

Actual State and Practical Use
of the Factory-Style
Plant Production System in Germany

Bernd Geyer

Actual State and Practical Use of the Factory-Style Plant Production System in Germany

B. Geyer

Institut for Horticultural Science, Humboldt University Berlin, Germany

1. Einführung

Produktionsanlagen in der Art von Pflanzenfabriken für Gemüse haben in Nordeuropa eine lange Tradition. Der Aufbau derartiger Anlagen begann in Norwegen bereits 1980. Er war unmittelbar mit der Entwicklung hydroponischer Verfahren zur Produktion von Gemüse, insbesondere mit der Nutrient-Film-Technology verbunden. Derzeit gibt es in Nord- und Mitteleuropa (Norwegen, Finnland, Schweden, Dänemark, Holland, Belgien und Deutschland) etwa 15 Gemüsefabriken für die Produktion von Kopf- und Blattsalaten sowie Kräutern. Eine dieser Gemüsefabriken produziert in Germany nach einer Aufbauzeit von nur 3 Monaten seit Januar 1992 auf einer Fläche von 1 ha als Hauptprodukt Topfsalat. Diese Anlage und gesammelte Erfahrungen, auch aus zwei belgischen Fabriken, die seit 1995 produzieren, werden vorgestellt. Gemessen an der Bedeutung von Salatgemüse in beiden Ländern ist die Produktion in derartigen Anlagen derzeit noch unbedeutend (Table 1).

Table 1. Head lettuce growing in Germany and Belgium.

Country \ Production Area (ha)	Open Air	Glass	Factory-Style
Germany	3823	191	1,0
Belgium	754	291	2,8

Die gesamten Produktionsfläche (5 crops/year) in Gewächshäusern ergibt 955 ha in Germany and 1455 ha in Belgien. Für Topfsalat sind die Produktionsflächen in Gemüsefabriken (to 20 harvest cycles/year) mit etwa 20ha in Germany and 56 ha in Belgien noch gering.

Dennoch ist zu erwarten, daß sich der Trend zur Ausweitung des Anbaus in Gemüsefabriken fortsetzen wird.

Das ist begründet:

1. In den großen Entwicklungsmöglichkeiten dieser fortgeschrittenen Pflanzenproduktionssysteme.
2. In der Möglichkeit zur ganzjährigen einheimischen Produktion.
3. In der wachsenden Ansprüchen der Verbraucher in Industrieländern an die Qualität und Unbedenklichkeit (frei von Schadstoffen) des Lebensmittels Gemüse.
4. Durch das Gemüseprodukt selbst.

In derartigen Anlagen wird ein völlig neues Gemüseprodukt, bisher vorwiegend Topfgemüse, produziert. Auch diese Bezeichnung ist nicht exakt, denn auf den Topf als Umhüllung kann auch verzichtet werden. Besser wäre deshalb, und es charakterisiert das Produkt besser, den Begriff Lebendgemüse zu verwenden.

2. Lebendgemüse

Bei Lebendgemüse handelt es sich um völlig intakte Pflanzen (Salate oder Kräuter), die noch mit einem kompletten Wurzelsystem ausgestattet sind. Dadurch ist es möglich, sie frisch bis zum Verbraucher zu bringen und dort auch zu erhalten. Die eigentliche Ernte des zu verzehrenden Gemüses erfolgt erst beim Verbraucher durch diesen selbst.

Durch die Erzeugung in Gemüsefabriken unter streng kontrollierten Bedingungen zeichnet sich das Lebendgemüse durch folgende Eigenschaften aus:

- Es ist frisch und sauber.
- Es kann mindestens eine Woche beim Handel oder Verbraucher frisch gehalten werden
- Es welkt in dieser Zeit nicht.
- Die Warenverluste beim Handel sind sehr gering.
- Es ist frei von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln.
- Es hat einen niedrigen Nitratgehalt.
- Es enthält keine Fremdstoffe (Schwermetalle und andere Verunreinigungen) aus dem Boden, aus dem Wasser oder aus der Luft.
- Es kann beim Verbraucher weiter wachsen.
- Es kann folgernd nach Bedarf verbraucht werden.

Durch diese Eigenschaften werden auch die Vorbehalte deutscher Verbraucher gegen erdelos produzierte Gemüse in den Hintergrund gedrängt.

Bisher sind folgende Gemüse und Kräuter angebaut worden:

Kopfsalat/Head lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*)

Pflücksalat/Crisp lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Lollo Rosso, Lollo Bionda, Salad Bowl...

Römer Salat/cos lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*)

Petersilie/Parsley (*Petroselinum crispum*)

Liebstöckel/Lovage (*Levisticum officinale*)
 Salbei/Sage (*Salvia officinalis*)
 Koriander/Coriander (*Coriandrum sativum*)
 Pfefferminze/Peppermint (*Mentha piperita*)
 Zitronenmelisse/Balm (*Melissa officinalis*)
 Basilikum/Basil (*Onicum basilicum*)
 Dill/Dill (*Anethum graveolens* var. *hortorum*)
 Schnittlauch/Chives (*Allium schoenoprasum*)
 Thymian/Garden Thyme (*Thymus vulgaris*)
 Rucola/Rocket (*Eruca sativa*)
 Oregano/Oregano (*Origanum vulgare*)

Alle diese Produkte sind so sauber, daß ein Waschen vor dem Verzehr entfallen kann. In Deutschland werden die Produkte unter dem Logo "GREEN FEE" vertrieben. Eine Fee ist eine schöne, gute, weibliche Märchengestalt, die verbunden mit der Farbe grün die Lebendpflanzen sehr gut charakterisiert.

3. Das Produktionssystem in Germany

Die in Deutschland seit 1992 betriebene Anlage umfaßt eine Gewächshausfläche von 10,000m². Das verwendete Produktionssystem ist wie folgt gekennzeichnet:

- Anzucht, Kultur und Ernte des Gemüses in kleinen Plastic Pots.
- Kultivierung der Pflanzen in beweglichen Plastic channels in Arbeitshöhe.
- Vergrößerung der Abstände zwischen den Rinnen mit zunehmendem Wachstum.
- Nährstoff und Wasserversorgung durch rezirkulierende Nährlösung nach dem NFT- Verfahren
- Steuerung der Klimafaktoren Wasser, Temperatur, Licht, CO₂ nach den Ansprüchen der Pflanzen.
- Keine Verwendung von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln.

Das Gewächshaus besteht aus 8 Häusern, die jeweils 100m lang und 12.5m breit sind. In 6 nur durch die Stützen getrennten Häusern werden Fertigpflanzen produziert. Zwei weitere untereinander verbundene Häuser dienen der Jungpflanzenanzucht. Sie sind durch eine Stehwand von den Häusern mit den Produktionslinien getrennt. In ihnen befinden sich auch die Saatstraße, der Keimraum, die Umpflanz- und Erntestation sowie die Nährlösungsaufbereitung (Abbildung 1).

Kernstück der Anlage sind die 6 Fertigpflanzenhäuser. In ihnen bewegen sich die Channels und die Nährlösung im Kreislauf. Auch die Pflanzen sind mobil und durchlaufen die Produktionsanlage in Arbeitshöhe nach dem folgenden Schema (Abbildung 2).

3.1 Fertigpflanzenerzeugung

Zur Erzeugung von Fertigpflanzen bewegen sich mit Jungpflanzen bestückte an beiden Seiten offene, lichtundurchlässige Plastic Channels durch das Gewächshaus. Wie in einer Fabrik ist der Produktionsgegenstand mobil und bewegt sich durch die voll klimatisierte Produktionslinie. Das entstandene Finalprodukt ist in diesem Fall eine lebende Pflanze.

Die Fertigpflanzenerzeugung beginnt, indem die Rohprodukte (Jungpflanzen in channels) an einem Ende des Fertighauses auf Tischbeete in Arbeitshöhe aufgesetzt werden. Dazu werden sie automatisch von einem an der Stirnseite aller Anzucht- und Fertighäuser verlaufenden Metallglieder-Förderband geschoben. In der vorgesehenen Kulturzeit von 15 bis 20 Tagen bewegen sie sich 100 m bis zum anderen Hausende. Dabei ruhen sie auf 1,5 m auseinander liegenden Aufliegern aus Aluminium. Diese sind angeordnet, daß die quer zum Haus aufliegenden 11,6 m langen channels ein Gefälle von 1,5 % aufweisen. Dadurch ist es möglich am höherliegenden Ende drucklos Nährlösung einlaufen zu lassen. Bedingt durch das Gefälle fließt diese durch die channels und läuft an deren anderen Ende in eine Sammelrinne. Während des Wachstums der Pflanzen in der Produktionslinie wird der Abstand zwischen den channels so verändert, daß die Gewächshausfläche stets optimal ausgenutzt wird.

Die Pflanzen haben damit auch immer eine optimale Bestandesdichte. Sobald eine channel zur Ernte der Pflanzen aus dem Haus entnommen wird, wird am anderen Ende eine bepflanzte channel zugeführt.

Varying plant distance

Die Bestandesdichte kann in vielfacher Weise verändert werden. Sowohl durch Variation der Pflanzenabstände in den Channels als auch zwischen den Channels. In the Channels erfolgt dies in folgender Art und Weise.

1. Durch verschiedene Abstände der Pflanzlöcher in den Rinnen, diese variieren zwischen 9 und 24 cm.
2. Durch unterschiedliches Belegen der Pflanzlöcher in den Rinnen (gleichmäßige Abstände, Doppelreihen, Dreifachreihen...).
3. Durch nochmaliges Umsetzen der Pflanzen in den Rinnen beim Durchlaufen der Linien (wird bisher aber nur in Versuchsanlagen praktiziert).

Zwischen den Channels wird der Abstand durch automatisches Auseinanderrücken der Channels kontinuierlich vergrößert.

Das wird mit verschiedenen technischen Lösungen realisiert. In der deutschen Anlage befindet sich neben jedem zweiten Auflieger eine Kette mit Mitnehmern unter den Channels. Der Abstand der Mitnehmer bestimmt den Abstand der einzelnen channels untereinander. Die Channels stehen anfangs ohne Zwischenraum auf den Tischen.

Das ergibt einen Pflanzenabstand zwischen den Reihen von 7,6cm. Beim Transport

der Channels durch das Haus wird dieser in 17 Schritten bis zum Ende der Linie um 18 cm auf 25,6 cm erweitert.

Die Pflanzen stehen immer so dicht wie möglich und werden nur soweit auseinandergerückt, wie es der Zuwachs der Blattfläche erfordert.

Die Bestandesdichte verringert sich dabei bei Blattsalat von anfangs 88 Töpfen/m² auf 26 Töpfe/m².

Für jede Pflanzenart und Sorte muß dabei die günstigste Bestandesdichte unter den jeweiligen Standortbedingungen erforscht und optimiert werden. Einerseits müssen die Pflanzen zwecks Ausnutzung der wertvollen Gewächshausfläche so dicht wie möglich stehen. Durch ausreichend weite Abstände der Pflanzen in den Channels und der Channels untereinander kann andererseits der Befallsdruck mit Pilzen vermindert aber auch die Wuchsform sowie das Pflanzengewicht beeinflusst werden. In Belgien wird so bereits Kopfsalat mit Kopfgewichten von 400g erzeugt.

Bei den technischen Systemen zum Auseinanderrücken der Channels sind auch andere Lösungen bekannt.

1996 wurde in Germany damit begonnen, die Ketten durch mit Stiften besetzte drehbare Gestänge zu ersetzen. Mit senkrecht gedrehten Stiften können die Channels nach vorn bewegt werden und mit waagerechten Stiften die Gestänge zurück gefahren werden. Dieses System hat sich gut bewährt. Es löste auch in anderen Anlagen den aus Schweden bekannten, über den Pflanzen fahrenden gleisgebundenen Rückautomaten ab. Alle Ausrüstungen über den Pflanzen sind wegen der von ihnen ausgehenden Beschattung der Pflanzen grundsätzlich auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Noch einfacher ist das in einer belgischen Anlage verwendete Mitnehmersystem mit Kipphebeln in einer beweglichen Schiene unter den Tischen. Wird die Schiene nach vorn bewegt, nehmen die Hebel die Channels mit, während sie bei Rückwärtsbewegung unter diesen hinweggleiten.

Am Ende der Produktionslinie werden die Channels mit den Fertigpflanzen zur Ernte nach Bedarf wiederum auf ein quer verlaufendes Metallglieder-Förderband gerückt und zur Erntestation bewegt.

Die am Beginn der Produktionslinie freigewordene Fläche wird sofort mit einer neuen Channel belegt.

Table 2. The examples of planting density

	Plant distance in rows (cm)	Plants per row	Plant distance between rows (cm)	Number of plants per m ²
Young plants	9	127	7.6	146.2
	12	96	7.6	109.6
	15	77	7.6	87.7
	24	47	7.6	54.8
Harvest time	9		12	92.6
	12		18	46.3
	12		24	34.7
	12		25.6	32.5
	15		25.6	26.0
	24		24	17.4
	24		25.6	16.3
	24		30	13.9

The continous NFT-system

Die Pflanzen werden nach dem bewährten System der Nutrient-Film-Technology mit Nährlösung versorgt. Die Rinnen sind dazu an einer Stirnseite geschlossen, haben dafür aber eine über die gesamte Breite reichende obere Öffnung für den Nährlösungszulauf.

Über diesen Öffnungen hängen dünne Schläuche, aus denen die Nährlösung herausfließt. Die Schläuche sind mit einem Rohrstrang verbunden, der längs der Binder des Gewächshauses verläuft. Somit verbleibt nur ein Zwischenraum von etwa 40 cm längs der Stützen als Kontrollgang.

Die Schläuche sind so angeordnet, daß sich jeweils mindestens eine Zuführung über jeder Rinnenöffnung befindet. Auf dem Weg zwischen Schlauch und Rinne kann die Nährlösung dabei sogar noch Sauerstoff aufnehmen.

Beim Verbreitern der Rinnenabstände werden einzelne Schläuche verschlossen oder die Nährlösung läuft in eine darunter befindliche Sammelrinne. Es ist günstig, die Nährlösungszuführung je Linie in mehrere Abschnitte aufzuteilen. Jedes Haus wird jetzt auf 5 einzeln zu steuernde Abschnitten/Linie (100 m) mit 120 Schläuchen/Abschnitt umgerüstet. Das ergibt einen mittleren Abstand der Einlaufschläuche von 16.6 cm. Die Linien in Belgien mit einer Länge von 130m verfügen über 7 Abschnitte. Durch die Unterteilung ist kann die Nährlösungsversorgung sicherer und besser dem Bedarf der Pflanzen angepaßt werden. Dieser wird mit 5 x 2 Liter/Tag zu Beginn der Linie und mit 30 bis 50 x 2

Liter/Tag am Ende, kurz vor der Ernte angeben.

Die aus der geneigten Channel an deren offenem Ende ausfließende, überschüssige Nährlösung wird von einer Sammelrinne aufgenommen und zurückgeführt.

In Germany wird sie dabei lediglich in einem Sandfilter gereinigt und aus Vorratsbehältern ergänzt. Schmutz in den Sammelrinnen wird in bestimmten Abständen durch Wasser herausgespült.

In den Anlagen von Swedeponic wird die rezirkulierende Nährlösung in 3 Stufen gereinigt.

First it goes through a sand filter. From this the nutrient solution to be treated flows through a active carbon filter less pressure. Finally the nutrient solution flows through a UV disinfection chamber. In the disinfection cylinder (240 nm) a disinfecting capacity of 100mJ/cm² is realized. From the disinfection cylinder the nutrient solution is finally pumped to a tank and from there to the channels.

Die Tanks befinden sich unter der Erde.

Außer den üblichen Ergänzungen der Nährstoffe ist bei der UV-disinfection die Immobilisation von Fe und die Mobilisation von Mn aus dem Topfsubstrat zu beachten.

Es wird empfohlen, mehrere Nährlösungs-Kreisläufe zu installieren. Bei einem hohen Anteil an Kräutern, wie bei Swedeponic in Belgien, sind mindestens zwei erforderlich.

Damit können die unterschiedlichen Anforderungen von Salat (EC 1.5-2.2 mS/cm) oder Kräutern (EC 2.5-3.0 mS/cm) besser realisiert werden.

Mehrere Nährlösungskreisläufe machten es auch möglich, durch Reduzierung des Gehaltes an Nitrat in der Nährlösung kurz vor der Ernte, die strengen Grenzwerte für Nitrat bei Salat besser einzuhalten. Der Grenzwert liegt in Germany im Winter für Salat bei 3,500ppm, er ist in anderen Ländern aber höher.

Damit würde das Image von Lebendgemüse, als eines der gesündesten und unbelastetsten Lebensmittel weiter gehoben und für einen steigenden Absatz genutzt werden können.

Light intensity

Für eine zusätzliche Belichtung ist das Gewächshaus mit etwa 3,000 Leuchten ausgestattet. Jede dieser Leuchten enthält eine Sodium high-pressure lamp mit einer Leistung von 400 Watt. Das ergibt eine installierte Leistung von mehr als 80 Watt/m². Für alle Häuser sind die gleichen Lampen und Leistungen installiert.

Die Anordnung erfolgte quer zum Gewächshaus jeweils zwischen den Stützen. Über jeder Leuchtenreihe mit 9 Lampen ist ein Energieschirm angeordnet.

Die Gewächshauskonstruktion und die große Dichte der Leuchten und Energieschirme bewirken eine starke Beschattung. Eine Zusatzbelichtung von bis zu 20 h/day ist deshalb im Winter erforderlich. Bei Salat ist dabei aber bereits mit

marginal nekrosis zu rechnen.

In den Anlagen in Belgien wurden bereits bessere Lösungen gefunden oder werden noch erprobt. Dazu gehört auch, Lampen mit einer etwa 20% besseren Lichtausbeute von 140 Lumen/W zu verwenden (Auf solche Lampen wird auch in Germany umgerüstet).

Die geringere Anzahl Leuchten sind auch höher angeordnet als in der deutschen Anlage. Die Energieschirme befinden sich nur an den Stirnseiten der Gewächshäuser und beschatten diese weniger. Im European Vegetable R&D Centre wurden auch gute Erfahrungen mit unterschiedlichen Lichtintensitäten von ca. 40 Watt/m² am Beginn der Linie bis ca. 100 Watt/m² am Ende der Linie gemacht.

Denkbar ist auch durch höhere Blaulichtanteile die starke Streckung mancher Pflanzen, die dadurch leicht auseinanderfallen, zu reduzieren.

Temperature

Die günstigsten Temperaturen für die angebauten Arten liegen tags bei 17°C und nachts bei 10 bis 15°C. Bei Lollo Rosso werden noch niedrigere Temperaturen empfohlen.

Da ca. 80% der installierten elektrischen Leistung in Wärme umgewandelt werden, sind die Lampen die wichtigste Wärmequelle.

Zusätzlich wird Wärme durch Verbrennen von sauberem Erdgas in sogenannten CO₂-Kanonen direkt im Gewächshaus erzeugt. Durch zusätzliche Ventilatoren werden CO₂ und die warme Luft im Gewächshaus verteilt. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen, wie sie 1995/96 auftraten, mußten diese Brenner aber sehr lange betrieben werden. Dadurch traten sehr hohe CO₂-Konzentrationen von >3000ppm auf. Günstiger ist deshalb eine zusätzliche Heizung. Mit dieser können auch unterschiedliche Ansprüche der Pflanzen an die Temperatur besser geregelt werden. Bei Swedeponic in Belgien sind auch die Fertigungshäuser für Kräuter von denen mit Salat getrennt. Kräuter werden bei 2-3°C höheren Temperaturen als Salat kultiviert (Basel sogar bei 20°C). Die Heizungsschläuche befinden sich deshalb im Gegensatz zur Salatproduktion unter den Channels.

Eine Absenkung der Temperatur erfolgt allgemein durch Lüften oder Ausfahren der Energieschirme. Die Einstrahlung kann damit um 55% reduziert werden. Zusammen mit einer klimatisierenden Beregnung kann die Gewächshaustemperatur damit um 5°C abgesenkt werden.

CO₂-Versorgung

Wie bereits erwähnt, erfolgt die CO₂-Versorgung über die Verbrennung von Erdgas im Haus. Bei geschlossenen Häusern werden dabei Konzentrationen von 700-800 ppm angestrebt. Bei Lollo Rosso werden zur besseren Ausfärbung dreifach höhere Gehalte empfohlen. Im Sommer erfolgt bei geöffneten Lüftungsklappen keine

zusätzliche CO₂-Versorgung.

Die belgischen Anlagen sind mit einer externen CO₂-Versorgung ausgestattet. CO₂ wird dort über dünne perforierte Schläuche zugeführt. Die Schläuche liegen unter den Channels direkt auf dem Boden und führen durch das ganze Haus.

Relative Humidity

Die Einhaltung einer ausreichend hohen RH wird wichtiger als die der Lufttemperatur angesehen. Angestrebt werden mindestens 65% RH, als optimal werden 75% angegeben. Zur Erhöhung der RH verlaufen längs der Stützen im Gewächshaus Befeuchtungsanlagen. Zusammen mit den Energieschirmen (am Tag Sonnenschutz mit nur 55% Durchlässigkeit) läßt sich damit die RH gut regulieren.

In den Häusern mit Herbs kann die RH um 5% höher sein als in denen mit Salat. Auch aus diesem Grund ist eine Trennung der Linien mit Salat oder Herbs, wie in Belgien praktiziert, sinnvoll.

3.2. Sowing and Nursery

Die Pflanzenproduktion beginnt mit einer Aussaatlinie im vorderen Teil des ersten Gewächshauses. Automatisch werden Paletten aus Polystyren (40 x 60 cm) auf ein Förderband abgesetzt und mit 54 VEFI Plastic Pots bestückt. Diese konischen Töpfe sind sehr dünnwandig, 5 cm hoch und haben oben einen Innendurchmesser von 5,5 und unten von 3,5 cm. Im unteren Teil reichen 0,4cm breite und 2,5 cm lange Schlitz bis in den Topfboden. Das soll einen guten Kontakt zur Nährlösung sichern.

Der Topf hat einen 0,4 cm breiten Rand, an dem er später im NFT Channel hängt.

Ein Füllautomat befüllt die Töpfe mit Torf als Substrat. Besät werden die Töpfe in einem Automaten über eine Schlauchablage.

Die Anzahl der ausgelegten trockenen Samen hängt von der Art der Pflanzen ab und reicht von 1 (Kopfsalat) : 2 (Blattsalat) über 35 (Lovage) bis zu 70 (Chives) je Topf. Nach der Aussaat werden die Paletten befeuchtet und manuell in Etagenwagen abgesetzt. In diesen Etagenwagen gelangen die besäten Töpfe in einen Keimraum, in dem bei 20°C und 90% RH die Keimung erfolgt.

Nach der Keimung werden die Paletten in einem der zwei angrenzenden Häusern auf Rollbahnen abgestellt. Diese zwei Anzuchthäuser sind durch eine Wand von den angrenzenden 6 Häusern mit den Produktionslinien getrennt. Die Rollbahnen sind jeweils 6m breit und befinden sich rechts und links vom Mittelweg. Ursprünglich waren die Rollbahnen als schiefe Ebene ausgestaltet. Dadurch rollten die Paletten automatisch nach, sobald eine entnommen wurde.

Die Versorgung der Jungpflanzen mit Wasser und Nährstoffen erfolgt mit einem über den Paletten fahrenden Gießwagen.

In den belgischen Anlagen konnten folgende Neuheiten und Veränderungen beobachtet werden.

Bei Swedeponic wird bei Salat nicht mehr der trockene Samen ausgesät. Die Salatsamen werden vorbehandelt, indem sie vor der Aussaat 20-24 h in belüftetem Wasser bei 18°C gequollen werden. Damit verkürzt sich die Auflaufzeit, die Anfälligkeit gegen Pilzinfektion nimmt ab und die Produktionssicherheit nimmt zu. Die besäten Töpfe werden in stapelbare Kunststoff Trays abgesetzt, die übereinander gestapelt in den Keimraum gelangen. Nach der Keimung gelangen die Trays zu 12 Stück auf Paletten, die auf Rollbahnen durch die Jungpflanzenhäuser bewegt werden können.

Für die Eigenproduktion der Jungpflanzen werden zwischen 14 und 20% der Gewächshausfläche benötigt. Dieser Flächenbedarf kann durch Zukauf der fertigen Jungpflanzen enorm reduziert werden.

In der zweiten belgischen Anlage wird so gearbeitet. Die zugekauften Jungpflanzen weisen noch eine Besonderheit auf. Sie sind nicht getopft und besitzen lediglich einen Preßballen. Dadurch ist zwar der Substratbedarf höher, die Kosten für den Topf entfallen aber. Das Fertigprodukt, die Lebendpflanze, ist dann auch zu 100% kompostierungsfähig. Der Arbeitskräftebedarf der Pflanzenfabrik ist bei Kauf der Jungpflanzen geringer, in der Nursery bleiben die Pflanzen etwa 20 Tage. Bevor die fertigen Jungpflanzen in die Produktionslinie für Fertigpflanzen gelangen, müssen sie in die NFT Channels umgesetzt werden.

3.3. NFT-Channels

Die NFT Channels sind 11.6m lange Vierkantrohre, die 7 cm breit und 6 cm hoch sind. Sie bestehen aus weißem Acrylnitril-Butadien-Styren-Copolymer (ABS). Sie sind dadurch temperaturstabil und können zur Desinfektion gedämpft werden. Sie sind weiß aber nicht lichtdurchlässig. Sie besitzen unterschiedlich geformte Enden. Die Seite, die an der Nährlösung einlaufen kann ist an der Stirnwand geschlossen und hat oben eine große Öffnung. Am anderen Ende fehlt die Stirnwand, dafür ist eine V-förmige Auslaufrinne ausgebildet.

Die Channels haben oben runde Öffnungen für die VEFI Pots von genau 5.5 cm Durchmesser.

Standardisierte Abstände der Öffnungen in der Rinne sind 9, 12, 15 oder 24 cm. In einem Channel finden somit zwischen 47 und 127 Töpfe Platz.

3.4. Bepflanzen der Channels

Zum Bepflanzen der Channels werden die Töpfe manuell mit einer 5.5 cm breiten Gabel herausgeschoben und fallen im gewünschten Abstand in die Öffnungen der Rinnen. Dabei hängen sie mit ihrem 0.4 cm breiten Rand auf den Rinnen und decken

die Öffnung vollständig ab.

In Germany wurde mehrere Jahre eine automatisches Umtopfsystem erprobt. Auf einem Rollenband rollten die Paletten mit Jungpflanzen zum Umtopfen. Im Automaten wurden die Töpfe durch Löcher in den Trays leicht nach oben gedrückt. Greifer hoben sie danach am Topfrand aus der Palette heraus, drehten sie um 90° und setzen sie in die Channels ab. Die Channels wurden auf einem längs zur Gewächshauswand des Jungpflanzenhauses verlaufendem Förderband zum Automaten bewegt. Mittels eines Drehgestells wurden die bepflanzten Channels am Ende des Gewächshauses um 90° quer zum Gewächshaus gedreht und auf das quer zu den Fertigungshäusern verlaufende Förderband abgesetzt.

Dieses System hat sich nicht bewährt und wurde inzwischen abgelöst. Folgende Gründe sind dafür anzuführen. Der Platzbedarf war sehr hoch. Allein das Drehgestell benötigte eine unproduktive Gewächshausfläche von etwa 200m². Beim Umtopfen erfolgte keine Selektion der Jungpflanzen. Der Umtopfautomat war störanfällig. Eine Person mußte ständig kontrollieren.

Die etwa 250 Channels täglich werden derzeit, wie in anderen Anlagen auch manuell beschickt. Getopfte Jungpflanze werden dabei mit der Gabel umgesetzt. Jungpflanzen ohne Topf werden per Hand in die Channels abgestellt. Dabei werden kranke Pflanzen und nicht bestellte Töpfe, falls dies nicht schon vorher erfolgte, ausgesondert.

Interessant ist dabei die Feststellung, daß auch bei topflosen Pflanzen keine Probleme auftraten.

Auch bei Channels mit dichtem Abstand der Öffnungen, die aber nicht alle bepflanzte wurden, müssen die offenen Löcher nicht verdeckt werden.

Auf diese Weise können aber sehr unterschiedliche Bestandesarchitekturen gewählt werden wie z.B.:

Einreihig, mit engem Abstand; werden viele Kräuter kultiviert, ebenso kurze Topfsalate. Doppelreihen sind dagegen für Lange Topfsalate günstig. Kopfsalat benötigt die größte Standweite und wird einreihig mit weitem Abstand kultiviert.

3.5. Ernte und Packung

Bei einer 5-Tage-Woche werden täglich 20,000 Salatöpfe geerntet.

Dazu werden die Channels am Ende der Fertighäuser auf das alle Häuser verbindende Metallglieder-Förderband gerückt. Auf dem Förderband werden sie zur Erntestation im Haus 2 befördert. Die Pflanzen werden mit dem durchwurzelt Topf manuell aus den Rinnen entnommen, von losen Blättern geputzt und in konische Plastic-bags gesteckt. Die Töpfe in den Plastic bags fahren dann auf einem Förderband zur Verpackungsstation. Die leeren Channels werden in Transportbehälter gestapelt.

Die Bags sind für die verschiedenen Pflanzen unterschiedlich groß. Bei einer Länge von ca.30 cm sind sie für Herbs oben 17 cm , für Crisp lettuce 30 cm und für Head lettuce 38 cm breit.

Die Lebendpflanzen in bags werden zu je 12 Stücke in Kartons verpackt. Bei Lagerungstemperaturen von 4-8°C bleiben die Pflanzen mindestens eine Woche frisch. Von den angebauten Pflanzen sollte basel aber bei +12°C gelagert und abgeboten werden.

Die abgeernteten Channels werden mit Wasser gereinigt und sofort auf einem Transportband längs des Anzuchthauses oder mit einem Transportwagen zum erneuten bepflanzen zurück transportiert. Damit hat sich der Kreislauf der channels geschlossen. Bei Swedeponic in Belgien werden die Channels vor dem erneuten Bepflanzen durch Dampf desinfiziert.

In Belgien ist schwerer Kopfsalat mit Kopfgewichten von 400g beliebt. Solch schwerer Kopfsalat wird durch weite Abstände und durch längere Kulturzeiten erzeugt. Die Kulturzeit wird dadurch verlängert, daß Channels nach Durchlaufen der normalen Fertigungslinien nicht geerntet werden, sondern auf gesonderten kürzeren Linien noch weiter bis zum Erreichen des gewünschten Gewichtes wachsen können.

4. Produktivität

In der Pflanzenfabrik werden derzeit mit 1 Arbeitskraft/1000m² bis zu 20,000 Töpfe täglich geerntet. Das ergibt mit etwa 7,000,000 Töpfen/Jahr eine weitaus höhere Produktivität als beim üblichen Anbau im Gewächshaus. Je Gewächshausfläche werden doppelt soviel Salatpflanzen produziert wie mit konventionellen Anbaumethoden. Auch der Arbeitsbedarf je produzierte Einheit liegt unter der Hälfte des üblichen Bedarfs. Bei weiterer Nutzung der technisch günstigsten Lösungen ist von einem noch geringeren Arbeitskräftebedarf auszugehen.

5. Zukunft

In vier Jahren Produktion hat sich die erste Pflanzenfabrik für Gemüse in Deutschland bewährt. In dieser Zeit wurde die technische Ausstattung ständig verbessert und dadurch der Arbeitskräftebedarf von 15 auf 10 reduziert. Zugleich wurde die Produktion von 5,000,000 auf 7,000,000/year erhöht. Pflanzenfabriken können fast unabhängig von der Art der Gewächshäuser mit der neuesten Technik ausgerüstet und damit neuen Anforderungen schnell angepaßt werden. Die Belastung der Arbeitskräfte ist geringer als bei Bodenkulturen. Die Anbaupalette ist in den Jahren ständig erweitert worden. Die Produkte sind beliebt und eine echte Alternative zu konventionell produziertem Gemüse. Obwohl ein ganzjähriger Absatz gesichert ist, besteht die größte Nachfrage nach Lebendpflanzen in den Wintermonaten. Als Standorte kommen solche mit guten Lichtbedingungen und möglichst nicht zu kalten

Wintern in Frage. Pflanzenfabriken bieten die Möglichkeit, Gemüse im eigenen Land unter kontrollierten Bedingungen unabhängig von den Witterungsbedingungen zu erzeugen. Mit Pflanzenfabriken können damit zugleich ganzjährig Arbeitsplätze auch in strukturschwachen Regionen geschaffen werden.

Bedenkt man, daß die Nutrient Film Technology erst vor gut 20 Jahren entwickelt wurde, haben sich Pflanzenfabriken in Europa sehr gut bewährt und ausgeweitet.

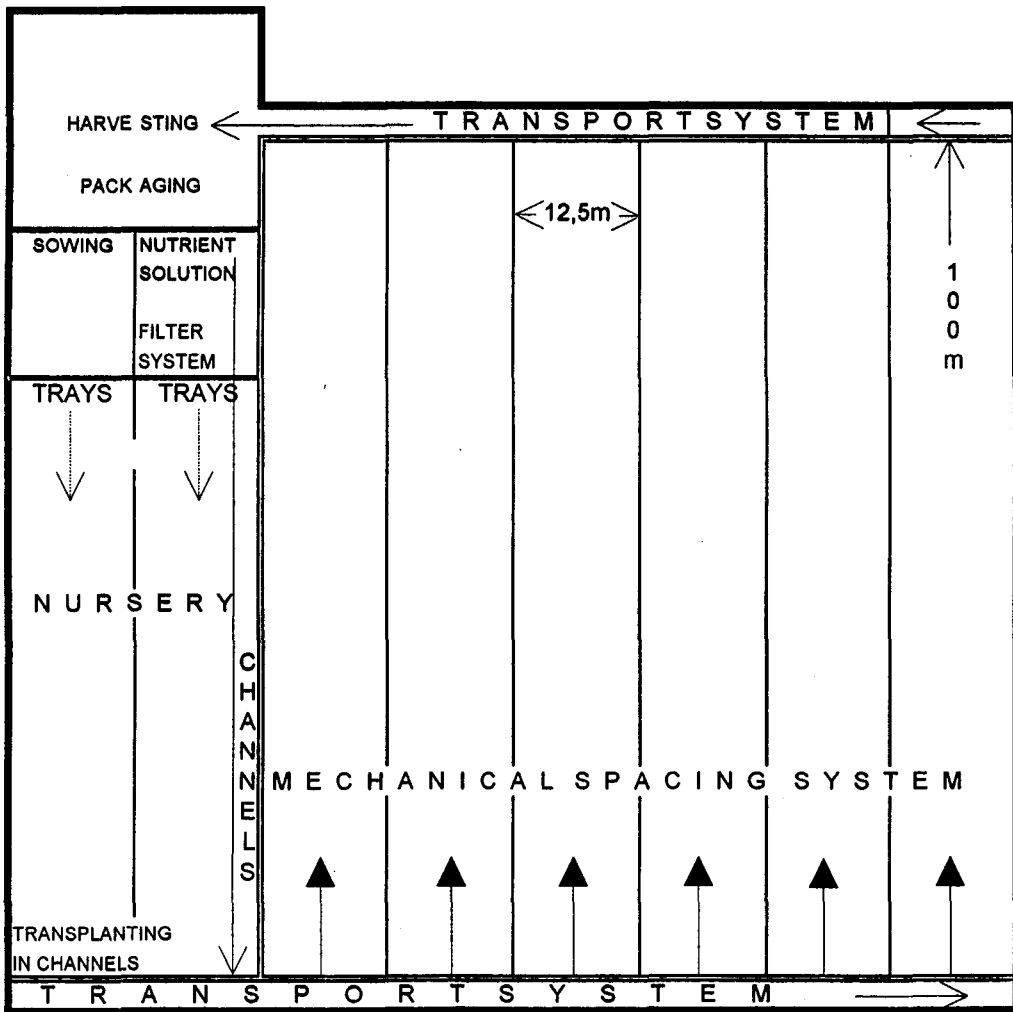


Fig. 1. Schemes of plant production factory .

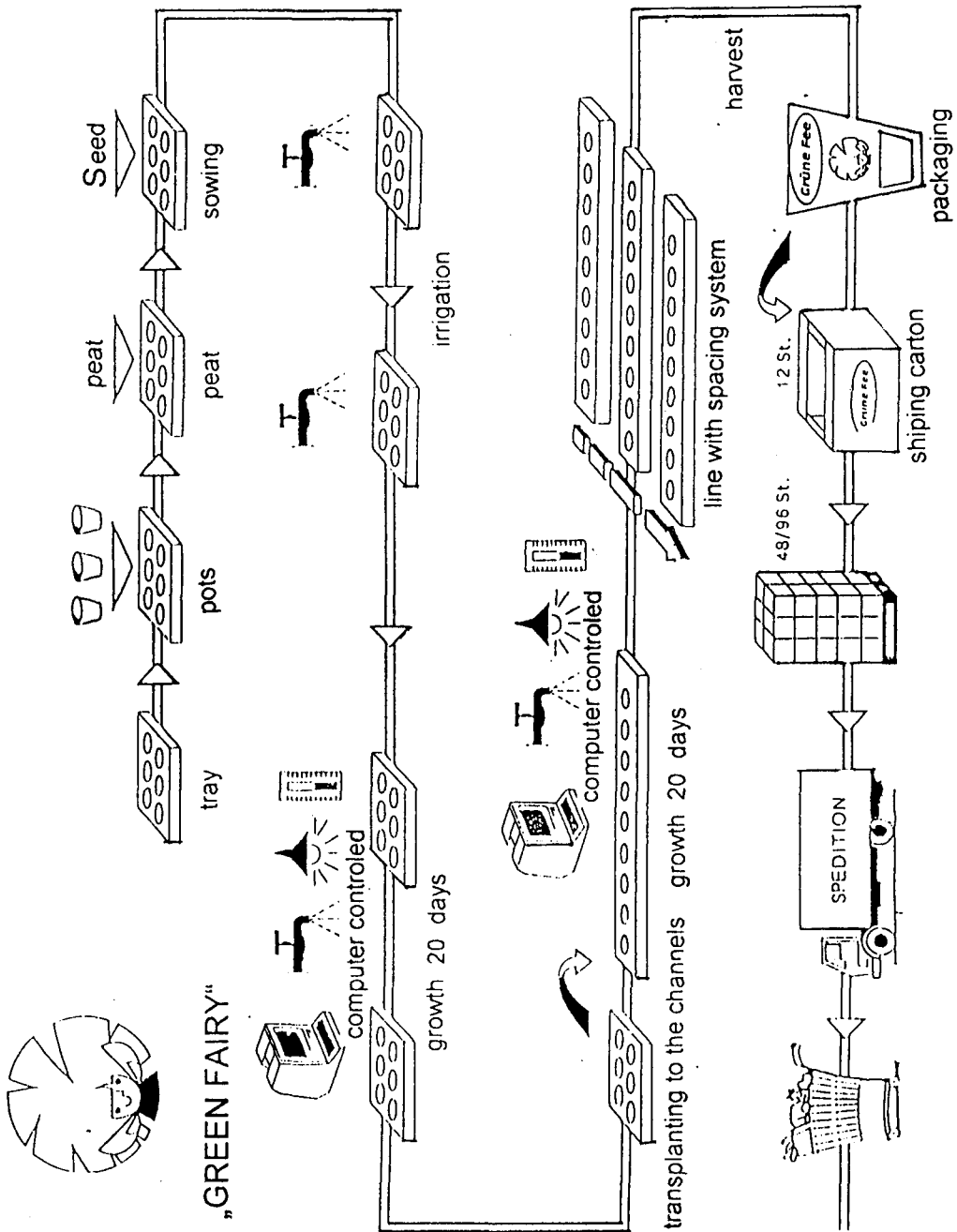


Fig. 2. A model system of plant production flow chart in Germany

독일의 공장적 식물생산시스템의 현황 및 실용화

B. Geyer

Institute for Horticultural Science, Humboldt University Berlin, Germany

1. 서론

채소작물을 재배하기 위한 식물공장과 같은 생산설비는 북유럽에서는 일반적인 예이다. 식물공장의 건설은 1980년대 이후로 시작되어왔다. 이 결과로 NFT를 비롯한 수경재배의 경험을 축적하여 왔다. 현재 북부와 중부 유럽 (노르웨이, 핀란드, 스웨덴, 덴마크, 네덜란드, 벨기에, 독일) 에서 상추와 향신채같은 샐러드용 채소류를 생산하기 위한 식물공장이 약 15개 정도 있다.

독일에서의 채소작물의 공장적 생산은 1992년이후 1ha에서 상추를 생산하고 있고 벨기에에서는 2개의 식물공장에서 1995년부터 상추를 생산하고 있다. 이처럼 매우 적은 면적에서 재배되므로 두 나라의 식물공장에서 채소가 생산되는 것은 전체 생산량에 비하여 큰 의미가 없다.

Table 1. Head lettuce growing in Germany and Belgium.

Country \ Production Area (ha)	Open Air	Glass	Factory-Style
Germany	3823	191	1,0
Belgium	754	291	2,8

온실의 전체 생산면적(년 5작 가정)은 독일에서 955ha(191 x 5)이고 벨기에는 1,455ha (291 x 5)이다. 식물공장에서의 상추생산(1년에 20번 수확 가정)은 생산면적으로 보면 독일의 경우 20ha 이고 벨기에는 56ha 정도가 된다. 채소 식물공장은 앞으로 더 확대되기를 기대하는 실정이다. 그 이유는 다음과 같다.

1. 식물생산 시스템 개발의 가능성이 무한하다.
2. 주년생산이 가능하다.
3. 소비자가 무농약, 고품질의 채소를 요구하고 있다.
4. 스스로 채소를 가꾸어 생산할 수 있다.

새로운 식물공장적 생산은 근래 포트(pot)재배를 통해 이루어지고 있다. 이는 일반적으로 'Pot vegetabels (포트 채소)'로 불리워지는데, 포트에 심겨져 있는 상태(live vegetables)로 소비자가 구입하여, 가정에서 수확하여 신선하게 이용하는 것을 말한다.

2. 살아있는 채소 (live vegetables)

살아있는 채소는 완전한 뿌리를 가지고 있어서 소비자가 슈퍼마켓에서 포트에 심겨진 신선하고

살아있는 채소를 구입하여 가정에서 식용하기 전까지 재배가 가능한 상태를 의미한다. 재배환경이 잘 조절되는 상태에서 재배된 이러한 채소는 다음과 같은 특징을 갖는다.

1. 신선하고 청결하다.
2. 슈퍼마켓이나 소비자는 구입한 식물체를 약 1주일간은 더 재배할 수 있다.
3. 판매중 시들어 버리지 않는다.
4. 판매중 내부 유용성분의 파괴가 극소화 된다.
5. 살충, 살균제의 사용이 없다.
6. 식물이 소비자가 구입 후에도 자랄 수 있다.
7. 필요시에 수확하여 이용할 수 있다.

이러한 특성 때문에 독일의 소비자들은 수경재배를 통해 재배된 채소를 찾게된다. 지금까지 식물 공장에서 생산되었던 채소들은 다음과 같다.

Head lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*)

Crisp lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Lollo Rosso, Lollo Bionda, Salad Bowl...

Con lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*)

Parsley (*Petroselinum crispum*)

Lovage (*Levisticum officinale*)

Sage (*Salvia officinalis*)

Coriander (*Coriandrum sativum*)

Peppermint (*Mentha piperita*)

Balm (*Melissa officinalis*)

Basil (*Onicum basilicum*)

Dill (*Anethum graveolens* var. *hortorum*)

Chives (*Allium schoenoprasum*)

Garden Thyme (*Thymus vulgaris*)

Rocket (*Eruca sativa*)

Oregano (*Origanum vulgare*)

이들 산물들은 식용전에 물에 씻지 않아도 될만큼 깨끗하다. 독일에서는 이 생산물들에 상표 ('Green Fee')를 붙여 판매하는데 이 상표는 녹색을 띠는 살아있는 식물체를 아주 훌륭히 표현하고 있다 할 수 있다.

3. 독일의 생산 시스템

1992년부터 독일에서 운영되고 있는 온실면적은 10,000m² 정도 된다. 사용되고 있는 생산시스템은 다음과 같다.

- 작은 plastic pot를 이용한 채소의 육묘, 재배, 수확
- 작업높이에 따라 움직일 수 있는 이동식 plastic channel에서의 식물재배
- 식물생장에 따른 간격의 확대
- 순환식 NFT 시스템 방식에 의한 양분과 수분의 공급
- 식물 환경인 물, 온도, 광, CO₂의 조절
- 식물보호와 병충해 방제를 위한 화학물질의 비사용

식물공장의 온실은 8개동이고, 각 동은 100m 길이에 12.5m 넓이다. 보온을 위해 분리된 6개동 온실에서는 완전히 재배된 작물들이 생산된다.

두 개동의 서로 연결된 다른 온실에서는 유식물들의 육묘가 이루어진다. 이들은 생산 line에 따라 다른 온실들과 하나의 칸막이로 격리된다. 이 안에는 역시 파종을 위한 line, 발아실, 이식실, 수확실 그리고 양액준비실 등이 있다 (그림 1).

이 시설의 핵심은 6개의 완성된 식물을 만들어내는 온실이다. 그 안에서는 channel과 양액이 순환되는 시스템이다. 식물체도 자동이동되는 방식인데 그림 2의 도식과 같이 작업높이를 따라 생산 설비들을 지나가게 된다. (그림 2).

3. 1 완전히 생육한 식물의 생산

완전히 생육한 식물의 생산을 위해 유식물들과 함께 설치된, 양쪽 면이 개방된 plastic channel들이 온실을 가로질러 이동한다. 공장에서 처럼 생산물품들이 이동적이고 온습도가 일정히 유지되는 생산line을 따라 움직인다. 생산되는 최종산물이 이 경우 살아있는 식물이다.

완전히 생육한 식물의 생산은 어린 식물(channel의 유식물)들을 재배상의 작업높이에 있는 table 위에 심어서 올려놓음으로써 시작된다.

식물들이 모든 육묘온실과 출하직전의 식물들을 재배하는 온실들 앞부분으로부터 가동되는 금속 컨테이너벨트로 자동적으로 이동된다. 15-20일 정도의 예상되는 생육기간 동안 다른 온실 끝까지 100m 이동된다. 그리고 여기에 알루미늄으로 된 1.5m 간격으로 널려있는 운송체에 배치된다. 하우스를 가로질러 11.6m 길이로 되어있는 channel들은 1.5% 경사져 있다. 이로써 높은데 배치된 끝부분에서 압력을 가함없이 양액이 흘러내리는 것이 가능하다. 경사진 것으로 인해 전 channel을 통해 양액이 흘러서 다른 쪽 끝에 가서 양액이 모이게 된다. 생산 line에 따른 식물 성장동안 channel들 사이의 간격을 계속적으로 변화시켜 온실 전 면적이 계속적으로 최대로 사용된다. 이 식물들은 그와 더불어 역시 아주 최적인 생육간격을 갖게 된다. 온실로부터 한 channel의 식물이 수확되는 대로 다른 쪽 끝 channel에서는 또 다른 재식이 이루어진다.

다양한 식물재식 간격

식물간의 간격은 여러 가지 방법으로 변동될 수 있다. Channel내에 있는 식물의 간격 뿐만 아니라 channel 간의 간격도 변화가 가능하다.

Channel 내에서는 다음과 같은 방법이 수행된다.

1. 열 가운데 있는 식물 심는 구멍의 간격 자체가 9-24cm로 다양하다.
2. 열 가운데 있는 식물 심는 구멍에 일률적인 간격, 2열 간격, 3열 간격으로 된 것등 다양한 재식거리로 식물을 심음으로써 변화를 줄 수 있다.
3. Line이 한 번 돌아가는 동안에 열 내에 있는 식물들을 다시 한 번 바꾸어 놓음으로써 변화시킨다 (실험에서만 실행된 내용).

Channel 내의 간격이 자동으로 커지게 하는 조절 장치를 이용해서 계속적으로 넓힐 수 있다. 이것은 여러 기계적인 해결책들로 현실화 되고 있다. 독일에서는 channel들 밑에 하나의 chain을 더 달아 놓는다. 이들의 간격이 channel들 사이의 간격을 결정하게 된다. 이 channel 들은 처음에는 전혀 간격없이 작업대 위에 배치되어 있다. 한 열 내의 식물의 간격은 7.6cm이고 channel들이 온실 전체를 이동하는 동안에 17번, 생산 line 끝에 가서는 18cm에서 25.6cm 까지 벌어지게 된다.

식물들은 가능한 한 늘 뻗뻗하게 배치되고 옆면적의 성장에 도움이 되는 만큼만 간격을 갖게

해준다. 재식밀도는 엽채류의 경우 처음에는 88개 용기/m²에서 26개 용기/m² 까지 좁혀지게 된다. 각 식물들의 종류와 품종들에 있어서 주어진 생육조건에 따른 가장 적당한 재식밀도가 연구되어야 하고 적정 수준이 규명되어야 한다. 또한 온실 전면적을 효율적으로 사용하기 위해서 가능한 아주 빽빽하게 배치되어야 한다. 그러나 다른 한편으로는 channel 내에서의와 channel들 간의 식물에서 충분한 간격들을 주는 것이 곰팡이병 발생빈도를 줄이기 위해 필요하고 역시 식물생장 형태가 식물의 무게에 영향을 미친다는 점에서 필요하다. 벨기에에서는 butterhead 상추를 head 중량 400g이 되게 생산해 낸다. Channel들간의 서로 미는 것이라든지 다른 해결책들은 기술적 체계에서 알 수 있다. 1996년 독일에서는 이것을 가느다란 축을 가진 회전가능한 막대를 사용함으로써 시작하였다. 축이 수직방향으로 돌아갈 때 channel들이 앞으로 움직였고, 축이 횡방향으로 움직일 때 뒤로 되돌아 오도록 만들었다. 또한 Sweden에서 다른 설비가 공개되었는데 이것은 식물을 위로 rail에 연결하여 움직이는 장치였다. 그런데 식물들 위에 설치되는 모든 설비들은 그들에 의해 만들어지는 그들이 식물들의 생산량에 영향을 미치기 때문에 기본적으로 최소한도로 설치해야 한다. 더 간단한 것은 벨기에의 한 단지에서 사용하는 동반시스템인데 이것은 작업대 밑에 설치되어 있는 움직이는 rail에 흔들지레를 가지고 있다. Rail이 앞으로 움직일 때 지레가 channel을 동반해서 같이 앞으로 움직이고 rail이 뒤로 움직이면 지레가 channel을 같이 동반해 channel이 같이 뒤로 움직이게 된다.

생산 line의 마지막에서 식물이 완전히 성장하여 수확할 필요가 있는 channel은 다시 움직이는 금속 컨테이너벨트를 통해서 수확장소로 옮겨지게 된다.

Table 2. The examples of planting density

	Plant distance in rows (cm)	Plants per row	Plant distance between rows (cm)	Number of plants per m ²
Young plants	9	127	7.6	146.2
	12	96	7.6	109.6
	15	77	7.6	87.7
	24	47	7.6	54.8
Harvest time	9		12	92.6
	12		18	46.3
	12		24	34.7
	12		25.6	32.5
	15		25.6	26.0
	24		24	17.4
	24		25.6	16.3
	24		30	13.9

연속적 NFT 시스템

효율적인 NFT system에 따라 식물들은 양액을 공급받는다. Line들은 앞부분이 막혀 있지만 양액이 흐를 수 있도록 뒷부분에 충분한 폭의 열린 곳 (open site)을 갖는다. 이 open site 위로 얇은 작은 튜브가 매달려 있어서 여기로 양액이 흘러나온다. 최소한 각각 하나씩의 튜브가 각 열의

open site 위에 배치된다. 튜브와 열 사이에서 양액은 산소까지 공급받게 되어 있다.

열 간격을 넓힐 때 개개의 튜브는 잠겨지게 되고 또는 양액이 튜브 밑에 놓여있는 열들이 모인 곳으로 흐르게 된다. 양액의 흐름을 각 line 마다 여러 부분으로 나누어 놓는 것이 유리하다. 각 온실은 요즘 1 line (100m) 당 각각 조절될 수 있는 5개의 부분으로 나뉘어져 있고 각 부분당 120 개의 튜브가 설치되어 있다. 벨기에에서는 한 line이 130m이고 7개의 부분으로 나뉘어져 있다. 분리를 통해 양액공급이 식물요구에 맞게 더 확실하고 양호하게 적용될 수 있다. 이 요구량은 시작 부분에는 하루 5 liter씩 두 번, 끝부분 수확직전에는 하루 30-50 liter씩 2번이다.

기울어진 channel로부터 끝으로 흘러나오는 남은 양액은 양액탱크로 다시 돌아오게 된다. 독일에서는 그와 더불어 양액이 모래 filter로 정화되고 예비 컨테이너로부터 보충된다. 재배 channel은 한곳으로 모여지며 일정한 간격을 두고 씻어서 오염된 것을 제거한다.

Swedeponic에 있는 단지에서는 recycling되는 양액이 3단계로 정화된다.

우선 모래여과장치를 통과하게 되며 이 양액은 낮은 압력으로 활성탄을 통과하는 처리를 거친다. 마지막으로 양액은 UV 소독장치를 통과하는데 이 소독용 실린더(240nm)의 용량은 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이 현실적이다. 이 소독실린더에서 양액은 펌프를 통하여 탱크로 가고 여기에서 각 channel로 들어가게 된다. 이 탱크는 지하에 있다.

양분을 추가로 보충하는 것 외에 UV를 이용한 소독에 있어 Fe의 불용화와 용기재료로부터의 Mn 가용화를 주의해야 한다.

여러 개의 양액순환 system을 설치하는 것이 바람직하다. 향신채의 비중이 큰 벨기에에 있는 Swedeponic에서처럼 양액순환시스템은 최소 두개는 있어야 한다. 이에 따라 엽채류(EC 1.5-2.2mS/cm)나 향신채 (EC 2.5-3.0mS/cm)의 다양한 재배조건을 맞출 수 있다.

여러 개의 양액순환 system은 엽채류의 경우 nitrate의 한계치를 더 잘 지킬 수 있도록 수확직전 짧은 기간동안 양액에서 nitrate 함량을 낮추는 방법이 적절하다. 독일에서는 겨울 수확시 nitrate 함량의 한계치를 엽채류의 경우 3,500 ppm으로 제한하고 있지만, 이것은 다른 나라에서는 보다 높다.

따라서 가장 건강하고, 오염되지 않은 생필품으로서의 살아있는 채소의 이미지를 점점 더 고조시킬 수 있을 것이며, 증가일로에 있는 판매에도 도움이 될 수 있을 것이다.

광 도

보광을 위해 온실은 3,000개의 전등을 갖추고 있다. 각 등은 400W의 나트륨 고압 lamp로서 1m² 당 80Watt 이상으로 보광이 가능하다. 모든 온실들에 이같은 전등들이 설치되어 있고 광보유능은 다 같다고 보면 된다.

이 등들은 지지기둥 사이로 온실을 가로질러 설치되어 있다. 9개의 등으로 된 각 전등배열의 위에는 Energy 차단막(보온커튼)이 있다.

온실구조와 등들과 Energy 차단막때문에 온실작물에 심한 그늘을 주게 된다. 그래서 겨울에는 하루 20시간까지 추가로 등을 비춰주는 것이 필요하다. 그러나 엽채류에서는 이 경우 엽가장자리가 고사될 수도 있다.

벨기에에 있는 시설단지들은 140 lumen/W의 약 20% 더 나아진 광수량을 가진 등을 배치하는 더 나은 실험적 해결책을 보고하는데 이런 등들은 독일에서도 역시 설치되어 있다.

독일에 있는 시설단지에서는 이보다 적은 수의 등들이 역시 더 높게 배치되어 있다. Energy 생산들은 온실 앞편에만 설치되어 있어서 그늘이 좀더 적다. European Vegetable R&D Center에서도 역시 line 앞 시작부분에 약 40Watt/m²부터 시작하여 line 뒤 끝부분에 약 100Watt/m²까지의 다양한 광 강도를 갖는 시설을 갖추고 있다.

역시 더 많이 청색광을 준 부분에서 쉽게 가지가 떨어지는 몇몇 식물들의 강한 측지생장이 감소된 것도 생각해 볼만 하다.

온도

엽채류를 위한 가장 유리한 온도들은 낮에는 17℃, 밤에는 10-15℃ 정도인데, 'Lollo Rosso'에서는 더 낮은 온도를 권장하고 있다.

설치된 전기동력의 약 80%가 열로 전환되기 때문에 광들이 가장 중요한 열원이다. 추가로 CO₂ 가스통 안에서 깨끗한 천연가스를 태움으로써 직접 온실 내에서 열을 얻을 수 있다. 추가로 공중에 설치된 환풍기로 CO₂ 와 더운 공기를 온실 내에 잘 분배시킨다. 1995-96년에 걸친 겨울 실험에서 밖의 온도가 아주 낮을 때는 이 방법이 꽤 오래 사용되었다. 이때는 3,000ppm 이상의 아주 높은 CO₂ 가 발생되었다.

그러므로 난방시설을 추가하는 것이 유리하다. 또한 식물생육에 적절한 온도를 잘 유지시킬 수 있다.

벨기에에 있는 Swedeponic에서도 역시 향신채 재배온실이 엽채류 재배온실과 구별되어 있다. 향신채들은 엽채류보다 2-3℃ 높은 온도에서 생육한다 (심지어 Basil은 20℃가 적은). 그러므로 엽채류 생산에서와는 달리 향신채 재배온실에는 난방호스가 channel 밑에 놓인다.

온도가 떨어지는 현상은 일반적으로 환기나 Energy 차단막의 작동불능에 따라 발생한다. 이에 따라 일사량이 55%까지 감소하게 된다. 기후의 변화로 비가 올 경우에도 온실 온도가 5℃까지 내려갈 수 있다.

CO₂ -공급

이미 언급한 것처럼, CO₂ 공급은 온실 내에서 천연가스를 태움으로써 이루어진다. 밀폐된 온실 내에서는 농도가 700-800ppm까지 다다를 수 있다. 'Lollo Rosso'(붉은색 상추)에서는 더 나은 착색을 위해 3배나 더 높은 함량을 권장하고 있다. 여름에는 추가로 CO₂를 공급하지 않고 환기창을 열어 놓는다.

벨기에의 생산 단지는 외부에서 CO₂를 공급하도록 되어 있다. CO₂ 가 외부에서 구멍이 뚫린 가스다란 튜브를 통해 공급된다. 튜브들은 channel 아래쪽인 지면 바로 위에 설치되고 온실 전체에 배치된다.

상대습도

상대습도를 충분히 유지시키는 것이 공기 온도보다 더 중요한 것 같다. 최소 65%까지 상대습도가 보유되어야 하고, 최적 상대습도는 75%이다. 상대습도를 높이기 위해서 기둥을 따라서 온실 내에 관개설비가 설치되어 있다.

향신채를 키우는 온실에서는 엽채류를 재배하는 온실보다 약 5%정도 더 상대습도를 높인다. 이러한 연유로 벨기에에서 처럼 엽채류와 향신채의 line을 구별하는 것이 중요하다.

3. 2 파종과 육묘

식물생산은 첫번째 온실의 앞부분에 파종하는 line부터 시작이 된다. Polystyren으로 만들어진 40 x 60 cm 크기의 판들이 콘베이어벨트에 자동으로 올려놓지게 되어있고, 54 VEF1의 plastic pot들로 채워진다. 이 원추형 용기들은 아주 얇은 재질이며, 크기는 5cm 높이, 상부 직경 5.5cm, 하부직경 3.5cm이다. 또, 아래 부분에 폭 0.4cm, 길이 2.5cm의 긴 틈이 용기바닥까지 나있다. 이것은 양액과 접촉이 잘 되도록 하기 위해서다.

용기는 가장자리에 0.4cm 폭의 홈이 있는데 이 부분의 NFT channel에 걸 수 있는 부분이다. 자동으로 용기에 배지를 충전하는 기계를 이용하는데 주로 이탄으로 채운다. 용기들은 자동이동되며 튜브가 모여있는 지점 위에서 파종된다.

파종되는 종자의 수는 식물종류에 따라 다른데 각 용기당 butterhead 상추는 1, 엽상추는 2, 러

비지는 35개 이상, 차이브는 70개까지 파종되어진다. 파종 후에 파레트에 관수를 하고, 수작업으로 trailer(집수레)에 옮겨진다. 파종된 용기들은 20℃, 90% 상대습도가 유지되는 자엽실로 옮겨지고, 여기에서 자엽이 나온다. 자엽이 나오면 파레트들은 rail을 통해 두 개의 분리된 온실 중 하나로 옮겨진다. 이 두 개의 육묘 온실은 생산 line에 따라 6개동 온실로부터 벽으로 막혀 구별되어 있다. Rail은 각각 6m 폭이며, 가운데 길로부터 오른쪽, 왼쪽으로 설치되어 있다. 본래 rail은 비스듬하게 장치되어 있어서 파레트를 올려 놓자마자 밀려 내려가게끔 되어 있다. 유식물에서의 수분과 양분의 공급은 파레트 위로 움직이게 되어 있는 관수장치로 이루어진다.

벨기에 시설단지에서는 다음과 같은 새로운 사실과 변화들이 발견된다.

Swedeponic에서는 엽채류를 더 이상 건조 종자상태로 파종하지 않는다. 엽채류 종자들은 파종정에 18℃의 흐르는 물에서 20-24시간 침지시킴으로써 전처리된다. 이에 따라 유묘출현일수가 줄어들고 곰팡이 등의 감염 위험이 적어지며 생산성 확보도가 커진다. 파종된 용기들은 막대로 지지되는 인조상자들로 옮겨지고 위아래로 지지대가 있는 상태로 발아실로 옮겨진다. 자엽이 출현한 후 상자들은 12개씩 파레트 위에 올려지게 되고 이 파레트들은 rail로 유식물 온실을 통과해서 움직일 수 있게 된다.

유식물 생산을 위해 온실면적의 14-20%가 필요하다. 이 면적은 완전히 재배된 유식물들을 출하함으로써 감소될 수 있다.

두번째 벨기에 시설단지에서는 유식물을 구입하는 점에서 특이하다. 구입되는 유식물은 용기에 식재되지 않은 상태에 있고 밀집된 뿌리를 가지고 있다. 이로 인해 배지의 필요량은 더 높으나 용기 구입을 위한 비용을 절감이 가능하였다. 상품성이 없어 버리는 완전히 재배된 살아있는 식물은 100%로 퇴비화 되는 것이 가능하다. 식물공장의 필요한 노동력은 유식물을 구입하여 재배하는 경우 절감이 가능하다. 유식물은 약 20일간 관리된다. 유식물이 생산line에 이르기 전에 NFT channel로 바뀌어져야 한다.

3.3 NFT-channels

NFT channel들은 11.6m 길이의 사각진 파이프들이다. 이 파이프들은 폭 7cm, 높이 6cm 이다. 재질은 흰색 acrylnitril-butadien-styren-copolymer (ABS)로 이루어져 있어 온도에 대해 안정하고 증기소독이 가능하다. 또한 흰색이지만 빛은 투과되지 않으며 다양한 모양의 끝을 가지고 있다. 양액이 흐를 수 있는 옆면은 앞쪽에서 막혀있고 위에 큰 구멍이 있다. 다른 쪽 끝에는 앞이 막혀있지 않고 이를 위해 V자형의 흐르는 고랑이 있다.

Channel들은 위에 정확히 5.5cm 지름의 VEF1 pot들을 위해 둥근 구멍이 나있다.

고랑에 표준화된 구멍 간의 간격은 9, 12, 15 또는 24cm이다. 한 channel에 47-127개의 용기가 놓일 수 있다.

3.4 Channel에의 이식

Channel로 이식하기 위해서 용기들을 5.5cm 넓이의 fork를 사용하여 손으로 육묘 파레트에서 옮긴다. 이후 용기들을 fork에서 간단하게 빼내어 열의 구멍에 원하는 간격으로 꽂는다. 이때 0.4cm 폭의 가장자리 홈이 옆에 걸리게 되고 구멍이 완전히 덮여진다.

독일에서는 여러 해동안 자동이식 체계가 시도되어 왔다. 유식물이 올려진 파레트가 rail을 통해 이동되면 기계 속에서 용기들이 상자 안의 구멍을 통해 위쪽으로 밀어지고 잡는 기계가 용기의 가장자리를 파레트로부터 잡아 올린다. 그리고 나서 90° 각도로 돌려서 이들을 channel에 심게 된다. 이 channel들은 유식물 온실의 벽을 따라 움직이는 콘베이어 벨트를 따라서 기계 쪽으로 움직인다. 각도를 돌리는 기계로 이식이 된 channel들은 온실 끝에서 온실에 대해 90° 각도로 회전하여 콘베이어 벨트로 옮겨져 완전히 재배된 식물들을 두는 온실들 쪽으로 이동된다.

이 system은 그러나 다음과 같은 이유로 오래지 않아 없어지게 되었다. 우선 면적을 너무 많이 차지한다. 생산하지 않은 온실면적중 돌리는 기계가 차지하는 면적만도 약 200m²였다. 또 이식중 유식물 선별이 전혀 안된다. 이식기계도 고장이 잦았으며, 한 사람이 계속해서 통제를 하여야 했다.

약 250개의 channel이 매일 다른 시설단지에서 처럼 역시 손으로 관리가 된다. 용기에 심어진 유식물은 fork로 이식된다. 용기에 심기지 않은 유식물은 손으로 channel에 옮겨진다. 그와 동시에 병든 식물이나 소비처로부터 주문이 이루어지지 않아 식물들은 버려진다.

그런데 재미있는 것은 용기에 심겨지지 않은 식물들에서는 아무 문제도 생기지 않았다는 것이다. 왜냐하면 정직한 다음 이 식물들은 재배조의 바다에 직접 닿게되고 뿌리가 잘 뻗어 수화기가 지나도 용기재배에서 보다 며칠 더 세워둘 수 있기 때문이다.

식물을 뽕뽕히 심지 않고 공간을 두면 channel의 넓이 10cm에서 유식물들이 빨리 자라서 line의 식물을 심지 않은 큰 구멍을 막을 수 있으므로 양액이 잘 순환되었고 심한 이끼 발생은 없었다. 역시 촘촘한 간격으로 식물이 심겨지지 않은 구멍있는 channel에서 열린 구멍들도 막아져서는 안된다.

그러나 이런 식으로 아주 다양한 재식도형이 선택될 수 있었다. 예를 들어 한 줄로 좁은 간격으로 많은 향신채가 재배되고 역시 짧은 용기 엽채류도 그렇게 재배된다. 이와 반대로 긴 용기 엽채류는 두줄로 키우는 것이 유리하다. Butterhead 상추는 더 넓은 재식간격이 필요하고 한줄로 재배된다.

3.5 수확과 포장

5일동안 매일 20,000개의 엽채류 용기들이 수확된다. 완성된 식물온실의 끝에서 channel들이 모든 온실로 연결된 금속 콘베이어벨트로 옮겨진다. 따라서 온실에 있는 수확지점으로 옮겨지게 되고, 식물들은 뿌리난 용기와 함께 손으로 열로부터 취해져서 늘어진 잎을 제거하고 원추형 plastic bag 속으로 넣어지게 된다. 벨기에 Swedeponic 단지에서는 line 끝에서 직접 수확된다. Plastic bag 속에 있는 용기들은 콘베이어벨트로 직접 포장지점으로 옮겨지고 빈 channel은 운송기구에 쌓이게 된다. Bag들은 다양한 식물을 위해 역시 크기도 다양하다. 약 30cm 길이일 때 허브의 경우는 원추형 윗쪽의 넓은 부분이 17cm, crisp lettuce가 30cm, head lettuce가 38cm 이다. Bag 속의 살아있는 식물들은 12개씩 한 상자에 포장되고 4-8℃의 저장온도에서 최소 일주일간 신선하게 유지된다. 그러나 basil은 재배 시부터 12℃로 저장되고 출하된다. 이미 수확된 channel들은 물론 수세되어서 곧 수송벨트로 육묘온실을 통과해서 또는 수송차로 새로 식재되는 곳으로 다시 운반된다. 이로써 channel의 cycle이 끝나게 된다.

벨기에에 설치되어 있는 Swedeponic형 온실에서는 재배용 channel을 재사용하기에 앞서 증기소독을 실시한다. 대체로 벨기에에서는 약 400g정도 되는 다소 큰 결구 상추를 선호한다. 이와같이 큰 결구상추를 수확하려면 재배기간이 길고 재식거리가 넓어야 한다.

그와같이 재배기간이 연장되므로써 channel은 정상적인 재배line에서 끝나는 것이 아니라 오히려 재배 line을 다소 연장시켜서 충분한 무게가 되도록 가꾼 후에 수확한다.

4. 생산성

식물공장에서는 현재 한 사람이 1,000m² 면적에서 20,000개 포트를 매일 수확한다. 이것은 년간 약 700만개 포트에 해당되는데 이는 일반 온실재배보다 높은 수량성을 보여준다. 각각 온실면적에서 관행재배 방법보다 2배의 수량을 생산한다. 단위 생산물량당 필요 노동력도 관행필요량의 절반이다. 기술적이고 합리적인 해결책의 계속적 응용에 의해 보다 노동력의 극소화가 이루어질 것이다.

5. 장래

독일에서 첫 번째 채소 식물공장이 4년째 수확과정에서 다음과 같은 사실을 알게 되었다. 즉, 이 기간에 기술적 상태가 계속적으로 개선 되었으며, 그 결과 15명이 필요하던 노동력을 10명으로 감소시켰다. 반면에 수량은 연간 5백만 포기에서 7백만 포기로 상승시켰다. 식물공장은 새로운 기술로서 온실의 형태에 거의 상관없이 잘 진행 됐으며 그 결과를 가지고 새로운 요구에 재빨리 적응되어갔다. 노동력에 대한 부담감은 토양재배보다 낮다. 재배용 파레트는 그 동안 계속적으로 확대되어 왔다. 생산물은 소비자들의 사랑을 받고, 관행채소생산에 대해 정말 하나의 선택적인 차선택이었다. 물론 년중 시장이 보장됐다 하더라도 겨울철 살아있는 식물에 대한 큰 수요가 존재한다. 문제는 재배지에 있어 것처럼 좋은 광조건과 온화한 겨울철 기후가 가능할 것인가가 문제시된다. 그러나 식물공장은 기후조건에 관계없이 조절된 조건하에서 어느 나라에서든지 채소를 생산할 수 있는 가능성을 제시해 주고 있다. 아울러 사회적 노동구조가 취약한 지역에서 년중 일자리를 제공할 수 있는 이점이 있다. NFT기술이 겨우 20년 전에 발달되기 시작한 이래 유럽의 식물공장은 아주 현실화되고 확장된 것에 대해 우리 모두는 생각을 해 봐야 한다.

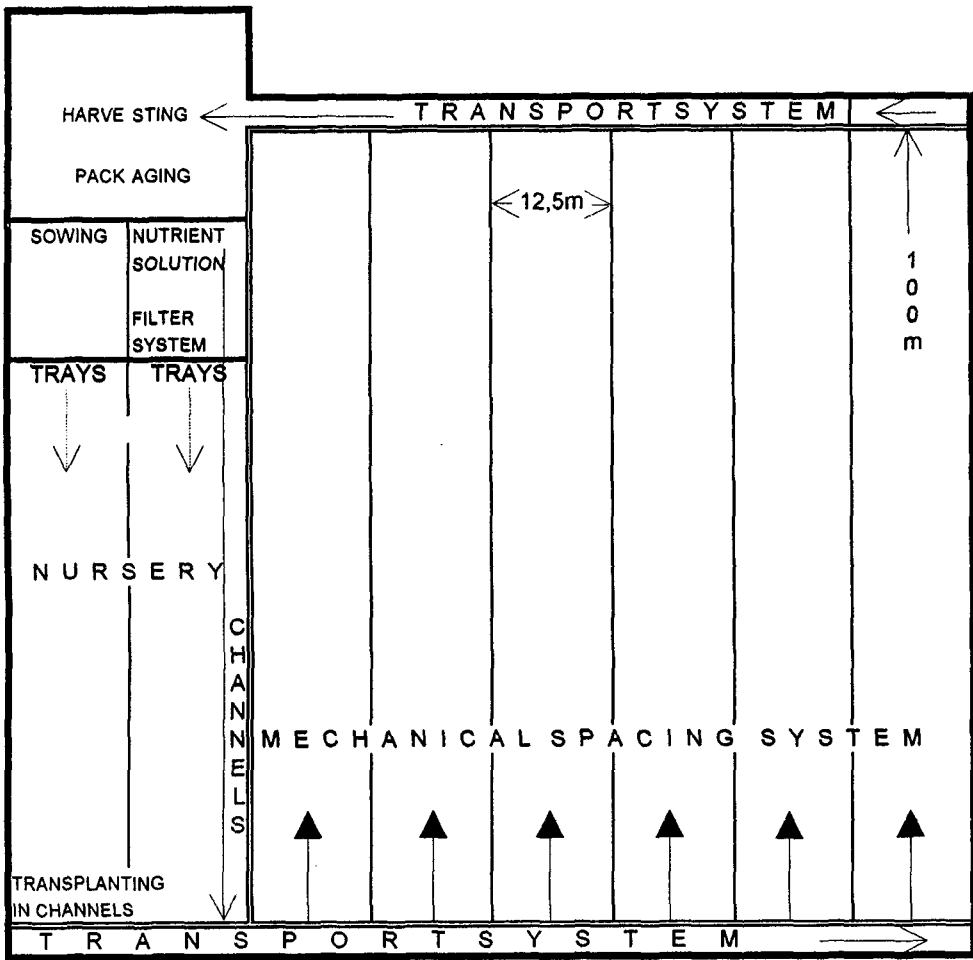


Fig. 1. Schemes of plant production factory

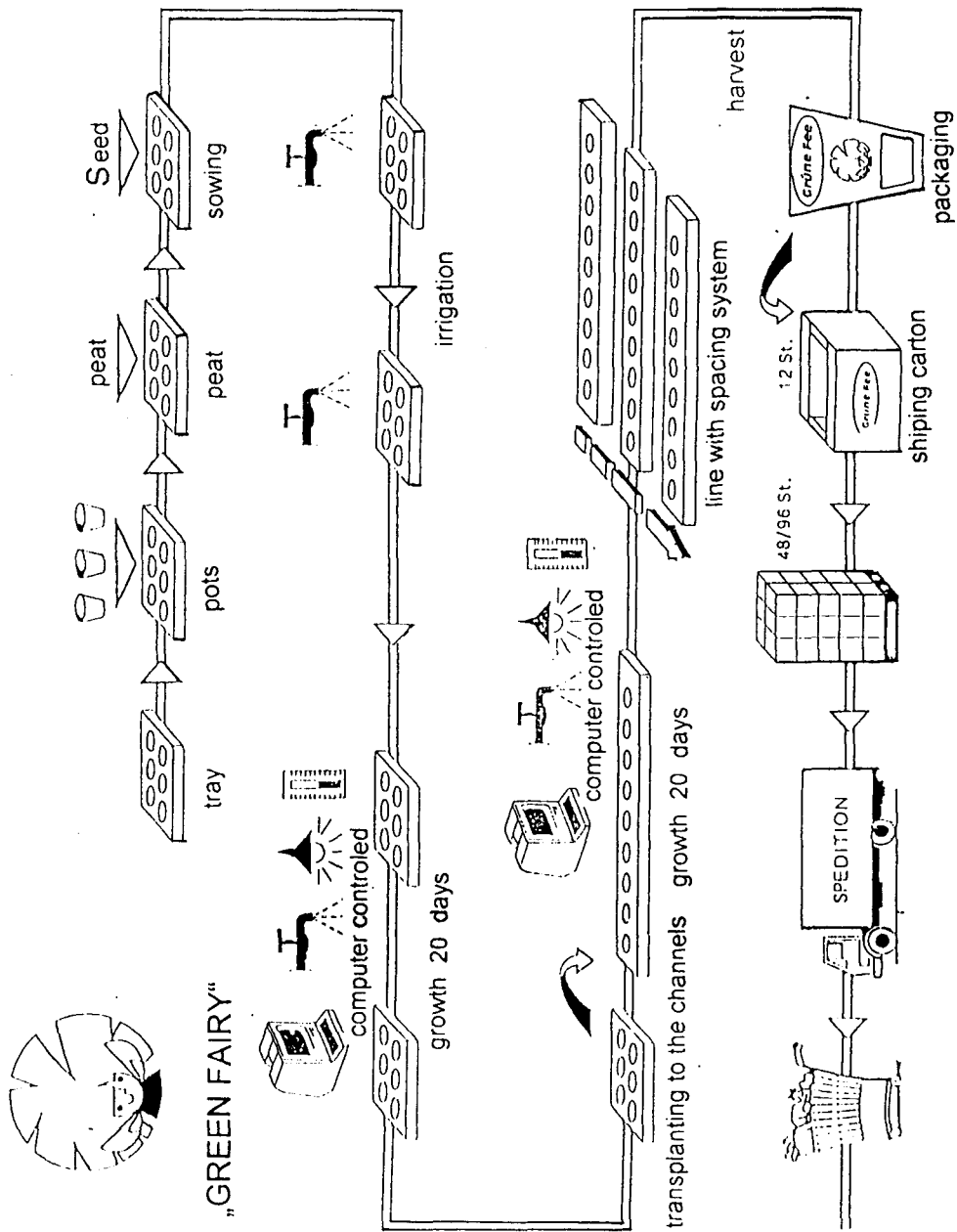


Fig. 2. A model system of plant production flow chart in Germany