussmaterial und Montage	m <sup>2</sup>	5,00	50.000
Verrohrung und Ventile	m <sup>2</sup>	1,35	13.500
Dosiereinheit (A/B-Stammlösung) inklusive mechanischer Automatikfilter	m <sup>2</sup>	12,00	120.000
Wasserreservoir	m <sup>2</sup>	1,50	15.000
<b>Summe Nährlösungsmanagement</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>19,85</b>	<b>198.500</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>77,96</b>	<b>779.604</b>

Tab. 6: Beispiel eines 1 ha großen Nutrient Film Technique (NFT)-Systems

Komponenten	Einheit	Betrag in €/Einheit	Preis in €/ha
<b>Hydroponisches System</b>			
NFT-System (inklusive Rinnen, nivelliertes Ständerwerk, Rinnentransportsystem für veränderbare Reihenabstände, Wasserleitungen inklusive Pumpen und Filter)	m <sup>2</sup>	130,00	1.300.000
<b>Summe hydroponisches System</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>130,00</b>	<b>1.300.000</b>
<b>Nährlösungsmanagement</b>			
Pumpenanlage mit Steuerkasten und automatischer Steuerung inklusive Anschlussmaterial und Montage	m <sup>2</sup>	5,00	50.000
Verrohrung und Ventile	m <sup>2</sup>	1,35	13.500
Dosiereinheit (A/B-Stammlösung) inklusive mechanischer Automatikfilter	m <sup>2</sup>	12,00	120.000
Wasserreservoir	m <sup>2</sup>	1,50	15.000
<b>Summe Nährlösungsmanagement</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>19,85</b>	<b>198.500</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>149,85</b>	<b>1.498.500</b>

Der Investitionsbedarf für die Gewächshaushülle und Inneneinrichtung, für die Wärmeerzeugung und -verteilung und für die Zusatzeinrichtungen von Gewächshausanlagen kann mit dem KTBL-Kalkulationsprogramm „BauKost-Gewächshäuser“ online ([www.ktbl.de/webanwendungen/baukost-gewaechshaeuser](http://www.ktbl.de/webanwendungen/baukost-gewaechshaeuser)) berechnet werden.

Um eine effiziente Produktion erreichen zu können, empfiehlt es sich, zusätzlich zu den Investitionen in das Kultursystem, Arbeitsabläufe weitestgehend zu automatisieren. Sowohl einige Systemanbieter als auch Spezialfirmen der Automatisierungstechnik bieten hier vielfältige und auf die Produktionsvolumina abgestimmte Lösungen. Um Größenordnungen für die verbundenen Investitionskosten zu liefern, wurden in Tabelle 7 einige Automatisierungsoptionen zusammengestellt. Zudem ist für eine ganzjährige Marktpräsenz außerhalb der Freiland-saison eine Belichtungsanlage mit einer Lichtintensität von 100 bis 130  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  innerhalb des PAR-Spektrums (photosynthetisch aktive Strahlung) unabdingbar.

Tab. 8: Auswahl von Herstellern und Anbietern hydroponischer Systeme

Hersteller	Internetauftritt	Angebotene Systeme
Bosman van Zaal	<a href="https://www.bosmanvanzaal.com/de/">https://www.bosmanvanzaal.com/de/</a>	DWC, NTF
Bato Plastics B.V.	<a href="http://www.bato.nl/">http://www.bato.nl/</a>	NFT
Botman Hydroponics B.V.	<a href="http://www.botmanhydroponics.com">http://www.botmanhydroponics.com</a>	DWC
Dry Hydroponics B.V.	<a href="http://www.dryhydroponics.nl/">http://www.dryhydroponics.nl/</a>	DWC
Growponics Ltd.	<a href="http://www.growponics.co.uk/">http://www.growponics.co.uk/</a>	DWC
Havecon Horticultural Projects	<a href="https://havelettuce.com/">https://havelettuce.com/</a>	NFT (MGS)
Industrial Product Solutions BV	<a href="https://www.industrialproductsolutions.nl/en/home/">https://www.industrialproductsolutions.nl/en/home/</a>	DWC/NFT
Viemose DGS	<a href="https://viemose-dgs.dk/de//">https://viemose-dgs.dk/de//</a>	NFT
Viscon HQ	<a href="http://www.viscongroup.eu/">http://www.viscongroup.eu/</a>	DWC/ NFT (MGS)

DWC = Deep Water Cultivation NTF = Nutrient Film Technique MGS = Mobile Gutter System

## Literatur

Domke, O. (2006): Bewässerungsdüngung EC-kontrolliert und -geregelt. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 719, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Frantz, J.; Welbaum, G. (1998): Producing horticultural crops using hydroponic tobacco transplant systems. HortTechnology 8, pp. 392–395

Illert, S. (2020): Die kleine Marktstudie: Kopfsalat. Gemüse 3, S. 56–58

Jensen, M.; Collins, W. (1985): Hydroponic vegetable production. Hort. Review 7, pp. 483–558

Koch, M. (2019): Die kleine Marktstudie: Eissalat. Gemüse 8, S. 48–50

Massantini, F. (1976): Floating hydroponics: A method of soilless culture. In Proc. 4th Intern. Congress on Soilless Culture, Las Palmas, Canary Island, Spain, pp. 91–98

Rogge, B. (2018): Die kleine Marktstudie: Endivien. Gemüse 5, S. 46–47

Savvas, D.; Passam, H. (2002): Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens, Greece

Schmitt A. (2015): Basilikum im Deep-Flow-System. Mit wenig Aufwand zum grünen Gold. Gemüse 9, S. 20–23

Tab. 7: Zusatzausstattungen für hydroponische Systeme

Komponenten	Einheit	Betrag €/Einheit
<b>LED-Belichtung</b>		
LED-Leuchten	m <sup>2</sup>	250,00
Elektrische Installationen	m <sup>2</sup>	5,50
<b>Arbeitsbereich</b>		
Erntelinie	St	106.750
Waschmaschine für FlöBe/Rinnen	St	112.000
Umpflanzgerät für Traypflanzen	St	92.500

## 6 Hersteller und Anbieter von hydroponischen Systemen

Die Zusammenstellung in Tabelle 8 wurde auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen ausgearbeitet, gibt keine Wertung ab und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Thompson, H.; Langhans, R.; Both, A.; Albright, L. (1998): Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. Journal of the American Society for Horticultural Science ASHS 123, pp. 361–364

Viehweg, F.J. (2000): Regensammelbecken. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 695, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Wohanka, W.; Domke, O.; Schmidt, J. (2015): Entkeimung von Nährlösung oder Gießwasser – Verfahren, Einsatzbereiche und Bewertung. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0738, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet.

© KTBL 2022

Herausgeber und Druck  
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon: +49 6151 7001-0 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de) | [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

# Veröffentlichungen zum Thema Gartenbau

**KTBL**



## **Gemüsebau**

2017, 652 S., 26 €, Best.-Nr. 19521

Die Datensammlung Gemüsebau beinhaltet Produktionsverfahren für eine Vielzahl an Kulturen, die mit den relevanten Verfahrensschritten beschrieben werden. Vom Anbau über Ernte bis hin zum Transport zur jeweiligen Verwertung – für jede Kultur werden Anbauhinweise mit Angaben zu Maschinenkosten, Arbeitszeitbedarf und Dieselbedarf gegeben. Auch in der Praxis weniger verbreitete Kulturen werden berücksichtigt.



## **Obstbau Produktionsverfahren planen und kalkulieren**

2022, 5. Aufl., 272 S., 26 €, Best.-Nr. 19529

Die Datensammlung bietet produktionstechnische, betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulations- und Planungsdaten von der Neuanlage über die Bestandesführung bis hin zur Lagerung und Vermarktung des Obstes. Für Kern-, Stein- und Beerenobstarten sind Planungsrechnungen exemplarisch aufgeführt.



Rath, T.; Lüttmann, R.:

## **Verfahrenstechnik und rechtliche Einordnung der Mikroalgenproduktion im gärtnerischen Betrieb**

2020, 12 S., 5 €, Best.-Nr. 26741

In diesem Arbeitsblatt werden aufgrund aktueller Literatur, die zur Produktion von Algen eingesetzten Produktionssysteme beschrieben, die Algen mit ihren Erzeugnissen dargestellt und die Algenproduktion als Betriebszweig des Gartenbaus definiert. Es richtet sich an Mitarbeiter von Genehmigungsbehörden, aber auch gezielt an Gärtner, die sich für das Thema Mikroalgenproduktion interessieren.



## **Bewässerungs- und Düngungssysteme im Gartenbau**

2018, 56 S., 9 €, Best.-Nr. 40121

Dieses Heft bietet Mitarbeitern von Genehmigungsbehörden, Wasserversorgungsunternehmen und Gärtnern Informationen, welchen Anforderungen die Anlagen zur Lagerung und Verteilung von flüssig ausgebrachten Düngern aus wasserwirtschaftlicher Sicht genügen müssen und wie bestehende Anlagen beurteilt werden können – kurz, wie sich die rechtlichen Anforderungen in der Praxis umsetzen lassen.

## **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](mailto:vertrieb@ktbl.de)

➤ **Das weitere Angebot  
finden Sie unter  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)**