



Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Gartenbau

Masterarbeit

Planung eines Anbausystems für qualitativ hochwertige Tomaten in einem mobilen geschützten Raum

Sarah Mirjam Walz (11837475)



Unter Betreuung von Frau Prof. Dr. Anna Keutgen und Herr Priv.-Doz. Dr. Norbert Keutgen

Februar 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Erklärung zur Selbstständigkeit	VII
Zusammenfassung	1
Abstract	1
1. Einleitung	2
2. Methoden	5
3. Produktion hochwertiger und geschmackvoller Tomaten	6
3.1. Geschmack	6
3.2. Anbau auf gewachsenem Boden	7
3.2.1. Bodenbearbeitung.....	9
3.2.2. Mulch.....	10
3.3. Die Wahl der Sorte	12
3.4. Veredelung	17
3.5. Kulturdauer	19
3.6. Pflanzung	20
3.7. Pflanzenschutz	21
3.8. Bewässerung	22
3.9. Düngung	24
3.10. Temperaturführung	26
3.11. Pflegemaßnahmen	27
3.12. Bestäubung	28
3.13. Ernte	29
4. Der mobile geschützte Raum	30
4.1. Die Idee des beweglichen geschützten Raumes	31
4.2. Mobiler Folientunnel und mobiles Glashaus	32
4.2.1. Der Folientunnel.....	32
4.2.2. Das Glashaus.....	34
4.3. Geeignete Fläche und Ausrichtung	35
4.4. Bewegungsmechanismus	38
4.4.1. Kufensysteme	38
4.4.2. System mit Rädern	39
4.4.3. Schienensystem.....	40
4.5. Fruchtfolgegestaltung	43

4.5.1.	Erhalt der Bodenfruchtbarkeit	43
4.5.2.	Vielseitige Nutzung des geschützten Raumes	44
4.5.3.	Die Tomate in der Fruchtfolge.....	45
4.5.4.	Die Fruchtfolge	46
4.6.	Grundkonstruktion	50
4.6.1.	Antrieb und Stabilität	50
4.6.2.	Konstruktion der Giebelseite.....	52
4.7.	Automation und Anschlüsse	53
4.8.	Klimaführung	55
4.8.1.	Belüftungssystem	55
3.8.2.	Beheizungssystem	56
4.9.	Bewässerung	60
4.10.	Aufleitung der Pflanzen	62
4.11.	Pflanzenbeleuchtung	63
4.12.	Diskussion: Mobiles Glashaus oder Mobiler Folientunnel?	63
5.	Zusammenfassung	66
6.	Literaturverzeichnis	69
7.	Anhang	78
7.1.	Anlage 1: Interview mit Herrn DI Wolfgang Palme, Abteilungsleiter an der Versuchsanlage Zinsenhof der HBLFA Schönbrunn vom 11.08.2020, Transkription	78

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vielfalt der Tomatenauswahl im Supermarkt (Teegut, Deutschland). Quelle: eigene Aufnahme (2020)	14
Abb. 2: Veredelte Tomaten (A) und Tomaten auf eigener Wurzel (B) im direkten Vergleich. Quelle: eigene Aufnahme (2020)	18
Abb. 3: Das Prinzip eines mobilen geschützten Raumes. Er kann auf verschiedene Positionen bewegt werden. Quelle: eigene Grafik (2020)	30
Abb. 4: Mobiles Glashaus der Horticulture Travelling Structure Company. Quelle: Weathers (1913)	31
Abb. 5: Folientunnel. Quelle: Clara Coleman (2014)	32
Abb. 6: Aufbau eines Breitschiffglashauses. Quelle: Rocks (2020)	35
Abb. 7: Zur Verfügung stehende Fläche in Thundorf in Unterfranken. Quelle: Bayern Atlas (2021)	37
Abb. 8: Rohrschlittensystem. Quelle: Four Season Tools (2020)	38
Abb. 9: Beweglicher Folientunnel. Quelle: Bradley (2013)	39
Abb. 10: Schienensystem der Firma Rimol. Quelle: Rimol Greenhouse Systems (2020)	40
Abb. 11: V-Schienensystem. Quelle: Four Season Tools (2020)	40
Abb. 12: Schienensystem des Glashauses: eingebettet in dem Streifenfundament liegt die Schiene. Darauf läuft das an der unteren Querverstrebung des Glashauses befindliche Rad. Nach außen hin wird die Schiene durch das Fundament abgedichtet. Der Spalt zwischen Glashaus und Fundament wird durch eine Gummilippe oder einen Besen abgedichtet. Quelle: eigene Grafik (2020)	41
Abb. 13: Bewegung eines Folientunnels auf Schienen mittels Traktoren, Versuchsanstalt Zinsenhof der HBLFA Schönbrunn. Quelle: Wolfgang Palme (2018)	42
Abb. 14: Schienensystem des Folientunnels: Auf dem Punktfundament ist ein Stahlrohr befestigt, auf dem das Rad läuft. Unterhalb des Stahlrohres läuft ein viereckiges Metallrohr, unter dem ein zweites Rad läuft. So wird die Schiene von zwei Rädern umgriffen. Quelle: eigene Grafik (2020)	42
Abb. 15: Der mobile geschützte Raum in drei aufeinanderfolgenden Jahren jeweils zur gleichen Zeit im Sommerhalbjahr. Dort, wo er steht, werden im jeweiligen Jahr Tomaten angebaut. Quelle: eigene Grafik (2020)	43
Abb. 16: Oberflächentemperatur einer Wiese in einer Februarnacht unbedeckt (rot) und mit einem dünnen Gärtnerfließ abgedeckt (blau). Quelle: Jenkins (2015)	46
Abb. 17: Grundrahmen für einen mobilen Folientunnel oder ein mobiles Glashaus. Eigene Darstellung (2021)	51
Abb. 18: Klappbare Giebelseite an einem kleinen Folientunnel. Quelle: Coleman et al. (2014)	52
Abb. 19: Kurbelbare Giebelseite. Quelle: Daniel Flach (2020)	52
Abb. 20: Konstruktion der Giebelseite des Folientunnels: im rechten und linken unteren Eck sind Aussparungen für das Schienensystem; der obere Teil der Giebelseite ist fixiert, der untere Meter der Giebelseite (rote Markierung) ist beweglich und kann mittels Schwenkmechanismus hochgeschwenkt oder abgesenkt werden; Das Tor ist ein	

einfaches Schiebetor. Die Giebelseite des mobilen Glashauses entspricht dem im Wesentlichen. Quelle: eigene Grafik	53
Abb. 21: Temperaturprofil beim Einsatz einer Hohen Rohrleitung. Quelle: Dietrich und Schrader (2011).....	58
Abb. 22: Heb- und senkbare Heizung der Rainer Dietrich GmbH. Quelle: gewaechshausbeheizung.de (2021).....	58
Abb. 23: Energieverbrauch der verschiedenen Heizsysteme im Gewächshaus. Die Hohe Rohrheizung dient als Referenz (100%). Quelle: BDEW (2021).....	59
Abb. 24: Verlegegerät für dünnwandige Tropfschläuche zur Nachrüstung von Pflanz- und Sämaschinen. Quelle: Saelens GmbH (2021).....	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kulturfolgen der einzelnen Positionen für einen mobilen geschützten Raum mit drei Positionen innerhalb eines Jahres. Im nächsten Jahr wechselt jede Kulturfolge auf eine andere Parzelle. Die rote Markierung und die Glashausergrafik markieren den jeweiligen Ort des Folientunnels. Quelle: in Anlehnung an Coleman et al. (2014).	49
Tab. 2: Zusammenfassung Eigenschaften und Ansprüche mobiler Gewächshäuser. Quelle: eigene Darstellung	64

Erklärung zur Selbstständigkeit

Hiermit erkläre ich,

Walz, Sarah Mirjam

Geboren am 25.07.1995

Matrikelnummer 11837475

dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte Master-Arbeit, selbständig und ausschließlich unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen angefertigt wurde und noch an keiner anderen Stelle vorgelegt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderen fremden Mitteilungen entnommen wurden, sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Betreuende/r Frau Prof. Dr. Anna Keutgen und Herr Priv.-Doz. Dr. Norbert Keutgen

Thema der Arbeit Planung eines Anbausystems für qualitativ hochwertige Tomaten in einem mobilen geschützten Raum

Ich erkläre weiterhin, dass der betreuenden Dozentin/dem betreuenden Dozenten ein unverschlüsseltes digitales Textdokument (in einem der Formate doc, docx, pdf, rtf) der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Mir ist bekannt, dass diese digitale Version anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum, Unterschrift

Planung eines Anbausystems für qualitativ hochwertige Tomaten in einem mobilen geschützten Raum

Sarah Mirjam Walz

Zusammenfassung

Die Optimierung der Effizienz von Anbausystemen und Sorten in den letzten Jahrzehnten bescherten der Tomate eine wahre Erfolgsgeschichte. Seither erfreuen sich die Früchte unter Konsumentinnen und Konsumenten auf der ganzen Welt größter Beliebtheit. Doch auf dem Weg zu mehr Produktivität und längerer Haltbarkeit blieb der gute Geschmack auf der Strecke. Zudem mussten Alternativen für den Anbau auf Erde gefunden werden, da im geschützten Anbau die Fruchtfolge erheblich eingeschränkt ist, was zu Bodenmüdigkeit und Problemen mit Krankheiten und Schädlingen führte. Diese Alternativen, wie etwa Steinwolle, Kokosfasern oder Torf, sind jedoch ökologisch nicht nachhaltig. Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein Anbausystem zu entwickeln, in welchem unter Augenmerk auf ökologische Nachhaltigkeit, Tomaten mit herausragender geschmacklicher und ernährungsphysiologischer Qualität produziert werden können. Betrachtet wird dabei der Lösungsansatz eines mobilen Folientunnels oder Glashauses. Die Beweglichkeit der Konstruktion ermöglicht eine deutliche Erweiterung der Fruchtfolge und bietet daher großes Potential für den Anbau auf gewachsener Erde. Die geschmackliche Qualität soll zudem durch eine angepasste Kulturführung gewährleistet werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Planung eines solchen Anbausystems unter pflanzenbaulichen Aspekten behandelt.

Planning of a cultivation system for high quality tomatoes in a mobile greenhouse

Sarah Mirjam Walz

Abstract

The optimization of the efficiency of cultivation systems and varieties over the last decades were a great success for the tomato. Nowadays, the tomato fruit is worldwide extremely popular. However, on the way of breeding towards higher productivity and extended shelf life there was a loss of taste and aroma. Furthermore, it became necessary to find alternatives to the cultivation on soil as the crop rotation within greenhouses is very limited which leads to soil fatigue and challenges with pests and diseases. Unfortunately, the chosen alternatives like the growing on mineral wool, coconut fiber and peat are ecologically not sustainable. Therefore, the aim of this work is to develop a cultivation system for the production of tomatoes with outstanding taste and nutritional value with keeping close attention on ecologically sustainability. The chosen approach is the use of a mobile polytunnel or greenhouse. The mobility of the construction enables the diversification of the crop rotation and therefore has great potential for the cultivation in soil. The quality of the fruits regarding taste shall be ensured by adjusted cultivation measures. Within the scope of this work such a cultivation system will be planned under the aspects of plant cultivation.

1. Einleitung

Die Landwirtschaft befindet sich in einem Wandel. Der Druck von Innen und Außen wächst stetig, und so müssen Landwirtinnen und Landwirte innovativ und kreativ werden, um sich der verändernden Umwelt anzupassen. Der Schädlingsdruck auf viele landwirtschaftliche Kulturen wird im Zuge von Klimawandel, Resistenzen (Lamichhane et al. 2016) und Globalisierung immer problematischer. Gleichzeitig ist die Degradation von Böden in Anbetracht der steigenden Weltbevölkerung und der begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche ein bedeutendes Thema geworden (Kopittke et al. 2019). Landwirtinnen und Landwirte werden gefordert, ihre Böden fruchtbar zu erhalten und Humus aufzubauen. Diese Anforderung besteht nicht nur aus pflanzenbaulicher Sicht. Spätestens seit Beginn der Initiative '4 per 1000', die bei der Klimakonferenz in Paris 2015 lanciert wurde (Soussana et al. 2019), nimmt auch die Politik landwirtschaftliche Böden als potentielle CO₂-Senken wahr, die zur Einhaltung des Zwei-Grad-Ziels im Klimaabkommen von Paris zuträglich sein könnten. Sogar über eine In-Wertsetzung des Humusaufbaus in Form von Handel mit CO₂-Zertifikaten wird derzeit nachgedacht, etwa von jungen Unternehmen wie CarboCert oder FarmFacts. Zusätzlich zu diesen Herausforderungen, vor denen Landwirtinnen und Landwirte stehen, übt die Gesellschaft zunehmend Druck auf die Landwirtschaft aus. Landwirtschaft soll ökologisch nachhaltig sein, zum Erhalt der Biodiversität beitragen und möglichst qualitativ hochwertige Produkte erzeugen.

Doch was haben Landwirtinnen und Landwirte für Möglichkeiten, um sich diesen Anforderungen zu stellen? In dieser Arbeit soll ein Konzept zur nachhaltigen Produktion von hochwertigen Tomaten in geschütztem Anbau erarbeitet werden. Die Wahl der Kultur Tomate erfolgt aufgrund deren wesentlichen wirtschaftlichen Bedeutung (FAOSTAT 2018).

Wenngleich im geschützten Anbau in den letzten Jahren große Fortschritte durch zunehmendes, integriertes Pflanzenschutzmanagement und Nützlingseinsatz (Pilkington et al. 2010) im Bereich Pestizideinsparungen erzielt werden konnten, so schlummert hier noch immer großes Potential für die Nachhaltigkeit. Hochproduktive Anbausysteme im geschützten Anbau beruhen heutzutage in Europa meist auf dem Prinzip der erdelosen Substratkultur. So wachsen die Kulturen nicht mehr auf der Erde des Gewächshauses, diese ist versiegelt, sondern auf einem nährstoffarmen Kultursubstrat, in der Regel Steinwolle (Theurl 2008), Torf

oder Kokosfasern. Dieses Substrat wird angereichert mit einer Wasser-Nährstofflösung, in der alle notwendigen Nährstoffe enthalten sind. Das Verfahren wurde Ende der 60er Jahre entwickelt und findet seitdem zunehmend Anwender (Theurl 2008). Der Siegeszug der erdelosen Substratkultur beruht wohl auf mehreren Gründen: In einem Glashaus ist es schwierig, eine ausreichend weite Fruchtfolge einzuhalten, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und bodenbürtige Schaderreger zu unterdrücken. Denn durch die hohen Produktionskosten können nur Kulturen mit hohem Marktwert im Gewächshaus angebaut werden, häufig also Nachtschattengewächse wie Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Aubergine (*Solanum melongena* L.) oder Paprika (*Capsicum* sp. L.). Zudem kann die Spezialisierung auf eine Kultur, die jedes Jahr angebaut wird, den Zugang zum Absatzmarkt erleichtern. Die Einsparung von Düngemitteln durch die Verhinderung der Auswaschung spricht ebenfalls für die erdelose Substratkultur. Doch birgt dieses Verfahren auch einige Risiken: Die als Substrat verwendete Steinwolle muss in der Regel jährlich ausgetauscht und recycelt werden, allein in den Niederlanden fielen so bereits vor zehn Jahren 200 000 Tonnen Steinwolle jährlich an (Theurl 2008). Die Alternativen Kokosfasern und Torf sind zwar kompostierbar, doch auch diese Materialien müssen zunächst abgebaut, produziert und teilweise importiert werden. Zudem werden der Nährlösung in der Regel rein mineralische Nährstoffe hinzugefügt, da diese optimal an die Ansprüche der Pflanzen angepasst sein müssen. Schließlich enthält das Substrat keine eigenen Nährstoffe, sondern die Pflanze kann lediglich aufnehmen, was ihr durch die Nährstofflösung zugeführt wird. Diese Nährstoffe müssen aufwendig gewonnen werden, etwa durch die Luftverflüssigung zur Produktion von Stickstoff. Dieses gesamte System "entspricht (...) überhaupt nicht dem biologischen Gedanken eines Kreislaufsystems" (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Aus diesen Gründen verbietet die Europäische Kommission in Artikel vier der Regulierung Nr. 889/2008 Hydrokultur im biologischen Anbau mit der definitiven Aussage: "Hydrokultur ist verboten" (Europäische Kommission 2008).

Eine Kultur auf gewachsenem Boden hingegen beruht auf dem "Ökosystem des Bodens" (Europäische Kommission 2008), einer ohnehin an Ort und Stelle vorhandenen Ressource. Sie muss nicht aufwendig be- oder entsorgt werden und kann nach biologischen Prinzipien bewirtschaftet werden. Der Anbau auf gewachsener Erde ist also vergleichsweise Ressourcen schonend.

Das in dieser Arbeit entwickelte System zur nachhaltigen Produktion von Tomaten in geschütztem Anbau bezieht sich daher auf ein Anbauverfahren auf Erde, da dieses als natürlich angesehen werden kann. Der Problematik der bodenbürtigen Krankheiten und dem Verlust der Bodenfruchtbarkeit im Zusammenhang mit den Schwierigkeiten des Fruchtwechsels soll mit dem innovativen Ansatz eines beweglichen geschützten Raumes begegnet werden. Dieser soll so konstruiert sein, dass er problemlos von einer Position auf eine andere bewegt werden kann, um die Fruchtfolge zu erweitern und das Glashaus oder den Folientunnel effizienter einzusetzen.

Der Frage nach Geschmack und Qualität des Produktes, welche insbesondere bei der Tomate immer wieder in der öffentlichen Debatte war und ist (van der Scheer 2018), soll ebenfalls Rechnung getragen werden. Beides wird nicht nur durch das Anbausystem als solches, sondern auch durch die Auswahl der Sorte (Kowalczyk et al. 2011) und insbesondere die Kulturführung beeinflusst.

In dieser Arbeit soll daher ein innovatives Anbausystem entwickelt werden, welches es ermöglicht, qualitativ geschmackvolle Tomaten unter nachhaltigen Standards zu produzieren. Es ist hierbei der Anspruch, dass dieses Anbausystem wirtschaftlich umsetzbar ist, jedoch soll die ökonomische Betrachtung in einer weiterführenden Analyse durchgeführt werden.

Die Fragen, die diese Arbeit stellt:

- Welche Faktoren tragen zur Produktion hochwertiger und geschmackvoller Tomaten bei? Wie können diese Faktoren angepasst werden?
- Wie können Tomaten im geschützten Anbau auf gewachsener Erde kultiviert werden?
- Wie kann die Mobilität des Raumes zum geschützten Anbau auf gewachsener Erde beitragen?
- Welche Anforderungen ergeben sich an ein mobiles Glashaus beziehungsweise einen mobilen Folientunnel?

2. Methoden

Zur Erarbeitung der Anforderungen an ein Anbausystem für hochwertige Tomaten in einem mobilen geschützten Raum wurde qualitative Literaturrecherche betrieben. Hierfür wurden verschiedene Datenbanken (Web of Science, Google Scholar, sowie Scopus) anhand von Stichwortsuche und mittels des Schneeballprinzips nach Fachliteratur durchsucht. Für Hintergrundfragen und Fragen zur gängigen Praxis wurden Lehrbücher, sowie das Handbuch Wintergärtnerei (Coleman et al. 2014) zu Rate gezogen. Einzelne Zeitschriftenartikel und Berichte über Tomatenproduzenten oder Stimmen aus der Öffentlichkeit zum Thema Tomatenanbau wurden ebenfalls beachtet. Aufgrund des Bezugs zur aktuell gängigen Praxis wurden im Falle einiger technischer Details auch Informationen und Angaben von Unternehmen im Bereich des Gewächshausbaus mit einbezogen.

Um auf bestehende Erfahrungen und Wissen in der Praxis Bezug nehmen zu können, wurde am 11.08.2020 ein qualitatives Interview mit Herrn DI Wolfgang Palme von der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt (HBLFA) Gartenbau Schönbrunn durchgeführt. Herr Palme hat auf der Versuchsanstalt Zinsenhof einen beweglichen Folientunnel im Einsatz und so praktische Erfahrungen mit geschütztem Anbau in mobiler Form. Das Interview wurde telefonisch durchgeführt und mit dem Einverständnis des Befragten aufgezeichnet. Es wurde als semi-strukturiertes Interview gehalten und im Anschluss transkribiert und ausgewertet. Am 16.09.2020 erfolgte zusätzlich eine Betriebsbesichtigung des Zinsenhofes der HBLFA und des dort bestehenden beweglichen Folientunnels.

Zur Ausarbeitung des Glashauses und des Folientunnels wurden Skizzen angefertigt. Diese sind nicht maßstabsgetreu, bilden jedoch die Herausforderungen und deren Lösungsansätze für einen mobilen geschützten Raums ab.

3. Produktion hochwertiger und geschmackvoller Tomaten

Bereits vor dem Anbau von Tomaten müssen betreffend die Kulturmaßnahmen zahlreiche Entscheidungen getroffen werden. So gibt es zahlreiche Möglichkeiten vor und während des Anbaus, die Kulturführung zu gestalten, je nach Ziel und Strategie. Die Strategie für das geplante Anbausystem ist die Optimierung der Qualität des Produktes.

Bei Qualität geht es dabei zum einen um die messbaren Eigenschaften des Produktes selbst, also etwa Ausfärbung, Form und Konsistenz, ebenso wie gesundheitsförderliche Inhaltsstoffe, Schadstofffreiheit und Geschmack des Produktes. Zum anderen kann Qualität auch weiter gefasst werden, indem die ökologische Nachhaltigkeit der Produktion mit einbezogen wird. Diese Auffassung von Qualität liegt auch der vorliegenden Arbeit zugrunde.

Im Folgenden sollen die wesentlichen Kulturmaßnahmen und Voraussetzungen für den Anbau von Tomaten auf gewachsener Erde betrachtet werden. Die Maßnahmen sollen insbesondere auf ihren Einfluss im Hinblick auf ihre Auswirkung auf Qualität und ökologische Nachhaltigkeit analysiert und darauf basierend festgelegt werden.

3.1. Geschmack

Der Geschmack spielt bei der Beurteilung der Qualität eine besondere Rolle, denn er ist eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale des Produktes für Konsumentinnen und Konsumenten. Sie verlangen hier zunehmend nach mehr, denn häufig vernachlässigt wird in Züchtung und Produktion der Tomaten der Geschmack. Dies führt zu dem Vorwurf von Konsumentinnen und Konsumenten, Tomaten seien fad und geschmacklos (Pantel 14.8.2019). Der Geschmack hängt zwar auch von der Lagerungstemperatur ab, wird jedoch erheblich durch die Wahl der Sorte und die Anbaubedingungen beeinflusst. Da im Falle dieser Arbeit nicht die Lagerung im Mittelpunkt steht, sondern rein die Produktion, soll auf den Faktor der Lagerungsbedingungen hier nicht näher eingegangen werden.

Aber wie lässt sich guter Geschmack beurteilen? Über vierhundert flüchtige Substanzen konnten in Tomaten identifiziert werden (Baldwin et al. 1998). Ein signifikanter Einfluss auf den Geschmack wird allerdings nur dreißig der vierhundert Moleküle zugeschrieben (Ilahy et al. 2019). Wesentlicher Qualitätsfaktor ist hierbei der Anteil an löslichen Festbestandteilen (Siddiqui et al. 2015), der in °Brix angegeben wird. Dieser Anteil sollte größer drei sein, um

dem Anspruch hochqualitativer Tomaten zu genügen (Schwarz et al. 2013). Unter den löslichen Festbestandteilen tragen Zucker, Säuren, Aminosäuren und Salze hauptsächlich zum Geschmack der Tomate bei (Yilmaz 2001). Maßgeblich ist hierbei wohl das Zucker-Säureverhältnis in der Frucht (Laber und Lattauschke 2014) mit den bedeutendsten Zuckern Glucose und Fructose, und vor allem den Säuren Zitronensäure und Apfelsäure (Abegaz et al. 2004). Jedoch ist bekannt, dass bestimmte fruchtige volatile Substanzen in Tomaten die Frucht süßer wirken lassen, als der Zuckergehalt es erklären könnte (Folta und Klee 2016). Dies deutet daraufhin, dass der Geschmack nicht ausschließlich an Säure- und Zuckergehalt gemessen werden kann. Ein hoher Trockenmassegehalt trägt zudem zu einem intensiveren Aroma bei, da der Geschmack nicht 'verwässert' wird.

Diese Parameter lassen sich durch verschiedene Maßnahmen in der Kulturführung optimieren. Leider kann man hier bei einigen der Maßnahmen von einem "Ertrags-Geschmacksdilemma" (Hornischer und Koller 2005) sprechen. So hat beispielsweise eine defizitäre Bewässerungsmenge zwar einen positiven Einfluss auf verschiedene Parameter der Fruchtqualität (Lu et al. 2021; Lu et al. 2019), jedoch einen negativen Effekt auf den Ertrag (Lu et al. 2019). Weitere wesentliche Maßnahmen und Einflussgrößen auf den Geschmack von Tomaten sind die Wahl der Sorte, die Düngung, die Einstrahlungsstärke, die Temperatur und der Erntezeitpunkt, sowie die Lagerung des Erntegutes.

3.2. Anbau auf gewachsenem Boden

Um ökologisch nachhaltig möglichst hochwertige Tomaten zu produzieren, ist es der Anspruch und der Kern des Projektes, Tomaten auf gewachsener Erde zu produzieren, denn diese Form des Anbaus entspricht den natürlichen Prinzipien eines Ökosystems. Es wird hierbei die Hypothese aufgestellt, dass Pflanzen nur auf gewachsenem Boden ihre volle Funktionalität und Widerstandsfähigkeit entwickeln können. Denn die Interaktionen und Reaktionen in der Rhizosphäre, also zwischen Boden, verschiedenen Pflanzen und Organismen, sind komplex und erfüllen zahlreiche Funktionen. So komplex, dass längst nicht alle Wirkungsmechanismen und Wechselwirkungen verstanden sind (Ichihashi et al. 2020). Erdelose, hydroponische Anbausysteme berücksichtigen aber nur all jene Wechselwirkungen, die bereits bekannt sind, denn hier müssen, abgesehen von Verunreinigungen durch zum Beispiel Algen oder Agrobakterien, jegliche Substanzen und Organismen gezielt zugegeben werden. Das macht

das System kontrollierbarer, setzt jedoch voraus, dass bereits alle wesentlichen Wirkungsmechanismen vollständig verstanden und in hydroponischen Systemen imitierbar sind. Wirksam für die Leistung der Pflanzen sind jedoch nicht nur mineralische Nährstoffe, denn Pflanzen können auch Nährstoffe in organischer Form, etwa Stickstoff in Form von Aminosäuren (Näsholm et al. 2000), aus dem Boden aufnehmen. Ebenso sind sie in der Lage, auch andere Substanzen wie Biostimulanzien mit Wirkung auf Fruchtqualität (Parađiković et al. 2011), Nährstoffnutzungseffizienz oder Widerstandsfähigkeit gegen biotischen und abiotischen Stress (Drobek et al. 2019) aufzunehmen, beispielsweise Humin- oder Fulvinsäure (Drobek et al. 2019). Einige dieser Substanzen können hydroponischen Systemen zwar beigelegt werden, doch ist es fraglich, ob sie alle bereits bekannt sind. Auch sind nicht alle stabil genug, um gezielt zugesetzt werden zu können. Daher ist zu bezweifeln, ob eine Pflanze in einer Nährlösung ihre volle Funktionalität entfalten kann, da der Stoffwechsel auf die ins System eingespeisten Substanzen beschränkt bleibt. Der Anbau in erdelosen Verfahren ist damit kein Ökosystem mit selbstregulierenden Eigenschaften mehr, sondern muss konstant überwacht werden.

Ein weiterer Punkt, der für den Anbau auf gewachsener Erde spricht, ist, dass dabei auf eine Versiegelung des Bodens verzichtet werden kann, die im erdelosen Anbau notwendig ist. So bleibt der Boden als Lebensraum für verschiedenste Organismen erhalten. Auch können durch Nutzung des vorhandenen Substrats, dem Boden, Ressourcen eingespart werden, da kein Substrat aufwendig produziert, importiert und entsorgt werden muss. Der Anbau auf gewachsenem Boden entspricht daher dem Ansatz eines nachhaltigen Tomatenanbaus.

Die wichtigste Frage hierbei ist, wie ein geschützter Anbau auf gewachsenem Boden unter Aspekten der Bodenfruchtbarkeit und des Schädlingsdrucks bewerkstelligt werden kann. So entstand die Idee der Mobilität des geschützten Raumes. Mit Hilfe eines beweglichen Glashauses oder Folientunnels ist es möglich, die Fruchtfolge erheblich zu erweitern und der Bodenmüdigkeit und der Versalzung entgegen zu wirken. Nach der Tomate können Folgekulturen mit vergleichsweise geringem Deckungsbeitrag angebaut werden, da der geschützte Raum an eine andere Position verschoben wird. So können weite und vielfältige Fruchtfolgen gewährleistet werden, was den Boden fruchtbar hält und Schadorganismen einzudämmen hilft. Bei einem Anbau im mobilen Glashauss oder Folientunnel auf gewachsenem Boden ist der Umgang mit diesem essenziell und letztendlich ausschlaggebend

dafür, wie ökologisch und ökonomisch das System sein kann. Eine Bewirtschaftung sollte daher grundsätzlich auf eine größtmögliche Steigerung der Bodenfruchtbarkeit abzielen. Durch einen sorgsamem Umgang mit dem Boden kann in diesem System sogar Humus aufgebaut, und so aktiv Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre gebunden werden. Voraussetzung für einen erfolgreichen Anbau von Tomaten auf gewachsenem Boden ist die Eignung des Bodens selbst. Für den Anbau von Tomaten sollte der Boden einen pH-Wert zwischen 6 und 6,5 aufweisen (Santos und Torres-Quezada 2018). "Mittelschwere, möglichst tiefgründige, gut drainierte, humusreiche Böden" (Hornischer und Koller 2005) sind wichtig für optimales Pflanzenwachstum.

Im geplanten Anbausystem sollen die Tomaten auf gewachsener Erde gepflanzt werden. Für den Anbau auf gewachsener Erde sollte der Boden folgende Eigenschaften aufweisen: pH zwischen 6 und 6,5, mittelschwer, tiefgründig, gut drainiert und humusreich. Um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten soll der geschützte Raum beweglich sein.

3.2.1. Bodenbearbeitung

Die Art und Weise der Bodenbearbeitung trägt einen entscheidenden Anteil an der Fruchtbarkeit des Bodens und sollte mit möglichst geringem Pflugeinsatz bewerkstelligt werden, um Bodenorganismen (D'Hose et al. 2018) und Bodenstruktur zu schonen. Da sich etwa 60 % der Wurzel der Tomate in den oberen 30 cm des Bodens befinden (Heuvelink und Okello 2018), ist eine gute Bodenstruktur essentiell. Durch die Mobilität des geschützten Raumes ist es möglich, die Bodenbearbeitung durchzuführen, ehe Glashaus oder Folientunnel an Ort und Stelle gebracht wird. Auch die Grunddüngung kann zu diesem Zeitpunkt durchgeführt werden. Nach der Ernte kann dann die anschließende Bearbeitung ebenfalls wieder außerhalb des geschützten Raumes stattfinden. Dies hat den Vorteil, dass sowohl für die Bodenbearbeitung, als auch für die Grunddüngung selbst größere landwirtschaftliche Maschinen eingesetzt werden können. Durch an die Arbeitsbreite angepasste Maße des geschützten Raumes (Kapitel 4.2.) wird dabei sichergestellt, dass keine Fundamente o.ä. dabei im Wege sind.

Die Bodenbearbeitung kann durch die Mobilität des geschützten Raumes jeweils vor, beziehungsweise nach der Überdachung stattfinden. Sie soll unter möglichst geringem Pflugeinsatz bewerkstelligt werden.

3.2.2. Mulch

Die Bedeckung des Bodens durch eine Mulchschicht wirkt sich in vielen Aspekten positiv auf den Boden aus. Ein wesentlicher Faktor ist, dass die Feuchtigkeit besser im Boden gehalten wird und die Bodenverdichtung reduziert wird (Petrikovszki et al. 2018). Petrikovszki et al. (2018) konnten zudem einen verringerten Unkrautdruck feststellen. Durch Mulch gehemmt werden dabei allerdings nur Unkräuter, die sich über Samen verbreiten, was vermutlich mit dem durch den Mulch verringerten Lichteinfall auf die Erde zu erklären ist (Budelman 1988). Auch trägt Mulchmaterial unter den Pflanzen dazu bei, dass die Bodentemperaturen konstanter bleiben und weniger stark schwanken (Petrikovszki et al. 2018), wenngleich die Bodentemperatur im Gewächshaus ohnehin weniger Schwankungen unterliegt. Aufgrund der abweichenden Farbe der Oberfläche durch das Mulchmaterial verändert sich zudem das Abstrahlungs- und Adsorptionsverhalten des Bodens. Unter dunklen Mulchmaterialien erwärmt sich der Boden wesentlich schneller (Amare und Desta 2021), während helle Materialien wie Stroh oder Papier die Strahlung reflektieren, was zu einer langsameren Erwärmung des Bodens führt. Solche Unterschiede sind gerade im Frühjahr von Bedeutung.

Ein aufgrund "seiner geringen Kosten, der Verfügbarkeit und seiner physikalischen Eigenschaften" (Tofanelli und Wortman 2020) beliebtes Mulchmaterial ist Polyethylen. Zwar können Boden-pH und elektrische Leitfähigkeit des Bodens durch Polyethylenmulch erhöht werden, was zu reduziertem Pflanzenwachstum führen kann (Zhang et al. 2019), doch wird der Fruchtertrag von Tomaten durch den Einsatz von Mulch aus Polyethylen erhöht (Ozer 2017). Durchschnittlich kann mit Mulch aus Polyethylen einen Ertragszuwachs von etwa 30 % gegenüber unbedecktem Boden erzielt werden (Tofanelli und Wortman 2020). In Bezug auf die Umwelt ist Polyethylen jedoch kritisch zu bewerten, da es auf Basis von Erdöl hergestellt und nicht wiederverwendet wird.

Aus diesem Grund soll der Fokus auf biologisch abbaubare Mulchmaterialien gelegt werden. Diese zeigen zudem weitere Wirkungen auf den Boden, da durch die Abbaubarkeit eine biologische Interaktion des Mulchmaterials mit dem Boden gegeben ist. Hier ist jedoch zu unterscheiden zwischen pflanzlicher Biomasse wie Stroh oder Transfermulch, Mulchmaterialien auf Papierbasis und biologisch abbaubaren Kunststoffen aus Stärke.

Mulch aus pflanzlicher Biomasse bietet zahlreichen Bodenlebewesen Habitat und Nahrungsquelle. Eine stabile und diverse Bodenfauna stärkt die Bodengesundheit, da bodenbürtige Krankheiten und Schädlinge sich nicht ungehindert vermehren können. Außerdem werden die im Mulch enthaltenen Nährstoffe von den Bodenlebewesen umgesetzt und mit der Zeit freigegeben und es findet ein langfristiger Humusaufbau statt. Bei der Verwendung von Mulchmaterialien mit einem weiten C/N-Verhältnis kann es jedoch zu einer vorübergehenden Festlegung von Stickstoff kommen. Um einen Mangel an pflanzenverfügbarem Stickstoff vorzubeugen, sollte in diesem Falle zusätzlicher Stickstoff gegeben werden. Zudem neigen organische Mulchmaterialien wie beispielsweise Stroh unter feuchten Bedingungen zu Anfälligkeit gegenüber Pilzen. Dies ist bei der Bewässerungsführung zu berücksichtigen. Eine Bewässerung unterhalb des Mulches kann dem entgegenwirken. Pflanzliche Mulchmaterialien könnten außerdem je nach Art des Materials durch enthaltene Phytochemikalien (Moonen und Barberi 2006) wie allelochemische Substanzen oder Herbizide nicht nur das Wachstum des Unkrautes hemmen, sondern auch das der Tomate. Dies ist jedoch eher unwahrscheinlich. Für eine negative Wirkung müssten größere Mengen an wachstumshemmenden Phytochemikalien oder Herbiziden enthalten sein, um den Tomatenpflanzen zu schaden, da Tomaten nicht bereits als Keimlinge, sondern erst als Jungpflanzen diesem Risiko ausgesetzt wären. Stroh als Mulchmaterial scheint sich positiv auf Wachstum und Entwicklung von Tomatenpflanzen auszuwirken. Feng et al. (2020) stellten fest, dass durch das Mulchen mit Stroh das Wachstum der Tomatenpflanze und der Chlorophyllgehalt ihrer Blätter signifikant erhöht werden können. Auch der Anteil an Zuckern in den Früchten, und damit der Geschmack, nahmen zu. Der Fruchtertrag von Tomaten in einem Anbausystem mit Stroh liegt dabei geringfügig niedriger als bei der Verwendung von Polyethylen als Mulchmaterial (Biswas et al. 2016), dafür sind die Kosten geringer.

Biologisch abbaubares Papier eignet sich ebenfalls für den Einsatz als Mulchmaterial in der Tomatenproduktion, auch wenn die Interaktionen mit Boden und Bodenfauna mit denen von

pflanzlicher Biomasse nicht zu vergleichen sind. Jedoch kann die elektrische Leitfähigkeit des Bodens gesenkt, und die Aktivität der Bodenenzyme erhöht werden. Dies resultiert in einem erhöhten Pflanzenwachstum und Ertrag (Zhang et al. 2019), der im Schnitt nur 7,3 % unter dem Ertrag von mit Polyethylen gemulchten Kulturen liegt (Tofanelli und Wortman 2020).

Interessant ist auch der Einsatz von Plastik aus Stärke oder Maisstroh. Moreno et al. (2013) fanden heraus, dass die Erträge bei Verwendung dieses Materials mit den Erträgen bei Verwendung von Plastikfolie aus Polyethylen mithalten konnten. Tofanelli und Wortman (2020) bestätigen dies. Der wesentliche Vorteil gegenüber Polyethylen ist dabei die biologische Abbaubarkeit.

Aufgrund der positiven Auswirkungen auf Bodenfruchtbarkeit und Humusaufbau soll im geplanten Anbausystem pflanzliche Biomasse als Mulchmaterial verwendet werden.

3.3. Die Wahl der Sorte

Die Wahl der Sorte ist eine wesentliche Entscheidung mit erheblichen Auswirkungen auf die geschmackliche Qualität des Produktes, aber auch in Bezug auf Ertrag und Vermarktungsstrategie der Tomaten, denn die Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten sind groß, ebenso wie die verfügbare Auswahl an Sorten. Dies ist wohl auf die lange Geschichte und Züchtung der Tomaten zurück zu führen. Nach der Einführung der Tomate nach Europa zu Beginn des sechzehnten Jahrhunderts (Harvey et al. 2003) blieb zwar zunächst die Skepsis gegenüber der neuen Frucht aus den Anden, doch nach und nach erfreute sich die Tomate zunehmender Beliebtheit als Nahrungsmittel. Zahlreiche Menschen begannen, die Tomate züchterisch zu bearbeiten, und so entstanden im Laufe der Jahrhunderte in Europa, Asien und Amerika mehrere Tausend verschiedene Sorten. Die Vielfalt scheint enorm zu sein, sollte jedoch nicht hinweg täuschen über den Umstand, dass die genetische Vielfalt der Tomate sehr begrenzt ist (van Heusden und Lindhout 2018). Ein Großteil der Sorten stammt von den einst nach Europa eingeführten Tomatenpflanzen ab, was zu Inzucht und genetischem Flaschenhals führte. Erst später begann man, wieder wilde Verwandte der Tomate, etwa *Lycopersicon pimpinellifolium* in die Tomate einzukreuzen (van Heusden und Lindhout 2018).

Zwischen den verschiedenen Sorten der Tomate gibt es starke Unterschiede bezüglich der Inhaltsstoffe. So variieren etwa der Gehalt an Karotinoiden, phenolischen Substanzen und Ascorbinsäure (Erba et al. 2013; Mohammed et al. 2012). Mohammed et al. (2020) konnten signifikante Unterschiede im Gehalt von Mineralen und der Trockensubstanz feststellen. In Folge unterscheiden sich die verschiedenen Sorten auch geschmacklich enorm, wie sicher jede Tomatenliebhaberin und jeder Tomatenliebhaber, die/der je das Glück hatte, an einer Tomatenverkostung teilgenommen zu haben, bestätigen kann.

Mit Beginn des kommerziellen Anbaus von Tomaten fokussierte sich die Züchtung jedoch zunehmend auf Ertrag, Lagerfähigkeit, Uniformität der Früchte und Resistenzen gegen Schädlinge und Pathogene (Folta und Klee 2016). Hybridpflanzen hielten Einzug in die Glashäuser. Durch die Nutzung des Heterosiseffektes können sie einen hohen Ertrag gewährleisten. Obwohl die daraus entstandenen Züchtungen und Hybride heutzutage allgegenwärtig sind, erfreuen sich unter Konsumentinnen und Konsumenten besonders die alten Sorten wieder großer Beliebtheit (Joseph et al. 2017). Sie weisen nicht nur eine enorme Vielfalt an Farben und Formen auf, sondern besitzen zumeist einen unverwechselbaren Geschmack. Und genau das vermissen Konsumentinnen und Konsumenten bei vielen Tomaten: bessere geschmackliche und aromatechnische Qualitäten (Folta und Klee 2016). Langsam scheint dies auch in Züchtung und Erwerbsanbau zu einer Umkehr zu führen. In den Supermärkten tauchen immer vielfältigere Tomaten mit dem Namen "Ochsenherz" oder "Green Zebra" auf (Abbildung 1) – Namen von alten Tomatensorten. Was Konsumentinnen und Konsumenten alten Sorte verspricht, sind in der Regel jedoch Neuzüchtungen und Hybridsorten, deren Erscheinungsformen der ursprünglichen Sorte nachempfunden sind.



Abb. 1: Vielfalt der Tomatenauswahl im Supermarkt (Teegut, Deutschland). Quelle: eigene Aufnahme (2020)

Denn die so genannten alten Sorten haben einige Nachteile: Sie sind häufig anfälliger gegenüber Pathogenen und Schädlingen, weniger ertragreich, nur kurze Zeit lagerfähig und in Größe und Form nicht homogen. Aus letzterem Grund besitzen zahlreiche alte Sorten in Deutschland keine Zulassung zum erwerbsmäßigen Anbau. Doch während Tomatenzüchterinnen und Tomatenzüchter in der Vergangenheit primär Wert auf Ertrag, Haltbarkeit und Stressresistenzen legten, rücken nun Geschmack und Nährwert zurück in den Fokus der Züchtung (Paolo et al. 2018). Neue Sorten mit verbesserten geschmacklichen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften könnten also in Zukunft Konsumentinnen und Konsumenten überraschen. So setzt der niederländische Tomatenproduzent Stoffels bei der Auswahl seiner Tomatensorten auf geschmacksintensive Neuzüchtungen, um Kunden zu gewinnen. Die von ihm unter dem Namen Toma'dor angebotenen Tomaten haben sich mittlerweile unter Konsumentinnen und Konsumenten einen Namen gemacht, wie aus eigenen Beobachtungen hervorgeht. Dies zeigt, dass guter Geschmack zwar vor allem mit alten Sorten assoziiert wird, jedoch auch durch Neuzüchtungen wieder erreicht werden kann.

Für den erwerbsmäßigen Anbau ist eine sorgfältige Auswahl der Tomatensorte jedoch nicht nur aufgrund des Geschmacks von entscheidender Bedeutung. Tomatensorten müssen zahlreiche weitere Kriterien erfüllen. Zunächst ist dafür der angestrebte Verwendungszweck entscheidend. Für den Frischeverzehr beispielsweise ist die Lagerfähigkeit von immenser

Wichtigkeit. Auch spielen hier Form, Farbe und Größe der Tomate eine bedeutende Rolle. So gibt es etwa runde und ovale Tomaten, Fleischtomaten, Roma-Tomaten, Rispentomaten oder Kirschtomaten bzw. Cherrytomaten. Auch im Falle einer Verarbeitung müssen grundlegende Kriterien beachtet werden. Gerade für passierte Tomaten sollten der Anteil an Samen in der Frucht gering, und der Anteil an gelösten Festbestandteilen (°Brix) verhältnismäßig hoch sein. Dieser Anteil an gelösten Festbestandteilen in einer Lösung zeigt die Gesamtmenge der im Fruchtfleisch enthaltenen gelösten Festbestandteile, die sich in "schätzungsweise 65 % Zucker (Sucrose und Hexosen), 13 % Säuren (Citrat und Malat) und 12 % andere untergeordnete Bestandteile (Phenole, Aminosäuren, lösliche Pektine, Ascorbinsäure und Minerale)" (Lu et al. 2021) aufteilen. Ebenso für die Weiterverarbeitung von Bedeutung ist die Trockenmasse der Früchte. Wenigstens 5 % sind hier angebracht, besser jedoch 8-10 % Trockenmasse. Auch die Viskosität, die durch den Anteil unlöslicher Festbestandteile wie Proteine, Pektine, Zellulose und Polysaccharide bestimmt wird (Berry und Uddin 1991), und ein frischer Geschmack (Chong et al. 2009) spielen genauso eine Rolle wie der Gehalt an dem Karotenoid Lycopin. Dieses ist nicht nur ein wertvolles Antioxidans, sondern auch für eine intensive Färbung des Produktes entscheidend. Lycopin wird durch die Verarbeitung von Tomaten im Produkt konzentriert (Górecka et al. 2020).

Grundlegend ist zu entscheiden, ob die Wuchsform der Pflanze determiniert sein soll, wie es im Freilandanbau üblich ist, oder indeterminiert. Indeterminierte Tomatensorten können eine Länge von mehreren Metern erreichen und sind daher für den Anbau im Gewächshaus prädestiniert. Für den geschützten Anbau sind indeterminierte Tomatenpflanzen von Vorteil, da so der Raum deutlich effizienter genutzt werden kann.

Laber und Lattauschke (2014) nennen zudem folgende Kriterien für die Wahl der passenden Sorte: gutes Wachstum, wenige Geiztriebe, sicherer Fruchtansatz, gleichmäßiger und hoher Ertrag, Toleranz gegen Blütenendfäule, und Resistenzen gegen diverse Schaderreger.

An die Tomatensorte werden also zahlreiche Ansprüche gerichtet. Da die Tomaten verarbeitet werden, und nur ein geringer Anteil über direkte Vermarktung in Umlauf gebracht werden soll, sind die benannten Anspruchskriterien für passierte Tomaten von Bedeutung. Zusammenfassend werden an die Sorte folgende Ansprüche gestellt:

- Hervorragende ernährungsphysiologische und geschmackliche Qualität,
- Gleichmäßiger und hoher Ertrag,
- Indeterminiertes und gutes Wachstum,
- Möglichst wenige Geiztriebe,
- Hoher Gehalt an löslichen Festbestandteilen (°Brix),
- Hoher Trockenmasseanteil von mindestens 5 %,
- Wenige und kleine Samen,
- Sicherer Fruchtansatz,
- Toleranz gegen Blütenendfäule,
- Resistenzen gegen diverse Schaderreger, wie *Verticillium*, *Fusarium oxysporum* oder *Cladosporium* (Samtflecken)

Diesen Kriterien entsprechen viele Roma-Tomaten-Sorten, die klassischerweise für die Weiterverarbeitung verwendet werden. Dennoch eignen sie sich auch gut zum Frischeverzehr, etwa als Salattomaten. Die San Marzano-Tomatensorte 'Agro' beispielsweise besitzt Früchte mit etwa 90 g Fruchtgewicht (Glawe und Große Lengerich 2017) hat eine indeterminierte Wuchsform, ist resistent gegen *Fusarium oxysporum*, Tomaten-Mosaik-Virus, *Verticillium* (Glawe und Große Lengerich 2017) und besitzt einen guten Geschmack. Auch die Tomatensorte 'Bolstar Sensatica' mit etwa 80 g schweren Früchten, aber etwas höherem Ertrag (Glawe und Große Lengerich 2017) hat einen sehr guten Geschmack und Resistenzen gegen *Verticillium*, *Fusarium*, Tomatenmosaikvirus und *Cladosporium* (De Bolster Biologische Zaden 2017).

3.4. Veredelung

Im Anbau auf Erde können bodenbürtige Schaderreger große Probleme bereiten. Zwar führt die erweiterte Fruchtfolge, die durch den Einsatz eines mobilen geschützten Raumes erreicht werden kann, zu einer deutlichen Entlastung, doch sollte grundsätzlich das Prinzip der Vorsorge gelten, um Risiken zu minimieren. Eine wichtige vorbeugende Maßnahme gegen bodenbürtige Schaderreger ist daher der Einsatz von veredelten Tomaten. Die veredelten Jungpflanzen sind im Preis um einiges teurer als herkömmliche Jungpflanzen. Djidonou et al. (2013) schätzen die Kosten in Florida, USA für veredelte Tomatenpflanzen auf 0,67 \$ im Vergleich zu 0,15 \$ für unveredelte Jungpflanzen. Das entspricht mehr als dem vierfachen Preis. Dafür bringt die Veredelung einige wesentliche Vorteile mit sich. Durch die Auswahl einer geeigneten Veredelungsunterlage können zahlreiche Resistenzen, gegen bodenbürtige Schaderreger wie etwa gegen *Fusarium oxysporum* oder Nematoden, erreicht werden (Laber und Lattauschke 2014; Singh et al. 2017). Gerade alte Tomatensorte haben hier sonst häufig ihre Probleme. Zudem zeigen veredelte Tomatenpflanzen eine erhöhte Blattfläche und auch die Erträge nehmen um etwa 20 % zu im Vergleich zu wurzelechten Tomatenpflanzen (Di Gioia et al. 2010).

Laut Di Gioia et al. (2010) verändert sich durch die Veredelung der Geschmack der Früchte nicht. Davis et al. (2008) stimmen zwar zu, dass Fruchtgröße, Ertrag und Fruchtqualität durch die aufgepfropfte Pflanze bestimmt werden, geben jedoch zu bedenken, dass die Veredelungsunterlage diese Eigenschaften drastisch verändern kann. In der Literatur sind hier die verschiedensten Ergebnisse erzielt worden (Davis et al. 2008). Das tatsächliche Resultat scheint demnach vor allem von der Kombination von Unterlage und Edelreis abhängig zu sein.

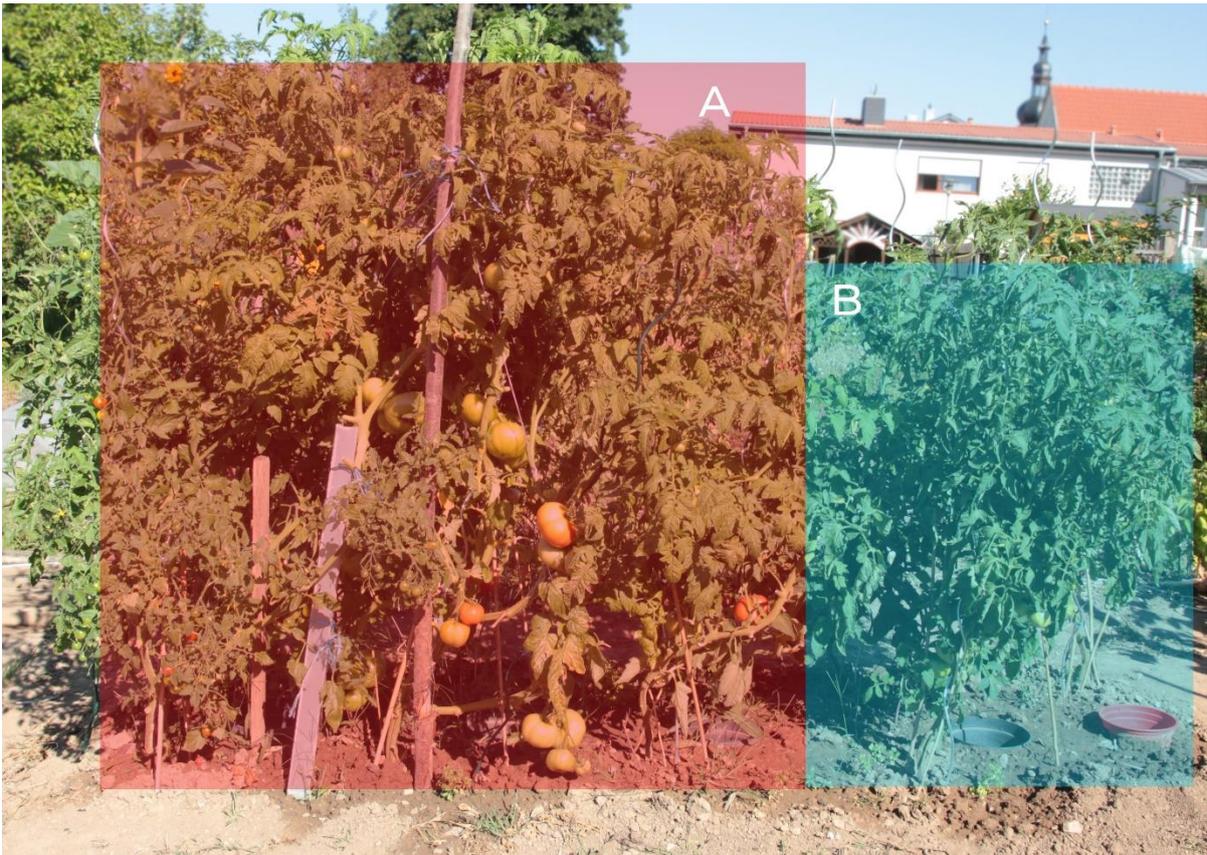


Abb. 2: Veredelte Tomaten (A) und Tomaten auf eigener Wurzel (B) im direkten Vergleich. Quelle: eigene Aufnahme (2020)

Der Einsatz veredelter Jungpflanzen ist bei sorgfältiger Auswahl der Kombination sinnvoll, um im Anbau auf Erde erhöhte Erträge und eine geringere Krankheitsanfälligkeit zu erreichen, ohne dabei Einbußen in der Qualität des Produktes hinnehmen zu müssen.

3.5. Kulturdauer

Ein Anbau von Tomaten soll nicht ganzjährig stattfinden, da die Einstrahlungsstärke in den Wintermonaten erheblich geringer ist und in dieser Zeit das Aroma der Tomatenfrüchte unter dem verringerten Lichteinfall leidet. Eine unter hoher Einstrahlung gewachsene und gereifte Tomate kann durch die erhöhte Photosyntheseleistung deutlich mehr Zucker produzieren und einlagern als eine unter niedriger Einstrahlung wachsende Pflanze. Außerdem beeinflusst eine hohe Lichteinstrahlung den Anteil an löslichen Festbestandteilen (°Brix) und titrierbarer Säure, beides Merkmale der Fruchtqualität, positiv (Claussen et al. 2006). Die UV-A Strahlung leistet hier einen wichtigen Beitrag: Tomaten, die vor ihrer Ernte einer moderaten UV-A Strahlung ausgesetzt sind, haben eine verbesserte Fruchtqualität, da sie reicher an Antioxidantien und phenolischen Substanzen wie etwa Flavonoiden sind (Mariz-Ponte et al. 2019). Tomaten schmecken daher in den Sommermonaten meist besser (Kowalczyk et al. 2011). Zudem ist ein Anbau über die Wintermonate nach ökologischen Gesichtspunkten fraglich, denn die Pflanzen müssen unter hohem energetischem Aufwand beheizt und beleuchtet werden.

Die Jungpflanzen sollten daher erst im Frühjahr in das Gewächshaus gebracht werden. Laber und Lattauschke (2014) empfehlen für einen Anbau der Tomate als Hauptkultur im beheizbaren Gewächshaus auf Boden einen Pflanztermin in der 15. Kalenderwoche, also Anfang April. Die Ernte würde sich demnach über einen Zeitraum zwischen der 23. Kalenderwoche (Juni) und 43. Kalenderwoche (Oktober) erstrecken. Dies entspräche einer Erntedauer von 21 Wochen, über die gesamten Sommermonate. Auf dem niederösterreichischen Zinsenhof bei Melk liegen diese Termine ähnlich (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). So kann die hohe Lichteinstrahlung voll ausgenutzt werden. Für das geplante Anbausystem sollen die Anbaudaten für Tomaten auch in diesem Rahmen liegen. Die genauen Anbaudaten müssen jedoch auf die Fruchtfolge abgestimmt werden (siehe Kapitel 4.5.).

Die Kulturdauer der Tomate im geplanten Anbausystem erstreckt sich nur über das Sommerhalbjahr von April bis Oktober.

3.6. Pflanzung

Die Pflanzgeometrie hat einen entscheidenden Einfluss auf Wachstum und Entwicklung der Pflanzen. Hier geht es sowohl um die Dichte der Pflanzen, als auch um die Anzahl an Trieben, die gezogen werden.

Wenngleich die Qualität der Früchte in Bezug auf Anteil an löslichen Festbestandteilen, Zitronensäure-, Karotinoid-, und Lycopingeht, sowie pH-Wert durch eine veränderte Pflanzdichte oder Triebanzahl in hydroponischen Systemen nicht beeinträchtigt wird (Cardoso et al. 2018), so sind im Anbau auf gewachsenem Boden Wasser und Nährstoffe eingeschränkter verfügbar. Es ist daher mit Konkurrenz zu rechnen. Dies kann, wie bei Mais beobachtet, zu einer Reduktion der Inhaltsstoffe der Früchte führen (Maddonni und Otegui 2006) und die Produktion von allelopathischen Substanzen zur Abwehr reduzieren (Rivoal et al. 2011).

Die Dichte der Pflanzen und die Anzahl an Trieben haben jedoch auch einen wesentlichen Einfluss auf die Produktivität des Systems. Sowohl eine höhere Pflanzdichte, als auch eine größere Anzahl an Trieben führen zu einer erhöhten Gesamtproduktion (Cardoso et al. 2018). Wie hoch die Dichte beziehungsweise Anzahl an Trieben sein soll, hängt jedoch maßgeblich von der Einstrahlungsintensität ab, um Konkurrenz um Licht zu vermeiden. Viele Sonnenstunden und stark lichtdurchlässiges Eindeckmaterial erlauben eine hohe Pflanzdichte oder Anzahl mehrerer Triebe. Eine zu hohe Dichte kann jedoch zu schlechter Durchlüftung und damit der Gefahr von Pilzbefall führen.

Optimal ist in der Regel ein Pflanzabstand von 30-50 cm zwischen den Pflanzen, je nach Sorte, und 80-100 cm zwischen den Reihen (Valera et al. 2016), wobei aus der Praxis auch geringere Abstände wie etwa 70 cm zwischen den Reihen bekannt sind (Aldenhoff 2016). Seleguini et al. (2006) beobachteten dabei den höchsten Ertrag an Tomaten bei einem Pflanzabstand zwischen den Pflanzen von 30 cm. Eine Doppelreihige Pflanzgeometrie hat allerdings auch ihre Vorteile, denn enge Doppelreihen können zu einem höheren Tomatenertrag und drastisch reduzierten Bewässerungskosten führen (Badr et al. 2016). Dafür ist die Durchlüftung bei doppelreihigem Anbau allerdings geringer, was gerade in biologischen Anbausystemen fatale Auswirkungen in Bezug auf Pilzbefall haben kann. Der Abstand zwischen den Reihen hängt jedoch nicht nur von Lichteinstrahlung und Durchlüftung ab, sondern sollte auch auf die

Gesamtbreite des zur Verfügung stehenden Gewächshauses angepasst werden, so dass dieses optimal ausgenutzt werden kann. Bei einer Breite im Dreimeter-Raster (Kapitel 4.2.) wäre ein Reihenabstand von 75 cm optimal.

Was die Anzahl der Triebe anbelangt, so sollte berücksichtigt werden, dass eintriebige erzogene Tomatenpflanzen insgesamt größere und gleichförmigere Früchte hervorbringen als mehrtriebige erzogene Tomatenpflanzen (Cardoso et al. 2018). Andererseits ist der Gesamtertrag pro Pflanze natürlicherweise geringer, als wenn diese mehrere Triebe hätte (Cardoso et al. 2018). Deshalb spielen hier die Kosten pro Jungpflanze eine entscheidende Rolle, da diese nicht außer Acht zu lassen sind. In der Regel wird daher ein zweitriebiger Anbau bevorzugt. Moderne Gärtnereien wie etwa die Neurather Gärtner, die sehr lichtdurchlässige Eindeckmaterialien gewählt haben, setzen dabei teilweise sogar auf dreitriebige Erziehung (Aldenhoff 2016).

Im geplanten Anbausystem sollen die Tomatenpflanzen zweitriebig erzogen werden, mit einem Abstand zwischen den Reihen von 75 cm.

3.7. Pflanzenschutz

Der Pflanzenschutz folgt im geschützten Anbau in Europa in der Regel den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes. Auch im geplanten Anbausystem sollen diese Prinzipien berücksichtigt und möglichst auf chemischen Pflanzenschutz verzichtet werden. Integriertes Management über Prävention und Nützlingseinsatz sind hier zielführend. Präventionsmaßnahmen sind beispielsweise der Einsatz schädlings- und krankheitsfreien Pflanz- und Saatgutes, die Verhinderung des Zuflugs von Schädlingen und die Förderung der Bodenaktivität. Durch die erweiterte Fruchtfolge im mobilen Glashaus oder Folientunnel können Krankheiten und Schädlinge dabei drastisch reduziert werden. Zudem wird der Boden regelmäßig durch Verschiebung des Raumes der Witterung ausgesetzt. UV-Licht, Wind und Frost können so ihren Teil zur Schädlings- und Krankheitsbekämpfung beitragen.

Jedoch könnten Unkräuter zum Problem werden, da die mechanisierte Unkrautbekämpfung im geschützten Raum schwer umsetzbar ist. Gerade im Falle eines mobilen geschützten

Raumes können über die Kulturen im ungeschützten Anbau Unkrautsamen in die Erde gelangen und später im Gewächshaus keimen. Auch bereits zuvor im Boden befindliche Unkrautsamen können Probleme bereiten. Eine gute Feldhygiene in den Vorgänger- und Nachfolgekulturen der Tomate ist also essenziell, da die Unkrautbekämpfung im geschützten Raum voraussichtlich manuell erfolgen muss. Der Unkrautdruck wird jedoch durch Mulchen (Kapitel 3.2.2.) und ein wurzelnahes Bewässerungssystem minimiert.

Im Anbausystem soll nach den Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes bewirtschaftet werden. Prävention durch Feldhygiene spielt eine wichtige Rolle, ebenso wie die Verwendung von Mulch und der Einsatz eines wurzelnahen Bewässerungssystems zur Vorbeugung von Unkräutern.

3.8. Bewässerung

Die genaue Bewässerungsmenge für Tomaten ist von verschiedenen Parametern abhängig, wie dem Entwicklungsstadium der Pflanzen, der jeweiligen Einstrahlungsintensität, Tages- und Jahreszeit, sowie vom CO₂-Gehalt in der Luft und der Bodenart, und kann durch Sensoren wie Tensiometer überwacht werden (Lattauschke 2020). Grundsätzlich orientiert sie sich an der Evapotranspiration der Tomatenpflanze und beträgt laut Santos und Torres-Quezada (2018) im geschützten Raum im Durchschnitt etwa 8 l/m²/Tag.

Die Bewässerung hat jedoch nicht nur einen Effekt auf Pflanzenwachstum und Ertrag, sondern auch auf die Fruchtqualität (Ripoll et al. 2014). Laut Arbex de Castro Vilas Boas et al. (2017) und Patanè et al. (2011) ist für die bestmögliche Qualität der Früchte ein moderates Wasserdefizit von 60 % beziehungsweise 50% der evapotranspirierten Wassermenge von Vorteil. So erhöht sich beispielsweise der Gehalt an Vitamin C deutlich durch die knappe Bewässerung im Gegensatz zu normaler Bewässerungsmenge (Lu et al. 2019). Auch nimmt die Trockenmasse der Früchte durch ein moderates Wasserdefizit zu (Ripoll et al. 2014), was sich positiv auf den Geschmack auswirkt (Heuvelink et al. 2018)

Ein moderates Wasserdefizit verbessert so zwar den Geschmack, führt aber auch zu einem Ertragsverlust an Frischmasse, gleichwohl die Tomatenpflanze durch Wassermangel ihre

Wassernutzungseffizienz erhöhen kann (Arbex de Castro Vilas Boas et al. 2017; Patanè et al. 2011). Die Förderung eines intensiven Wurzelwachstums bei sparsamer Bewässerung (Lattauschke 2020) ist hier sicher als einer der Gründe dafür zu nennen.

Der durch das Wasserdefizit herbeigeführte Ertragsverlust muss jedoch nicht negativ ausfallen, wenn ohnehin Tomaten für die Verarbeitung produziert werden (Patanè et al. 2011). Denn der Ertragsverlust ist weniger auf die verringerte Trockenmassebildung als vielmehr auf eine geringere Wassereinlagerung zurückzuführen (Arbex de Castro Vilas Boas et al. 2017). Dieser geringere Wassergehalt bringt in der Verarbeitung erheblich reduzierten Aufwand mit sich. Der Grund liegt in der verbesserten Viskosität des Tomatenpürees, vermutlich als Folge der veränderten Pektinkomposition (Arbex de Castro Vilas Boas et al. 2017).

Beim Thema Bewässerung kommt es natürlich nicht nur auf die Menge, sondern auch auf die Art der Bewässerungsgabe an. Das Bewässerungssystem ist ein essenzieller Bestandteil eines jeden Gewächshauses. Die Bewässerung ist dabei idealerweise in die Erde verlegt, so dass das Wasser direkt in den Wurzelbereich der Tomatenpflanzen injiziert wird. Das Wasser sollte dabei nicht zu kalk- und eisenhaltig sein, damit Düsen oder Poren des Bewässerungssystems nicht verstopfen. Wichtig ist auch, dass es frei an Schwermetallen, humanpathogenen Mikroorganismen und organischen Schadstoffen ist (Laber und Lattauschke 2014). Die elektronische Leitfähigkeit des Bewässerungswassers für Tomaten liegt üblicherweise zwischen 1,5 und 5 dS/m liegen, der pH-Wert im Bereich 6,5-8,4 (Santos und Salamé-Donoso 2018).

Als Bewässerungssystem soll eine wurzelnahe Bewässerung etabliert werden. Die Bewässerungsmenge soll 60 % der Evapotranspirationsmenge der Tomatenpflanzen (als Orientierung etwa 8 l/m²/Tag) betragen, um die Fruchtqualität zu optimieren.

3.9. Düngung

In Hydrokultur auf Steinwolle oder Kokosfasern, wie bei Tomaten meist üblich, erfolgt die Düngung mit der Bewässerung (Fertigation). In der Kultur auf Erde kommt auch der Boden als Nährstoffträger in Frage. So können die in der Landwirtschaft üblichen Düngemaßnahmen durchgeführt werden, wie etwa eine angepasste Fruchtfolgegestaltung und die Ausbringung mineralischer und organischer Düngemittel. Der Nährstoffbedarf einer Tomatenpflanze liegt dabei pro Tonne Ertrag bei 2,1 kg Stickstoff (N), 0,8 kg Phosphorpentoxid (P_2O_5), 4,4 kg Kaliumoxid (K_2O) und 0,4 kg Magnesiumoxid (MgO) (Lattauschke 2020). Der pH-Wert des Bodens sollte nicht niedriger als 5,5 sein (Lattauschke 2020).

Die Verwendung organischer Düngemittel trägt zu erhöhter Bodenfruchtbarkeit und der Bildung von Humus bei und sollte daher bevorzugt werden. Interessant ist dabei auch die Nutzung organischer Düngemittel zur Temperaturerhöhung im Frühjahr (Kapitel 3.8.2.). Lattauschke (2020) empfiehlt eine Menge von 25-40 t Mist/ha, jedoch ist die Menge an die Ansprüche der Tomatenpflanzen anzupassen. Für das Anbausystem zur Verfügung steht Rindermist. Eine Tonne davon enthält 4,8 kg N, 2,8 kg P_2O_5 , 8,9 kg K_2O und 1,5 kg MgO (Sradnick et al. 2017). Dieses Verhältnis an Nährstoffen entspricht nicht dem Bedarf der Tomatenpflanzen und muss durch andere Düngemittel angepasst werden. Zu berücksichtigen ist, dass sich durch die erhöhte Temperatur im geschützten Raum die Mineralisation der im organischen Dünger und im Boden enthaltenen Nährstoffe bei ausreichend Bodenfeuchtigkeit beschleunigt (Naher et al. 2019). Organische Düngemittel werden daher prinzipiell schneller pflanzenverfügbar. Dennoch wäre auch für den Anbau auf Erde eine zusätzliche Flüssigdüngung über das Bewässerungssystem denkbar. Aus Sicht der Nachhaltigkeit sind dabei organische Dünger zu bevorzugen, wie etwa Gülle oder Gärsubstrate. Es konnte sogar beobachtet werden, dass mit Gärsubstrat aus Rindergülle gedüngte Tomaten höheren Ertrag brachten als synthetisch gedüngte Tomatenpflanzen (Barzee et al. 2019). Zu beachten ist allerdings, dass die Düsen des Bewässerungssystems durch in Gülle enthaltene Partikel und Stoffe schnell verstopfen können. Aus diesem Grund ist vor Einmischen des Gärsubstrates eine Ultrafiltration (5000 Da) erforderlich (Barzee et al. 2019). So kann eine organische Flüssigdüngung in die Bewässerung integriert werden.

Wie bei der Bewässerung auch, kommt es bei der Düngung jedoch auch auf die Menge an, da zu hohe Gaben an Stickstoff den Geschmack von Tomaten negativ beeinflussen können. Empfohlen ist daher eine mittlere hohe Stickstoffversorgung (Wang et al. 2007). Doch nicht nur die Menge an Dünger, auch die Art des Düngers hat einen erheblichen Einfluss. Im Vergleich zu chemischen Düngemitteln hat etwa Gärsubstrat einen positiven Effekt auf Geschmacksparameter wie beispielsweise lösliche Zucker oder Säuregehalt in der Frucht (Zheng et al. 2020; Zheng et al. 2019). Dabei müssen nicht einmal Abstriche im Ertrag der Tomatenpflanzen gemacht werden, da dieser vergleichbar ist mit dem Ertrag chemisch gedüngter Tomatenpflanzen (Zheng et al. 2020).

Prinzipiell für die Zukunft interessant ist auch die Nutzung von Abwässern zur Bewässerung und Düngung. In Israel etwa werden 85 % des Abwassers zur Bewässerung in der Landwirtschaft eingesetzt (Gorovits et al. 2020). Probleme könnten hierbei jedoch vor allem mit im Abwasser enthaltenen Medikamenten und Drogen auftreten, die bei den Pflanzen Stressreaktionen hervorrufen können. Insbesondere das Epilepsie-Medikament Carbamazepin ist weltweit in den menschlichen Abwässern sehr stark vertreten und akkumuliert sich in Boden und Pflanze (Gorovits et al. 2020). Die Nutzung von Abwässern bedarf daher noch weiterführender Forschungsarbeit.

Um die Photosyntheseeffizienz der Pflanzen zu erhöhen und das Wachstum zu verbessern, wird in der Regel in geschlossenen Glashäusern CO_2 zugesetzt, um sich dessen Düngeneffekt zu nutzen zu machen. Ein hoher Gehalt an CO_2 in der Luft führt dazu, dass das für die Photosynthese essenzielle Enzym Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase/-oxygenase (RuBisCO) Kohlenstoff effizienter bindet. Dadurch wird die Wassernutzungseffizienz der Pflanze erhöht und die Photorespiration vermindert, was zu einem Düngeneffekt führt. Ohne den Zusatz von CO_2 in geschlossenen Glashäusern sinkt der CO_2 -Gehalt in der Glashausluft schnell auf unter 150 ppm (Laber und Lattauschke 2014), was die Effizienz der Photosynthese wesentlich beeinträchtigt. Erwünscht ist jedoch ein CO_2 -Gehalt von etwa 800 ppm. Beim Anbau auf Erde mit ausreichend hohem Gehalt an organischem Kohlenstoff jedoch kommt es zu verstärkter Bodenatmung durch die erhöhten Temperaturen (Bond-Lamberty und Thomson 2010). Eine Düngung mit CO_2 lohnt sich daher in der Regel in solch einem

Anbausystem nicht (Lattauschke 2020), zumal während der Belüftung ohnehin ein Großteil des eingeleiteten CO₂ in die Atmosphäre entweichen würde.

Der Nährstoffbedarf von Tomatenpflanzen beträgt 2,1 kg N, 0,8 kg P₂O₅, 4,4 kg K₂O und 0,4 kg MgO pro Tonne Ertrag und soll organisch gedüngt werden. Als Basis hierfür wird Rindermist verwendet. Eine CO₂-Düngung soll nicht erfolgen.

3.10. Temperaturführung

Die Temperaturführung von Tomaten orientiert sich stark an deren Wachstumsstatus. Generell ist ein Klima zwischen 15-20°C (Krug 1991) für den Anbau von Tomaten optimal. Laut Lattauschke (2020) vertragen veredelte Tomatenpflanzen auch Bodentemperaturen zwischen 12 und 15°C. Höhere Temperaturen beschleunigen jedoch den Metabolismus in der Tomatenpflanze. So werden indirekt auch die Zellstruktur, die Farbe, die Textur und die Größe der Frucht beeinflusst (Saltveit 2005). Tomaten, die bei Temperaturen von 23°C reifen, haben eine höhere Trockenmasse, mehr Geschmack und sind weniger mehlig als Tomaten, die bei 17°C heranreifen (Saltveit 2005). Zudem entwickeln sich die Früchte bei höherer Temperatur deutlich schneller (Adams 2001). Es ist jedoch die Frage, ob dieser Effekt ein Aufheizen auf höhere Temperaturen ökonomisch und ökologisch rechtfertigt, wenn sie nicht ohnehin durch Sonneneinstrahlung erreicht werden. Die exakte Temperaturführung muss an die jeweilige Sorte angepasst werden (Lattauschke 2020). Als Maximum sollten 30°C im Gewächshaus nicht überschritten werden, da dies die Biosynthese der Carotinoide (Dorais et al. 2000) in den Früchten der Tomatenpflanzen verringert und zu Sonnenbrand führen kann (Bertin 2018).

Möglichkeiten zur Steuerung der Temperatur in einem Gewächshaus umfassen die Beheizung, die Belüftung, die Beschattung und das Abschirmen mit Energieschirmen in der Nacht. Zusätzlich kann durch die Verwendung organischen Düngers Einfluss auf die Temperatur genommen werden (Kapitel 3.8.2.).

Fällt die Entscheidung im geplanten Anbausystem auf ein Glashaus, so sollte die Temperaturführung exakt an die Bedürfnisse der Tomatensorte angepasst werden. Für den Anbau im Folientunnel ist keine exakte Temperaturführung sinnvoll und möglich. Der Temperaturbereich sollte jedoch nach Möglichkeit immer zwischen 20 und 30°C liegen.

3.11. Pflegemaßnahmen

Die Kultur von Tomaten ist arbeitsintensiv. In den Niederlanden wird von fünf bis acht Arbeitskräften pro Hektar berichtet (Peet und Welles 2005). Zusätzlich zu Vorbereitung, Pflanzung, Pflanzenschutz und Ernte fallen regelmäßige Kulturarbeiten an, die im geschützten Tomatenanbau allgemein gängig sind:

- **Abhängen und Wickeln:** Im Layer-System sind die Triebe der Tomatenpflanzen an einer Schnur aufgehängt, an der sie emporranken. Damit die zu erntenden Früchte jedoch immer in erreichbarer Höhe wachsen und trotz der begrenzten Höhe des geschützten Raumes die Tomatenpflanzen mehrere Meter Höhe erreichen können, müssen sie einmal die Woche abgehängt werden. Dafür wird die Aufhängeschnur der Tomaten 20-30 cm von einem Drahtbügel abgehängt und weitergeschoben. Anschließend müssen die Tomatentriebe um die abgehängte Schnur gewickelt werden, um weiter an ihr empor zu ranken.
- **Entblättern:** Das Entfernen der unteren Blätter einer Tomatenpflanze bringt gerade bei dichten Beständen einige Vorteile mit sich. So wird die Durchlüftung des Bestandes verbessert und Schädlings- und Krankheitsdruck können reduziert werden (Hachmann et al. 2014). Gerade im Layer-System, bei dem Tomaten Stück für Stück abgehängt werden, müssen die unteren Blätter entfernt werden, um nicht auf dem Boden aufzuliegen und zu faulen. Da zudem allein das obere Drittel der Tomatenpflanze für 66% der Produktion der Photoassimilate verantwortlich ist, entfällt auf die unteren Blätter wenig photosynthetische Bedeutung (Silva et al. 2011). Diese Bedeutung nimmt mit zunehmendem Alter der Pflanze sogar stetig ab (Silva et al. 2011).
Das Entblättern sollte regelmäßig erfolgen, damit die unteren Blätter nicht zu faulen beginnen. Dabei sollten immer etwa 15-16 voll entwickelte Blätter an der Pflanze verbleiben (Lattauschke 2020).
- **Trossbügel anbringen:** In der Regel werden bis zum achten Blütenstand sogenannte Trossbügel angebracht (Lattauschke 2020), um den Fruchtstand zu stabilisieren. Geschieht dies nicht, so besteht die Gefahr, dass die Blütenstände unter der Last der Früchte abknicken.
- **Ausgeizen:** Tomatenpflanzen bilden in den Blattachsen stetig neue Seitentriebe. Lässt man all diese Triebe wachsen, so verdichten sich die Pflanzen enorm. Die

Lichtdurchlässigkeit und Belüftung ist nicht mehr gegeben, was zu Problemen mit Krankheiten, Schädlingen und verminderter Photosyntheseleistung führt. Die sehr dichte Pflanze wäre zudem kaum noch händelbar, da das Hochbinden zu unübersichtlich wäre und die Ernte durch die vielen Triebe erschwert würde. Außerdem soll die Tomatenpflanze ihre Kräfte konzentrieren, damit alle Tomatenfrüchte ausreifen. Aus diesem Grund müssen Tomatenpflanzen regelmäßig, in der Regel einmal die Woche, ausgegeizt werden. Tomatenpflanzen können allerdings auch mehrtriebzig (in der Regel zweitriebzig) erzogen werden, wobei sich der stärkste Nebentrieb unter dem ersten Fruchtstand entwickelt (Heuvelink und Okello 2018).

- Fruchtstände einkürzen: Befinden sich zu viele Früchte an einem Fruchtstand, so bleiben die Tomaten im Umfang relativ klein. Um die Fruchtgröße zu erhöhen, sollten Fruchtstände mit mehr als zehn Blüten deshalb eingekürzt werden (Laber und Lattauschke 2014). So können Wasser, Nährstoffe und Photoassimilate von der Pflanze gleichmäßig auf weniger Früchte verteilt werden und die einzelnen Früchte werden größer.
- Pflanzen kappen: Acht Wochen vor der letzten Ernte wird die Tomatenpflanze gekappt, damit sie ihre restliche Kraft in die verbleibenden Früchte stecken kann. Neue Blüten und Früchte würden vor Ende der Saison ohnehin nicht mehr ausreifen. Gekappt wird deshalb ein Blatt oberhalb des letzten Fruchtstandes mit Blüten (Lattauschke 2020).

3.12. Bestäubung

Die Bestäubung ist im geschützten Tomatenanbau von essenzieller Bedeutung, denn hier fehlen natürlicherweise Wind oder Bestäuber. Früchte mit wenigen Samen jedoch werden von Tomatenpflanzen bevorzugt abgeworfen (Heuvelink 2005a). Um dennoch stabile Erträge zu erreichen, muss auf Hilfe von Technik oder Nützlingen gesetzt werden. Bewährt hat sich hier der Einsatz von Erdhummelvölkern (*Bombus terrestris*). Ihr Einsatz erwies sich als die effizienteste Bestäubungsmethode (Ahmad et al. 2015).

Ein sogenanntes Großes Volk reicht in der Regel für 1000-2000m² oder mehr Glashaushfläche (Koppert 2020). Mindestens 80 % der Blüten sollten dabei bestäubt werden (Laber und Lattauschke 2014). Kontrollieren lässt sich die Bestäubungsquote anhand von braunen Malen, die an bereits bestäubten Blüten zu erkennen sind. Gerade zu Beginn der Blüte kann es jedoch

passieren, dass Blüten zu oft angefliegen werden, da noch zu wenige Blüten für zu viele Hummeln vorhanden sind (Laber und Lattauschke 2014). Hier hilft eine Zufütterung der Hummeln mit Pollen. Damit die Hummelvölker effektiv arbeiten können, ist ein ordnungsgemäßer Einsatz laut Herstellerangaben zu beachten. Die Bestäubung wird zusätzlich durch die Umweltbedingungen im Glashaus oder Folientunnel stark beeinflusst. Hohe Temperaturen über 40°C etwa schaden der Pollenbildung (Heuvelink und Okello 2018). Empfohlen wird eine Temperatur zwischen 17 und 24 °C (Heuvelink 2005a). Eine zu hohe Luftfeuchte kann zudem zu verklebten Pollen führen, während eine zu geringe Luftfeuchte die Narbe austrocknen lässt. Optimal ist daher eine relative Luftfeuchte von 50-90 % (Heuvelink 2005a).

Die Bestäubung soll mittels Hummelvölkern erfolgen. Hierzu werden Temperaturen zwischen 17 und 24°C und eine relative Luftfeuchte von 50-90 % angestrebt.

3.13. Ernte

Bei Bodenkultur in herkömmlichen Anbausystemen ist gegenüber Hydrokultur bei Tomaten ein Minderertrag zu erwarten. Über die gesamte Erntezeit kann in Bodenkultur in der Regel ein durchschnittlicher Ertrag von 30-35 kg/m² erzielt werden, wobei die Ernte alle drei bis vier Tage durchgeführt wird (Laber und Lattauschke 2014). Bei einem Anbau im mobilen Gewächshaus könnte der Ertrag aufgrund der verbesserten Bodenfruchtbarkeit deutlich höher ausfallen, als im herkömmlichen geschützten Anbau auf gewachsenem Boden.

Tomaten sollten prinzipiell erst ausgereift geerntet werden (Erba et al. 2013). Früchte, die hingegen zu früh abgeerntet werden, können ihren Geschmack nicht so voll entfalten, wie an der Pflanze gereifte Früchte. Nach der Ernte ist für die Geschmacksentfaltung die richtige Temperatur bei der Lagerung entscheidend. Zu kühle Temperaturen behindern die volle Entfaltung des Aromas und können sich sogar negativ auswirken (Wang et al. 2017).

Es kann auf gewachsenem Boden ein Ertrag von 30-35 kg /m² erwartet werden. Die Ernte soll erst nach dem Ausreifen der Früchte stattfinden (etwa alle 3-5 Tage).

4. Der mobile geschützte Raum

Der Mittelpunkt des geplanten Anbausystems ist die Idee eines mobilen geschützten Raumes. Diese Idee soll hier näher ausgearbeitet und präzisiert werden. Denn ist ein Glashaus oder Folientunnel erst einmal aufgebaut, wird es/er so schnell auch nicht wieder versetzt. Der große Nachteil von Glashäusern ist also, dass sie standortgebunden sind. Selbst einfache Folientunnel bleiben in der Regel so lange an einem Standort stehen, bis ohnehin die Folie ersetzt werden muss, also im Normalfall zwischen sieben und zehn Jahren (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1), je nachdem aber auch kürzer. Die Beweglichkeit eines Glashauses oder Folientunnels bietet dahingegen entscheidende Vorteile, insbesondere für die Fruchtfolgegestaltung und den Anbau auf gewachsenem Boden (Abbildung 3). Dementsprechend liegt hier gerade für den biologischen Gemüsebau entscheidendes Potential.

Die Mobilität wird dabei durch einen Bewegungsmechanismus ermöglicht, etwa Kufen, Räder oder Schienen. So kann der geschützte Raum von einer zur nächsten Position wechseln. Theoretisch können dies beliebig viele Positionen sein, doch insbesondere beim Schienensystem ist die Anzahl der verfügbaren Positionen begrenzt, da nur die Positionen angesteuert werden können, auf denen Schienen verlegt wurden. Es benötigt also mindestens so viele mögliche Positionen, wie Jahre in der Fruchtfolge vorgesehen sind.

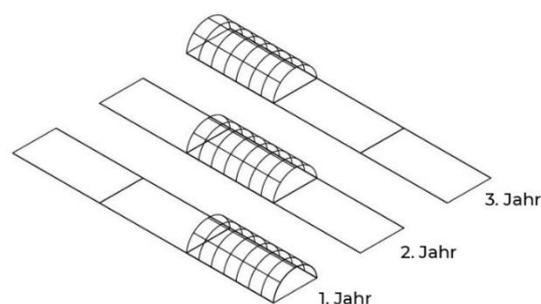


Abb. 3: Das Prinzip eines mobilen geschützten Raumes. Er kann auf verschiedene Positionen bewegt werden. Quelle: eigene Grafik (2020)

4.1. Die Idee des beweglichen geschützten Raumes

Die Idee eines mobilen geschützten Raumes ist keineswegs neu. Bereits 1913 erschien in einem britischen Fachbuch für den professionellen Gartenbau ein Abschnitt unter dem Titel 'Greenhouses On Rails' ('Glashäuser auf Schienen') (Weathers 1913). Der Autor berichtet darin, dass bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts ein Unternehmen mit dem Namen Horticultural Travelling Structures Company Glashäuser auf Schienen in Großbritannien vertreibt (Abbildung 4).

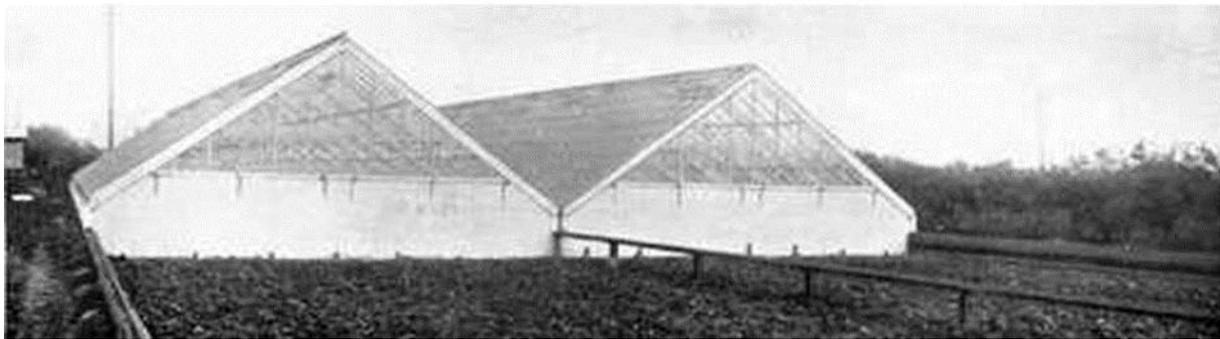


Abb. 4: Mobiles Glashaus der Horticulture Travelling Structure Company. Quelle: Weathers (1913)

Auch heute findet die Idee eines mobilen geschützten Raumes noch oder wieder mancherorts Anwenderinnen und Anwender. Eliot Coleman, amerikanischer Autor, Wissenschaftler und Landwirt setzt auf seinem biologischen Gemüsebetrieb fast ausschließlich auf bewegliche Folientunnel und wurde damit zum Pionier in den Vereinigten Staaten. Dort wurde er Vorbild für viele Betriebe und Unternehmen. Das amerikanische Unternehmen Rimol beispielsweise entwickelte ein einfaches Kalthaus, welches mittels eines simplen Schienenmodells bewegt werden kann (Rimol Greenhouse Systems 2020). Und das Unternehmen Four Season Tools vertreibt bewegliche Hochtunnel in größerem Maßstab und mit verschiedenen Bewegungsmechanismen (Four Season Tools 2020). Außerdem entstand im Zuge des SARE (Sustainable Agriculture Research and Education) Programmes zur Förderung von Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft der Vereinigten Staaten ein beweglicher Folientunnel. Es verwundert also nicht, dass in den Vereinigten Staaten einige Landwirtschaftliche Betriebe, wie etwa der Permakulturhof Milkywood und die Allsun Farm, mobile Folientunnel für den Anbau von Gemüse im Einsatz haben (Bradley 2013).

Auch in Europa wurde der Gedanke des beweglichen Folientunnels erneut aufgenommen. Wolfgang Palme von der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau (HBLFA)

Schönbrunn und seine Mitarbeiter an der Versuchsanstalt Zinsenhof entwickelte gemeinsam mit dem Folientunnelhersteller Götsch und Fälschle ein eigenes Modell. Dieses ist seit 2012 im Einsatz (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Inzwischen betreiben etwa sieben bis acht österreichische Betriebe einen solchen, oder ähnlichen beweglichen Folientunnel (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1).

4.2. Mobiler Folientunnel und mobiles Glashaus

Wie für den herkömmlichen geschützten Raum auch, gibt es für mobile geschützte Räume ebenfalls zahlreiche Ausführungsmöglichkeiten. Diese reichen von ganz einfach bis hin zu hoch technisiert und automatisiert. Im Folgenden werden zwei Lösungsmöglichkeiten vorgestellt: der mobile Folientunnel als vergleichsweise kostengünstige und einfache Variante, und das mobile Glashaus in technisierter Form.

4.2.1. Der Folientunnel



Abb. 5: Folientunnel. Quelle: Clara Coleman (2014)

Bisher liegt der Fokus der Entwicklung mobiler Überdachungsmöglichkeiten hauptsächlich im Bereich der Folientunnel (Abbildung 5). Dies mag zum Großteil dadurch begründet sein, dass der Folientunnel eine kostengünstige Möglichkeit ist, eine Kultur zu überdachen, und aus diesem Grund auch in kleinstrukturierten Betrieben eingesetzt werden kann.

Und diese Art von Betrieben sind bisher auch die Hauptanwender solcher mobilen Strukturen. Die österreichische Versuchsanstalt Zinsenhof propagiert den mobilen Folientunnel gar explizit für kleinere Betriebe (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Folientunnel bieten für den mobilen Ansatz den Vorteil, dass sie recht unkompliziert und leicht gebaut sind. Das vereinfacht die Konstruktion erheblich. So können Landwirte mit wenigen Mitteln selbst kreativ werden und einen normalen Folientunnel in einen beweglichen Folientunnel in Eigenleistung umbauen. Unter den Folientunneln ist jedoch prinzipiell zu unterscheiden zwischen zwei Varianten: So gibt es die ganz schlichten

Rundbogenfolientunnel, die im Prinzip nur aus Rundbögen und einfacher Folie bestehen. Diese werden von Coleman propagiert (Coleman et al. 2014). Die zweite Variante ist ein Folientunnel mit geraden Stehwänden. Dieser Folientunnel ist aufwendiger in der Konstruktion und kostspieliger in der Anschaffung, dafür bietet er mehr Möglichkeiten in Bezug auf Belüftung und Isolierung. Ein solcher Folientunnel in mobiler Form findet auf dem Zinsenhof in Österreich Anwendung (Palme 2019).

In dieser Arbeit soll der Fokus dieser Form des Folientunnels liegen, da sie mehr Stabilität bieten, was für die Mobilität sehr wichtig ist. Als Eindeckmaterial soll Doppelfolie verwendet werden, da diese eine recht gute Isolierung bietet. Die Giebelseiten sollen aus Stegdoppelplatten aus Polycarbonat bestehen, um ebenfalls eine gute Isolierung bei geringem Gewicht zu bieten.

Bei geeigneter Abmessung der Grundfläche des Folientunnels kann auf Spezialmaschinen für den Einsatz im Glashaus verzichtet werden, da Bodenbearbeitung und Ansaat vor Überdachung der Fläche geschehen können. Daher sollten die Maße an die in der Landwirtschaft gängige Arbeitsbreite von drei Metern angepasst sein. Als Breite für einen Folientunnel bieten sich daher neun Meter an, zuzüglich 50 cm rechts und links, um den Bewegungsmechanismus und das Fundament bei der Bodenbearbeitung nicht zu gefährden. Damit kommt man auf eine Gesamtbreite von zehn Metern für einen Folientunnel. Diese Breite besitzt auch der Rolltunnel des Versuchsgutes Zinsenhof (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Die Länge ist variabel und stark von der Exaktheit der Schienen abhängig. Denn je länger der Tunnel, desto schwieriger ist es, ausreichend Stabilität zu gewährleisten und desto wichtiger ist es, dass die Schienen eben sind. Zwanzig Meter hat sich im Einsatz bewährt (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1), geplant ist eine Länge von dreißig Metern und eine Giebelhöhe von dreieinhalb Metern.

Der mobile Folientunnel soll aufgrund der höheren Stabilität gerade Stehwände besitzen und für gute Isolierung mit Doppelfolie bedeckt sein. Die Giebelseiten bestehen aus Stegdoppelplatten aus Polycarbonat. Die Breite beträgt 10 m, die Länge 30 m und die Giebelhöhe 3,5 m.

4.2.2. Das Glashaus

Glashäuser spielen in der Entwicklung der mobilen Überdachungen bislang kaum eine Rolle. Zwar scheint ein Unternehmen namens Horticulture Travelling Structure Company zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts mobile Glashäuser gebaut zu haben (Weathers 1913), doch sind diese in Vergessenheit geraten. Versuche der österreichischen Versuchsanstalt Zinsenhof scheinen ebenfalls nicht zufrieden stellend verlaufen zu sein. So berichtet Palme, Abteilungsleiter des Zinsenhofes, dass beim Versetzen des Glashauses regelmäßig die Scheiben herausgeflogen seien, da die Konstruktion einfach zu starr war (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Zudem ist ein Glashaus eine hohe Investition. Ein solches auf Mobilität umzurüsten ist ein deutlich höheres Risiko, als dies bei Folientunneln der Fall ist, zumal Glashäuser erheblich komplexer und schwerer in der Konstruktion sind. Daher sind sie auch deutlich ressourcenaufwendiger als ein Folientunnel, was hinsichtlich der Nachhaltigkeit nicht außer Acht zu lassen ist. Dafür bringen Glashäuser für den Gemüseanbau einige Vorteile mit sich: sie erlauben durch die bessere Isolation eine andauernde Beheizung und damit eine relative Unabhängigkeit von den Jahreszeiten. Größere Glashäuser sind außerdem innen zumeist stark ausgebaut, so dass sie mit Ernte- und Pflegewägen befahren werden können. Moderne Glashäuser sind daher vor allem für den größer dimensionierten Gemüsebau interessant.

Der hierzulande aktuell meistgebaute Glashaustyp ist das Venlo-Glashaus. Dieses hat sich durch die Anpassung an das kältere Klima Mitteleuropas etabliert, da es leicht und damit kostengünstig gebaut ist. Durch die Anforderung der Mobilität ist jedoch eine höhere Stabilität der Grundkonstruktion eine wesentliche Voraussetzung. Daher ist für die Idee des mobilen Glashauses der Typ des Breitschiffglashauses zu bevorzugen (Abbildung 6). Breitschiffglashäuser werden standartmäßig im 3-m-Raster angefertigt (Rocksch 2020). Daher bietet sich eine Schiffsbreite von 12 m an. Als Material für Stehwände und Giebelseiten werden Stegdoppelplatten aus Polycarbonat verwendet. Polycarbonat bietet gegenüber Glas den Vorteil eines geringeren Wärmeverlustkoeffizients und eines niedrigeren Gewichtes (Valera et al. 2016). Für die Abdeckung jedoch ist insbesondere die Transmission solarer Strahlung von Bedeutung, die bei Glas deutlich höher ausfällt als für Polycarbonat (Valera et al. 2016). Aus diesem Grund soll für die Eindeckung Einfachglas gewählt werden.

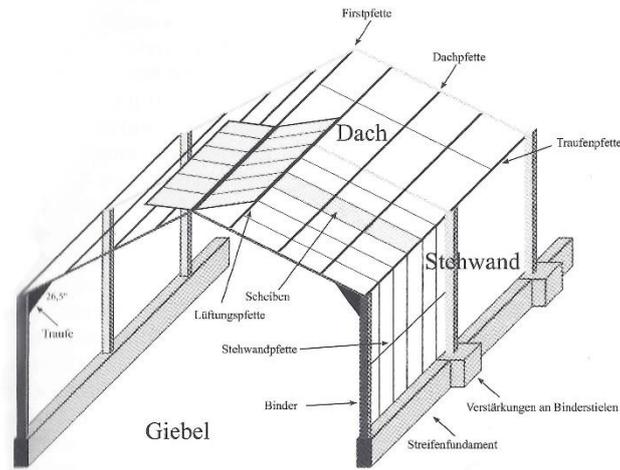


Abb. 6: Aufbau eines Breitschiffglashauses. Quelle: Rocksch (2020)

Das mobile Glashaus soll vom Typ her ein Breitschiffglashaus mit einer Breite von 12 m sein. Als Eindeckmaterialien werden Stegdoppelplatten und Einfachglas verwendet.

4.3. Geeignete Fläche und Ausrichtung

Um ein mobiles Glashaus oder einen mobilen Folientunnel errichten zu können, ist eine geeignete Grundfläche entscheidend. Diese muss bestimmte Grundvoraussetzungen erfüllen. Wie bei der Errichtung eines jeden geschützten Raumes ist selbstverständlich die Eignung des Klimas, etwa Sonneneinstrahlung, Hagelhäufigkeit und Windstärke zu berücksichtigen, ebenso wie die prinzipielle Eignung des Bodens zum Anbau von Gemüse. Abgesehen davon müssen Anschlüsse für Strom und Wasser verfügbar sein. Aus rechtlicher Sicht stellt sich zudem die Frage nach der Bebauungsmöglichkeit. Im Außenbereich ist in Deutschland eine Bebauung laut Baugesetzbuch, Artikel 35 grundsätzlich zulässig, wenn sie "einem Betrieb der gartenbaulichen Erzeugung dient" (Bundesrepublik Deutschland 1960). Glashäuser mit einer Grundfläche von maximal 1600 m² und einer Giebelhöhe von bis zu fünf Metern Höhe dürfen laut Artikel 57 der Bayerischen Bauordnung sogar ohne Genehmigungsverfahren errichtet werden (Freistaat Bayern 2007). Glashäuser, die diesen Rahmen überschreiten sind jedoch genehmigungspflichtig.

Rahmenbedingung für die Ausrichtung des mobilen geschützten Raumes ist zunächst die Grundfläche des zu bebauenden Grundstückes. Dieses muss eine ausreichende Länge haben,

um mehrere Positionen des Glashauses oder Folientunnels zu ermöglichen. Außerdem sollte das Grundstück nicht abschüssig sein, da sonst die Verankerung, sowie das Verschieben problematisch werden können.

Wesentliche Kriterien sind zudem Lichteinfall und Wind (Valera et al. 2016). Die Ausrichtung nach der Belichtung ist wichtig, um die optimale Ausleuchtung des geschützten Raumes sicherzustellen. Erster Hinweis ist hier die Himmelsrichtung. Für Gegenden mit mehr als 30° nördlicher Breite ist eine Ausrichtung nach Ost-West sinnvoll, um auch zur kalten Jahreszeit die höchste Einstrahlung zu ermöglichen (Giacomelli und Ting 1999). Abhängig ist dies jedoch auch von der Umgebung, also dem Relief des Gebietes und umgebender Bebauung, um Schattenwurf zu vermeiden. Dabei ist der niedrigere Einstrahlungswinkel und dadurch veränderte Schattenwurf im Winterhalbjahr zu berücksichtigen.

Die Ausrichtung nach dem Wind ist insbesondere aufgrund der Belüftung von Bedeutung. Demnach sollte das Glashaus oder der Folientunnel senkrecht zur Windrichtung im späten Frühjahr und Sommer ausgerichtet sein, um zu dieser warmen Jahreszeit eine maximale Belüftung zu ermöglichen (Valera et al. 2016). Andererseits kann der Wind auch zum Problem werden. So steht die Sicherheit des Glashauses oder Folientunnels bei starker Windeinwirkung im Vordergrund und sollte bei der Planung unbedingt berücksichtigt werden. Zudem können kalte Winde im Winter und zeitigen Frühjahr den geschützten Raum stark abkühlen. Zur Planung der Ausrichtung sollten daher Wind- und Belichtungsverhältnisse genauer untersucht werden.

Gemeinsam mit der Beschaffenheit der Fläche, die einen ausreichend langen und breiten ebenen Streifen für die verschiedenen Positionen des geschützten Raumes aufweisen muss, sind also die Kriterien Wind und Belichtung ausschlaggebend.

Kriterien an ein geeignetes Grundstück:

- Platz und Form für mindestens 3 Positionen
- Nicht abschüssig
- Kein Schattenwurf
- Fruchtbarer Boden
- Geringe Hagelwahrscheinlichkeit
- Vorhandensein von Strom und Wasser

Die Ausrichtung erfolgt nach Möglichkeit in Richtung Ost-West. Die Windrichtung ist dabei zu beachten.



Abb. 7: Zur Verfügung stehende Fläche in Thundorf in Unterfranken. Quelle: Bayern Atlas (2021)

Als Standort steht eine 3,5 ha große Fläche in Thundorf in Unterfranken in Bayern zur Verfügung (Abbildung 7).

Die Fläche ist eben, sehr gut erreichbar und weist einen geeigneten Boden mit über 40 Bodenpunkten auf. Die Ausrichtung entlang des südöstlich verlaufenden Weges wäre sinnvoll, da eine exakte Ost-West-Ausrichtung auf dem Grundstück wenig praktikabel ist. So steht eine Länge von 188 m zur Verfügung,

also theoretisch ausreichend Platz für vier bis fünf Positionen. Bezüglich Hagel ist das Risiko im deutschlandweiten Verhältnis als eher gering einzuschätzen (Puskeiler 2013) und durch seine Lage am Waldrand ist die Fläche eher windgeschützt. Negativ zu bewerten ist das Fehlen von Anschlüssen. Ein Brunnen muss daher extra gebohrt und ein Stromanschluss über 200 m gelegt werden. Zudem birgt die Nähe zum Wald die Gefahr durch Wildschäden. Eine Umzäunung der Fläche ist unumgänglich, da der Wilddruck in der Region sehr hoch ist. Eine Fläche näher zu einer Siedlung oder Biogasanlage (Abwärmenutzung) wäre zu bevorzugen, steht jedoch aktuell noch nicht zur Verfügung.

4.4. Bewegungsmechanismus

Bei der Entwicklung eines mobilen geschützten Raumes geht es nicht um die grundlegende Neukonstruktion eines Glashauses oder eines Folientunnels. Die zentrale Innovation ist der Bewegungsmechanismus, auf den er gesetzt wird. In der Vergangenheit haben sich bereits einige Landwirte, Wissenschaftler und Firmen Gedanken über die Gestaltung des Fortbewegungsmechanismus von mobilen Folientunneln gemacht. Für die Beweglichkeit von Folientunneln haben sich daher unterschiedlichste Systeme etabliert:

4.4.1. Kufensysteme



Abb. 8: Rohrschlittensystem.
Quelle: Four Season Tools (2020)

Kufen- beziehungsweise Rohrschlittensysteme (Abbildung 8) bieten eine einfache Möglichkeit der Beweglichkeit eines Folientunnels. Vorteilhaft ist dabei der niedrige Materialaufwand und der sehr flexible Standort. Von Nachteil ist jedoch, dass der Reibungswiderstand beim Versetzen relativ hoch ist und dementsprechend viel Kraft benötigt wird (Coleman et al. 2014). Außerdem wird

durch Widerstand und Kraftaufwand beim Versetzen das Material des Folientunnels stark beansprucht, da große Kräfte wirken. Sowohl die Konstruktion als solche, als auch das Deckmaterial des Folientunnels wird so einer starken Belastung ausgesetzt, was zu Beschädigungen am Folientunnel und erhöhtem Verschleiß führen kann. Zudem muss der Folientunnel an Ort und Stelle angekommen manuell fest mit Erdankern verankert werden, um vor Wind geschützt zu sein. Im Zusammenhang mit dieser Verankerungsform kam es jedoch bereits in der Steiermark zu einem Zwischenfall (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Durch Starkregen wurde der Boden aufgelöst und der nachfolgende heftige Wind konnte die Anker aus dem Boden reißen und den Tunnel abheben.

4.4.2. System mit Rädern



Abb. 9: Beweglicher Folientunnel. Quelle: Bradley (2013)

Räder bieten, genau wie Kufensysteme, den Vorteil, dass wenig Material benötigt wird. Lediglich die Räder, die häufig sogar bei jedem Verschieben an- und abmontiert werden können, werden zur Fortbewegung benötigt. Diese recht einfache

Variante kann relativ unkompliziert von Landwirten selbst gebaut werden. Ein Folientunnel auf Rädern kann zudem einfach vom Landwirt an jeden beliebigen Einsatzort gebracht werden (Abbildung 9), so dass er theoretisch auf der gesamten landwirtschaftlichen Fläche im näheren Umkreis zum Einsatz kommen kann. Außerdem kann die gleiche Montur Räder für zahlreiche weitere bewegliche Folientunnel verwendet werden (Coleman et al. 2014).

Jedoch muss auch ein beweglicher Folientunnel auf Rädern ebenso mit Erdankern befestigt werden, wie ein Folientunnel auf Kufen (siehe oben). Und auch hier wird das Deckmaterial und die Konstruktion beim Versetzen stark beansprucht, da die Ebene, auf der der Folientunnel bewegt wird, nicht nivelliert ist. Unebenheiten des Bodens führen so schnell zu einer hohen Belastung des Materials.

4.4.3. Schienensystem



Abb. 10: Schienensystem der Firma Rimol.
Quelle: Rimol Greenhouse Systems (2020)



Abb. 11: V-Schienensystem. Quelle: Four Season Tools (2020)

Bei einem Schienensystem (Abbildung 10 und 11) sitzt der Folientunnel fest auf den Schienen und ist somit je nach Schienensystem bei Starkwind gut verankert. An der jeweiligen Position angekommen, kann er dort festgestellt werden. Ein Gegenrad auf der Unterseite der Schiene beispielsweise kann für Widerstandsfähigkeit gegen Wind sorgen. Zudem bieten Schienen den Vorteil, dass der Folientunnel stets in der gleichen Spur läuft, das heißt er kann immer exakt versetzt werden. So befindet er sich konstant auf den verlegten Schienen, die sorgfältig und gerade verlegt sein müssen. Dadurch kann sich der Folientunnel auch nicht verziehen, da er nie uneben stehen wird, wenn beim Verlegen der Schienen sorgfältig gearbeitet wurde. Aus diesem Grund ist die Wahl der Schiene als Fortbewegungsmittel nicht nur für Folientunnel günstig, sondern auch für Glashäuser geeignet. Die Befestigung der Schienen des Folientunnels erfolgt möglichst einfach mittels Punktfundamenten. Allerdings ist beim Einsatz von Schienen zu bedenken, dass die möglichen Positionen auf die mit Schienen ausgestatteten Flächen begrenzt sind. Es bietet sich nicht der Vorteil der anderen Bewegungsmechanismen, dass der Landwirt vollkommen frei in der Flächenwahl ist.

Alle drei Fortbewegungssysteme sind für bewegliche Folientunnel bereits im Einsatz. Für bewegliche Glashäuser indes kommt lediglich die Fortbewegung mittels Schienen in Frage, Denn starre Gebilde wie Glashäuser sollten niemals uneben stehen, sondern stets auf exakt

gerader Fläche verlaufen, um Probleme wie das Herausfliegen von Scheiben (wie vom Zinsenhof bekannt und im 4.2.2. beschrieben) zu vermeiden.

In dieser Arbeit wird aufgrund der genannten Vorteile das Schienensystem bevorzugt. Es bietet Widerstandsfähigkeit gegen Wind, die Gefahr des Verziehens der Grundkonstruktion des geschützten Raumes wird minimiert und es ist einsetzbar sowohl für den Einsatz am Folientunnel als auch am Glashaus.

Je nach Ausführung des geschützten Raumes, also ob Folientunnel oder Glashaus, unterscheiden sich die Ansprüche an die Schienenkonstruktion in gewissem Maße. Beide Systeme müssen jedoch einen Feststellmechanismus besitzen, damit der geschützte Raum auf einer Position fixiert werden kann.

Schienensystem für ein Glashaus

Das Schienensystem für ein modernes Glashaus muss wesentlich robuster geartet sein als für einen Folientunnel, da die Traglast deutlich erhöht ist. Auch die exakt nivellierte Verlegung der Schienen ist hier von immenser Wichtigkeit, da die Konstruktion und die Eindeckmaterialien in sich noch starrer sind als beim Folientunnel und es so bei Unebenheiten besonders schnell zu Schäden kommen kann. Aus diesem Grund ist ein solides Streifenfundament mit Schiene, wie in Abbildung 12 dargestellt, Grundvoraussetzung. Zudem müssen die Schienen eine Wärmeabdichtung besitzen, damit keine Kältebrücken entstehen können. Diese Wärmeabdichtung wird durch das solide Betonfundament gewährleistet, welches die Schiene teilweise umschließt. Zwischen Fundament und Glashaus läuft zudem eine Gummiabdichtung oder ein Besen, um auch diese potenzielle Kältebrücke abzudichten. Die Fortbewegung als solche kann in einem Glashaus ausschließlich durch Automation erfolgen. Ein Ziehen mittels eines Traktors

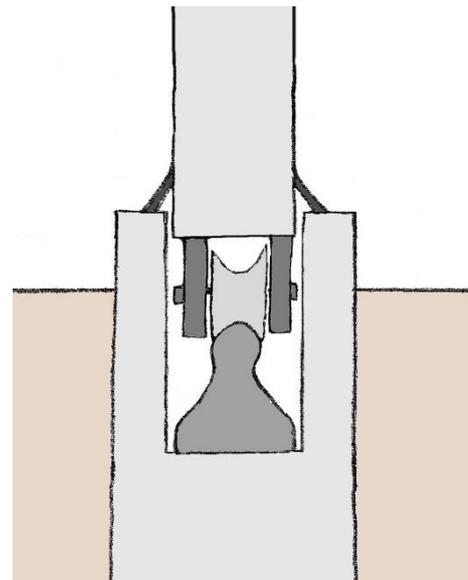


Abb. 12: Schienensystem des Glashauses: eingebettet in dem Streifenfundament liegt die Schiene. Darauf läuft das an der unteren Querverstrebung des Glashauses befindliche Rad. Nach außen hin wird die Schiene durch das Fundament abgedichtet. Der Spalt zwischen Glashaus und Fundament wird durch eine Gummilippe oder einen Besen abgedichtet. Quelle: eigene Grafik (2020)

oder anderen Maschinen würde zu hohe punktuelle Zugkräfte auf das starre Gefüge des Glashauses ausüben. Anstatt dessen muss ein großes Glashaus eigenmechanisiert sein. Zudem kommen ein Heb- und Absenkmechanismus hinzu, der vor beziehungsweise nach dem Positionswechsel ausgeführt wird. Ein solches Schienensystem ist ab einer Gewächshausfläche von 1600 m² genehmigungspflichtig (Freistaat Bayern 2007).

Schienensystem für einen Folientunnel



Abb. 13: Bewegung eines Folientunnels auf Schienen mittels Traktoren, Versuchsanstalt Zinsenhof der HBLFA Schönbrunn. Quelle: Wolfgang Palme (2018)

Ein Folientunnel kann mittels eines einfachen Traktors gezogen werden, um ihn zu versetzen (Abbildung 13), da er deutlich leichter und etwas flexibler ist. Aus diesem Grund kann auch das Schienensystem vereinfacht werden. Zwar gilt auch hier: je weniger punktuelle Kräfte wirken und je geringer die Beanspruchung des Materials, desto besser. Ein

Schienensystem wie das bereits für ein Glashaus vorgestellte (Abbildung 12) wäre demnach auch für den Folientunnel ideal, doch steht dies kostentechnisch bei einem Folientunnel nicht im Verhältnis. Da der Folientunnel ohnehin erheblich geringer isoliert ist und die Tomatensaison daher verkürzt ist, kann auf das aufwendige Streifenfundament verzichtet werden. Ein Punktfundament ist ausreichend. Sind in dieses Punktfundament zusätzliche Haken eingearbeitet, etwa aus gebogenem Armierungsstahl, so kann das Punktfundament jederzeit mit einfachen Mitteln aus dem Boden wieder entfernt werden, so dass der Standort des Gewächshauses einfach wieder in Ackerland umgewandelt werden kann. Auf dem Fundament wird ein Stahlrohr befestigt, welches als

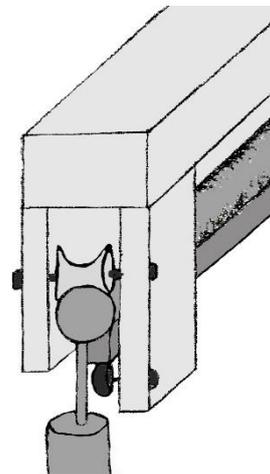


Abb. 14: Schienensystem des Folientunnels: Auf dem Punktfundament ist ein Stahlrohr befestigt, auf dem das Rad läuft. Unterhalb des Stahlrohres läuft ein viereckiges Metallrohr, unter dem ein zweites Rad läuft. So wird die Schiene von zwei Rädern umgriffen. Quelle: eigene Grafik (2020)

Schiene dient. Darauf läuft ein gekerbtes Rad, welches genau auf das Stahlrohr passt (Abbildung 14). Um Standhaftigkeit gegen Starkwind zu bieten, läuft schräg unterhalb des runden Metallrohres eine weitere, jedoch viereckige Metallschiene, unter die mit wenigen Millimetern Abstand eine Metallschiene am Träger greift. Unter dieser verläuft ein kleines Gegenrad, so dass die Schiene quasi umgriffen wird. Um den Tunnel nach unten gegen Kälte und Wind abzudichten, wird seitlich an der Unterkante des Folientunnels eine Plane angebracht, die entweder eingegraben oder mit Sandsäcken beschwert werden muss. Dies entspricht im Wesentlichen der Konstruktion des Schienensystems auf dem Zinsenhof.

4.5. Fruchtfolgegestaltung

Die hohe Mobilität des geschützten Raumes wirkt sich erheblich auf die Möglichkeiten bei der Fruchtfolgegestaltung aus. Das Besondere daran ist, dass das Glashaus oder der Folientunnel nicht nur einmal im Jahr, sondern sogar mehrfach innerhalb einer Saison versetzt werden kann. So wird der geschützte Raum bestmöglich ausgenutzt. Die Mobilität bietet daher zahlreiche Vorteile sowohl für die Fruchtfolgegestaltung, als auch für die Kulturfolge, die ein festinstalliertes Glashaus oder ein unbeweglicher Folientunnel nicht bieten kann.

4.5.1. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit

Durch das Verschieben des Glashauses beziehungsweise Folientunnels (Abbildung 15) kann die Fruchtfolge deutlich erweitert werden, denn der geschützte Raum ist nicht an den Boden gekoppelt. So können auf den verschiedenen Positionen außerhalb des geschützten Raumes auch Kulturen mit geringem Deckungsbeitrag angebaut werden, während im Glashaus oder Folientunnel zumindest über den Sommer stets eine lukrative Kultur, in diesem Falle die Tomate, wächst. Diese Anbaudiversifizierung fördert die Bodenfruchtbarkeit und reduziert den Druck von Krankheiten und Schädlingen. Auch Leguminosen und andere bodenfruchtbarkeitsfördernde Kulturen können auf den einzelnen Positionen angebaut werden. Bei all der Diversifizierung kann aber

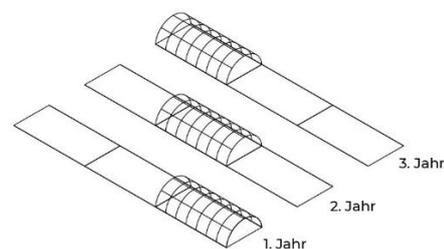


Abb. 15: Der mobile geschützte Raum in drei aufeinanderfolgenden Jahren jeweils zur gleichen Zeit im Sommerhalbjahr. Dort, wo er steht, werden im jeweiligen Jahr Tomaten angebaut. Quelle: eigene Grafik (2020)

dennoch jedes Jahr im gleichen geschützten Raum Tomate angebaut werden, die Kontinuität des Produktsortiments bleibt also erhalten.

Ein weiterer positiver Aspekt der Beweglichkeit des geschützten Raumes auf die Bodenfruchtbarkeit ist, dass während des Anbaus der Freilandkulturen der Boden, der zuvor geschützt war, dem Einfluss von Wetter, also Regen, Schnee, Hitze und Kälte ausgesetzt ist. Dies fördert die natürlichen Prozesse im Boden und trägt zusätzlich zur Regulierung von Krankheiten und Schädlingen bei. Durch das regelmäßige Verändern der Position wird außerdem der Versalzung entgegengewirkt, da der Boden dem äußeren Einfluss von Niederschlägen ausgesetzt wird. Dadurch gelangt im Gegensatz zur gezielten Bewässerung mehr Wasser in den Boden, als durch Evapotranspiration wieder in die Luft abgegeben wird, so dass Salze ausgewaschen werden können, anstatt sich an der Bodenoberfläche abzulagern.

4.5.2. Vielseitige Nutzung des geschützten Raumes

Geschützter Anbau dient stets der Saisonverlängerung. Durch die frühzeitige Erwärmung im Frühjahr und das längere Beibehalten warmer Temperaturen bis in den Herbst kann die Erntesaison deutlich verlängert werden. Mobilität des geschützten Raumes ermöglicht noch einen weiteren Schritt: Da er flexibel hin und her bewegt werden kann, kann er auch innerhalb eines Jahres auf mehreren Positionen zum Einsatz kommen. Dadurch kann er mehrfach verwendet werden und punktgenau dann in einer Kultur zum Einsatz gebracht werden, wenn er dort benötigt wird. So kann beispielsweise auf einer Position im Herbst bereits Spinat angesät werden, während die Tomaten noch im Folientunnel oder Glashaus stehen. Erst wenn die Tomaten im Oktober abgeräumt sind, wird der geschützte Raum zum Winterschutz über den Spinat gefahren (Coleman et al. 2014). Wäre der Raum nicht mobil, so würde wertvolle Zeit für das Spinatwachstum verloren gehen, da er erst nach dem Ausräumen der Tomaten gesät werden könnte. Ebenso verhält es sich im Frühjahr, wenn der geschützte Raum vor dem Aussetzen der Tomaten im April etwa zur Ansaat von Karotten verwendet wird (Coleman et al. 2014). So können sich die Karotten unter geschützten Bedingungen entwickeln und werden erst den äußeren Einflüssen ausgesetzt, wenn es draußen bereits wärmer geworden ist. Ergänzend kann hier auch Fließ zum zusätzlichen Schutz eingesetzt werden. So trägt ein beweglicher geschützter Raum im Laufe eines Jahres bei zahlreichen Kulturen zur Ernteverfrühung und Saisonverlängerung bei.

Eine weitere Möglichkeit, die ein mobiler geschützter Raum gerade für direkt vermarktende Betriebe bietet, ist die kontinuierliche Ernte im Winter. So können im Winterhalbjahr über mehrere Positionen hinweg Kulturen in Reihen angepflanzt werden, so dass immer nur ein Teil der Kulturen geschützt ist und damit schneller gedeiht. Der Rest verharrt in einem Ruhezustand. Je nach Erntebedarf wird der geschützte Raum dann nach der Ernte um einige Meter weiter verschoben, so dass sich die abgeerntete Fläche dann außerhalb befindet. Gleichzeitig werden dadurch Pflanzen, die zuvor außerhalb standen, geschützt und können nun weiter gedeihen. So kann über den Winter kontinuierlich geerntet werden (Palme 2019).

4.5.3. Die Tomate in der Fruchtfolge

Da die Hauptkultur die Tomate sein soll, gilt es, die Fruchtfolge nach deren Bedürfnissen auszurichten. In der Regel ist für Tomaten eine Anbaupause von vier Jahren empfehlenswert (Hornischer und Koller 2005). Durch verschiedene Maßnahmen, wie die Veredelung der Sämlinge und einen hohen Humusgehalt, kann der Schädlingsdruck jedoch gehemmt werden (Hornischer und Koller 2005), so dass kürzere Anbaupausen kompensiert werden können. Dies ist im Anbau in einem mobilen Glashaus oder Folientunnel auf Schienen von Vorteil, da jede zusätzliche Position aufgrund der zu verlegenden Schienen Kosten verursacht. Eine Reduktion auf drei Positionen und damit ein Tomatenanbau alle drei Jahre auf derselben Fläche scheint daher sinnvoll. Laut Seliga und Shattuck (1995) wirkt sich die Art der Fruchtfolge dabei hauptsächlich auf die Menge und weniger auf die Qualität der Früchte aus. Von besonderer Bedeutung ist eine gute Stickstoffversorgung. Zwischen Mitte und Ende Oktober werden die Tomaten dann ausgeräumt (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Die Tomaten befinden sich dementsprechend zwischen Mitte April und Mitte bis Ende Oktober im Gewächshaus.

4.5.4. Die Fruchtfolge

Die Frucht- und Kulturfolge ist sehr komplex und muss detailliert ausgearbeitet und kontinuierlich verbessert und angepasst werden. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, dass sich die Kultur- und Fruchtfolge nicht nur auf eine Fläche über einen Zeitraum bezieht, sondern die Dimension des geschützten Raumes als solches, als auch der verschiedenen Positionen des geschützten Raumes über einen Zeitraum, einschließt. Um sich die Vorteile der Mobilität voll zu Nutze zu machen, sollte der geschützte Raum auch über den Winter genutzt werden. Als zusätzliche Option besteht zudem die Möglichkeit, Fließe und niedrige Tunnel in das Anbausystem zu integrieren. So können Kulturen sowohl innerhalb, als auch außerhalb des Folientunnels oder des Glashauses zusätzlich geschützt werden, da sie die Temperatur erhöhen und stabilisieren (Jenkins 2015) (Abbildung 16). Die Erstellung einer Frucht- und

Kulturfolge bedarf dementsprechender Genauigkeit und Erfahrung. Gerade im Winterhalbjahr verändert sich die Kulturdauer der Pflanzen erheblich aufgrund der reduzierten Temperaturen und des verringerten Lichteinfalls (Coleman et al. 2014). Darauf gilt es bei der Planung der Frucht- und Kulturfolge zu achten.

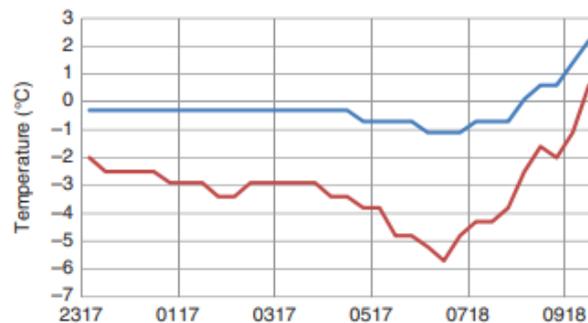


Abb. 16: Oberflächentemperatur einer Wiese in einer Februarnacht unbedeckt (rot) und mit einem dünnen Gärtnerfließ abgedeckt (blau). Quelle: Jenkins (2015)

Wichtige Voraussetzung zur Planung einer Frucht- und Kulturfolge ist daher die Kenntnis über die klimatischen Bedingungen vor Ort. Nur so kann die Kulturdauer einzelner Kulturen abgeschätzt werden und der kritische Zeitpunkt der Überdachung festgelegt werden. Markante Zeitpunkte im Jahr sind die Eisheiligen im Mai, also die Zeit der letzten Spätfröste. Ab diesem Zeitpunkt können selbst frostempfindliche Kulturen ungeschützt im Freien stehen. Zudem ist das Eintreten der ersten Fröste und die Härte des Winters wesentlich. Temperaturmaximum und Temperaturminimum bestimmen über die Anbaueignung der Kulturen. Doch auch das Licht ist von großer Bedeutung. Coleman et al. (2014) beschreibt, dass das Wachstum der Pflanzen deutlich abnimmt, sobald eine Mindesttageslänge von zehn Stunden unterschritten ist. Das Wachstum bleibt so lange reduziert, bis die Tage wieder länger

werden und zehn Stunden überschreiten. Herbstpflanzungen sollten demnach, um im Winter geerntet werden zu können, deutlich vor dem Unterschreiten der kritischen Tageslänge von zehn Stunden angesät werden.

Neben dem Klima des Standortes kommt es für die Gestaltung der Fruchtfolge auf die Gegebenheiten des Bodens und die Vermarktungsmöglichkeiten des produzierten Gemüses an. Es braucht einen gesicherten Absatzmarkt des Gemüses, bevor es produziert wird. Im Falle dieser Arbeit ist die Tomate die Hauptkultur und soll jedes Jahr kontinuierlich von April bis Oktober angebaut werden. Maßgeblich ist auch die Anzahl an möglichen Positionen des mobilen Glashauses oder Folientunnels. Dies wiederum ist stark standort- und betriebsabhängig. In dieser Arbeit soll von einer Anzahl von drei möglichen Positionen ausgegangen werden. So bleibt der Fokus auf der Hauptkultur der Tomate, der geschützte Raum kann aber dennoch effizient genutzt werden.

Fruchtfolge für den mobilen Folientunnel

Für einen mobilen Folientunnel mit drei Positionen ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten der Fruchtfolgengestaltung. Jede Position durchläuft innerhalb eines Jahres eine eigene Kulturfolge, so dass drei verschiedene Kulturfolgen existieren. Im folgenden Jahr wechselt die Kulturfolge zwischen den Parzellen, so dass erst im vierten Jahr auf einer Parzelle wieder die gleiche Kulturfolge angepflanzt wird. Eine mögliche Fruchtfolge mit drei verschiedenen Kulturfolgen soll hier dargestellt werden (Tab. 1)

Im ersten Jahr wird auf Position eins der Boden für die Tomatenpflanzen vorbereitet. Anschließend, etwa Anfang April, wird der bewegliche Folientunnel auf Position eins bewegt, um den Boden vorzuwärmen (Coleman et al. 2014), bevor dann Mitte April die sechswöchigen Tomatensetzlinge hineingesetzt werden können. Über die Sommermonate ist der geschützte Raum also durch die Tomatenpflanzen belegt. Erst Mitte Oktober werden die Tomaten ausgeräumt und der geschützte Raum an eine andere Position (Position zwei) verschoben. Nach dem Beräumen der Tomaten kann auf Position eins eine Zwischenfrucht für den Winter angesät werden. Aufgrund des späten Aussaattermins scheiden hier jedoch viele Zwischenfrüchte aus. Eine mögliche Zwischenfrucht, die in der Nachkultur als Mulch verwendet werden kann, ist jedoch Grünroggen. Auf Position zwei wächst derweil zu Beginn desselben Jahres der Grünroggen oder eine andere Zwischenfrucht, ehe dann Ende Juni Lauch

oder andere kältetolerante Gemüse wie Wirsing und Grünkohl angebaut werden. Anstelle der kältetoleranten Kulturen können jedoch auch zunächst Sommerkulturen wie Brokkoli, Blumenkohl oder Kürbis angebaut werden und nachfolgend Wintersalat. Die Fruchtfolge ist an dieser Stelle sehr variabel und kann nach Bedarf angepasst werden. Die ausgewählte Kultur (beziehungsweise deren Nachfolgekultur) wird dann ab Ende November durch den mobilen Folientunnel geschützt und kann so im tiefsten Winter geerntet werden. Position drei ist im ersten Jahr mit Kulturfolge drei belegt. Das heißt das Wintergemüse wie Lauch, Wirsing oder Grünkohl beziehungsweise der Wintersalat aus dem Vorjahr wird bis Ende Februar geerntet. Derweil ist diese Position durch des Folientunnels geschützt, sodass der Boden offen ist. Ab Mitte März werden hier Frühkarotten angesät, die durch den Folientunnel erheblich verfrüht werden können, ehe dieser Anfang April auf Position eins geschoben und mit Tomaten bepflanzt wird. Zum zusätzlichen Schutz der Karotten können niedrige Fließtunnel eingesetzt werden, um ein Schossen zu vermeiden. Im nächsten Jahr verschieben sich die jeweiligen Kulturfolgen auf andere Parzellen.

Tab. 1: Kulturfolgen der einzelnen Positionen für einen mobilen geschützten Raum mit drei Positionen innerhalb eines Jahres. Im nächsten Jahr wechselt jede Kulturfolge auf eine andere Parzelle. Die rote Markierung und die Glashausgrafik markieren den jeweiligen Ort des Folientunnels. Quelle: in Anlehnung an Coleman et al. (2014).

	Position 1 (Kulturfolge 1)	Position 2 (Kulturfolge 2)	Position 3 (Kulturfolge 3)
Januar		Grünroggen	 Lauch/Wintersalat
Februar			 Ab Mitte März Frühkarotten
März			Bodenvorbereitung
April	 Vorwärmen ab Mitte April	Ab Mai Sommergemüse bzw. ab Juni/Juli Wintergemüse	Frühkarotten
Mai	Setzen der Tomaten (6 wöchige Setzlinge)		Salat
Juni			Spinat
Juli			
August			
September			
Oktober	Mitte Oktober Ausräumen der Tomaten, Ansaat Grünroggen	Wintergemüse/ Wintersalat	 Spinat
November	Grünroggen		
Dezember		 Lauch/Wintersalat	

Fruchtfolge für das mobile Glashaus

Für beheizte oder gut isolierte Glashäuser kann diese Fruchtfolge abgewandelt werden. So ist unter wärmeren Bedingungen eine längere Kulturdauer von Tomaten theoretisch möglich, wenn auch aufgrund der dann notwendigen Zusatzbeleuchtung nicht unbedingt wirtschaftlich. Dennoch bieten sich im Falle eines beheizten Glashauses mehr Optionen für den Anbau über den Winter, da auch nicht frostharte Kulturen angebaut werden können oder zweijährige Kulturen, so über den Winter geschützt werden können.

4.6. Grundkonstruktion

Ziel ist es, die Grundkonstruktion von Folientunnel beziehungsweise Glashaus möglichst wenig zu verändern und nur an die veränderten Ansprüche, die die Mobilität stellt, anzupassen. Neben den Vorrichtungen für die Fortbewegung umfasst dies insbesondere die Stabilität des Systems, die möglichen Ausmaße und die Gestaltung der Giebelseite. Auch die Organisation der Elemente im Innern des Folientunnels beziehungsweise des Glashauses muss angepasst werden.

4.6.1. Antrieb und Stabilität

An die Stabilität des Folientunnels beziehungsweise Glashauses stellen sich aufgrund der Mobilität erhöhte Ansprüche. Diese Ansprüche stehen in direktem Zusammenhang mit dem Antrieb, denn beim Versetzen darf sich die Konstruktion nicht verziehen. Beim Versetzen, egal ob dies automatisiert, mit Hilfe von Maschinen oder per Handkurbel geschieht, darf sich die Konstruktion nicht verziehen. Dafür ist zunächst ein stabiler Grundrahmen nötig, auf dem der Folientunnel beziehungsweise das Glashaus montiert ist und mit dem er/es auf der Schiene liegt. Herausforderung bei diesem Rahmen ist jedoch die Gestaltung der Giebelseiten, da ein Rahmen direkt über dem Boden es unmöglich machen würde, das Glashaus oder den Folientunnel über eine bereits bestehende Kultur zu verschieben. Aus diesem Grunde muss der Grundrahmen verschiedene Ebenen besitzen (Abbildung 17). Während er an den Seiten direkt auf den Schienen und damit nahezu ebenerdig verläuft, liegt er auf den Giebelseiten in einer Höhe von einem Meter. In der Mitte der Giebelseite würde der Rahmen allerdings die Tür in einem Meter Höhe blockieren. Daher muss hier ein Stück des Rahmens entfernbar sein. Da die Stabilität des Rahmens auf der Giebelseite nur während des Vorgangs des Verschiebens gewährleistet sein muss, kann daher der Abschnitt auf Höhe der Tür wegklappbar sein. Nach dem Einlegen und Einrasten darf das Stück jedoch kein Spiel haben, sondern muss festsitzen, um die Stabilität des Rahmens sicherzustellen.

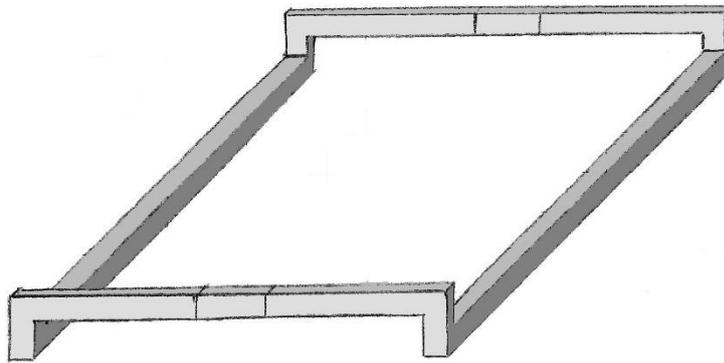


Abb. 17: Grundrahmen für einen mobilen Folientunnel oder ein mobiles Glashaus. Eigene Darstellung (2021)

Wie hoch die Ansprüche dann an die Stabilität der übrigen Konstruktion sind, hängt von der Gleichmäßigkeit des Versetzungsvorgangs ab, also letztendlich davon, wie exakt die Schienen verlegt sind und auf welche Art der Antrieb erfolgt. Der Antrieb sollte ruckelfrei und gleichmäßig erfolgen. Bei einem Antrieb mittels Zug oder Schub im oberen Teil der Konstruktion wirken große punktuelle Kräfte auf die Gesamtkonstruktion, was zum Verziehen und zu Beschädigungen am Eindeckmaterial führen kann. Die Kräfte sollten daher möglichst direkt auf den Grundrahmen und die Räder wirken, so dass die Konstruktion des Glashauses oder Folientunnels keinen zusätzlichen Kräften ausgesetzt wird. Dies kann durch einen Kurbelantrieb oder Automatisierung der Räder erfolgen. Sind die Schienen zudem exakt nivelliert, so wirken auf die Gesamtkonstruktion kaum zusätzliche Kräfte. Die Version eines mobilen Glashauses ist nur unter diesen Umständen realisierbar, da die Eindeckmaterialien starr sind und sonst schnell Schäden erleiden, selbst bei stabiler Konstruktion des Grundgerüsts.

Bei Folientunneln sollte die Grundkonstruktion jedoch zusätzlich verstärkt werden, da es aufgrund des verhältnismäßig geringen Gewichtes schwer ist, die Fortbewegung exakt gleichmäßig zu gestalten. Schnell kann es zu Rucklern in der Bewegung kommen, die sich auf die Grundkonstruktion negativ auswirken können. Versteifungen besonders an Stellen mit erhöhter Krafteinwirkung sind daher unbedingt notwendig. Dies betrifft insbesondere die Seiten des Folientunnels. Querstreben geben zusätzliche Stabilität und werden zudem für die Aufhängung der Tomaten genutzt.

4.6.2. Konstruktion der Giebelseite

Bei der Konstruktion ist zu bedenken, dass beide Giebelseiten des Folientunnels beziehungsweise Glashauses es ermöglichen müssen, über eine bereits bestehende Kultur zu fahren. Dazu muss die Giebelseite in gewisser Weise beweglich sein.

Für einen Folientunnel mit Giebelseiten aus Polycarbonat oder ein Glashaus müssen diese daher entweder hochklappbar oder hochkurbel- beziehungsweise schiebbar sein (Abbildung 18 und 19). Hierfür sollte ein Spielraum von maximal einem Meter jedoch ausreichend sein, da die zu überfahrenden Kulturen kaum höher sein werden. Der Kurbelmechanismus bringt jedoch eine höhere Anfälligkeit für Wind mit sich (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). So besteht die Gefahr, dass Wind an den Ecken angreift und so die Konstruktion beschädigt wird oder im Winter Kältebrücken entstehen. Klappen hingegen bietet den Nachteil, dass dabei angrenzende Pflanzen an die Giebelseite beim hoch- beziehungsweise herunterklappen beschädigt werden können.



Abb. 18: Klappbare Giebelseite an einem kleinen Folientunnel.
Quelle: Coleman et al. (2014)



Abb. 19: Kurbelbare Giebelseite. Quelle: Daniel Flach (2020)

Aus diesem Grund ist es vorgesehen, den unteren Meter der Giebelseite mit einem Schwenkmechanismus auszustatten (Abbildung 20), so dass er nach oben geschwenkt werden kann.

Zur Abdichtung nach unten zur Erde hin ist an der Unterkante des beweglichen Bereichs eine Gummilippe angebracht. So kann keine Zugluft in den Tunnel gelangen. Der Torrahmen in der Mitte der Giebelseite ist als einziges Element an den Giebelseiten bis zum Boden durchgängig. Unten können sie jedoch hydraulisch ein Stück gehoben und gesenkt werden, um nach dem Versetzten Bodenkontakt herzustellen und als zusätzliche Stütze zu dienen. Sie sind auf einer

Art Kranfuß, also auf Kugeln, gelagert um Unebenheiten im Boden abzupuffern. Die Tür als solche ist eine einfache Tür, die mittels einfachen Schienen nach oben geschoben werden kann. Während des Vorgangs des Versetzens ist die Tür geöffnet.

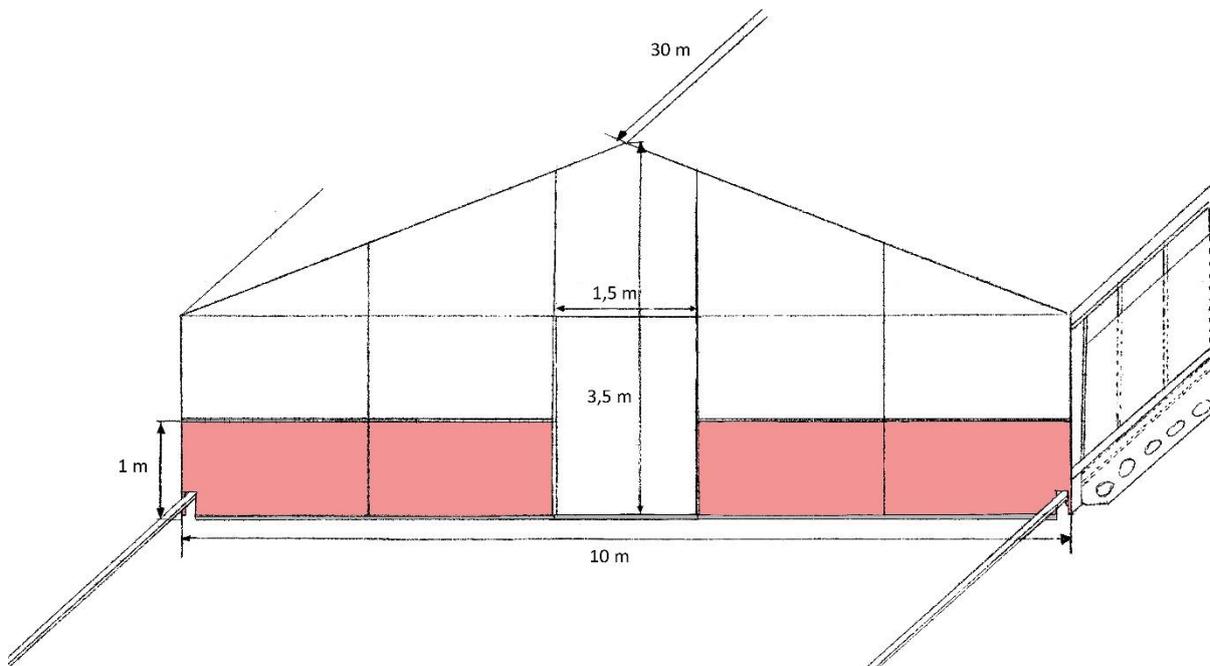


Abb. 20: Konstruktion der Giebelseite des Folientunnels: im rechten und linken unteren Eck sind Aussparungen für das Schienensystem; der obere Teil der Giebelseite ist fixiert, der untere Meter der Giebelseite (rote Markierung) ist beweglich und kann mittels Schwenkmechanismus hochgeschwenkt oder abgesenkt werden; Das Tor ist ein einfaches Schiebetor. Die Giebelseite des mobilen Glashauses entspricht dem im Wesentlichen. Quelle: eigene Grafik

4.7. Automation und Anschlüsse

Um ein Glashaus oder einen Folientunnel effizient zu gestalten, bedarf es einem gewissen Maß an Automation. Verschiedene Sensoren messen dazu bestimmte Parameter wie Temperatur, Luftfeuchte und Bodenwassergehalt. Die Regler gleichen anschließend die gemessenen Ist-Werte mit den vorgegebenen Soll-Werten ab und steuern so nach Bedarf die verschiedenen Komponenten wie Belüftung oder das Bewässerungssystem.

In einem Folientunnel umfasst dies insbesondere die Regelung der Belüftung, der Schattierung, der Energieschirme (falls vorhanden), der Bewässerung und bei zu tiefen Temperaturen die Beheizung. Dafür benötigt der mobile Folientunnel einen Anschluss an Strom und Wasser. Um trotz der Beweglichkeit stets einen Anschluss zu gewährleisten, bedarf

es mehrerer Anschlussstationen. Am Zinsenhof beispielsweise wurden entlang der sechs Positionen für den Folientunnel drei Dockstationen in wassergeschützten Kästen mit jeweils einem Anschluss für Wasser, und einem Anschluss für Strom installiert (Palme, persönliches Interview, 11.08.2020, siehe Anlage 1). Ist der Tunnel an Ort und Stelle, so kann er einfach angeschlossen werden. Ein solches System ist zielführend.

In einem Glashaus sollten die einzelnen Komponenten noch präziser geregelt und miteinander vernetzt werden können, als dies im Folientunnel sinnvoll ist. So kann ein optimales Zusammenwirken von Bewässerung, Düngung (falls eine flüssige Düngung möglich oder notwendig ist), Pflanzenbeleuchtung (falls vorhanden), Beschattung, Luftfeuchte, Temperatur und Energiemanagement gewährleistet werden. Ein Regelcomputer gibt dafür die Vorgaben für jeden einzelnen Parameter und ermöglicht je nach Kultur eine intelligente Kulturführung, die manuell anpassbar sein sollte. Eine Wetterstation zeichnet die Daten aus der Umgebung des Glashauses auf und ermöglicht so eine präzise Anpassung der Steuerung des Innenklimas des Glashauses. Systeme für Regelcomputer werden von verschiedensten Firmen angeboten, etwa RAM, Stratmann Industrietechnik, MABEG Regeltechnik oder der Richel Group. Ein mobiles Glashaus hat bezüglich des Regelcomputers keine weiteren Besonderheiten. Es sollte jedoch beachtet werden, dass ein solches Glashaus zusätzlich zu einem Regelcomputer einen Computer benötigt, der in der Lage ist, die Versetzung des Glashauses zu steuern, also die Räder auf den Schienen in Gang setzt, sowie die Giebelseiten des Glashauses vor dem Versetzungsvorgang anhebt, und anschließend wieder absenkt und zur Erde hin abdichtet. Alle Sensoren und Verkabelungen sollten so angebracht sein, dass beim Versetzen keine Schäden entstehen können. Wetterstation und Regelcomputer mit den zugehörigen Schaltschränken sollten festinstalliert sein. Da bei einem großen Gewächshaus ohnehin ein festinstallierter Büroraum zur Überwachung, Sanitäreinrichtungen, sowie ein Heizraum benötigt wird, kann beides in diesem Gebäude untergebracht werden. Die Verbindungen von Strom, Wasser und Heizung zum Glashaus müssen dann ebenfalls über Dockstationen geregelt

werden. Da diese Ausführung bislang nicht bekannt ist, müssen hier für die Praxistauglichkeit noch Erfahrungen gesammelt werden.

Sowohl der mobile Folientunnel als auch das mobile Glashaus benötigen einen Strom- und einen Wasseranschluss, ein Glashaus zudem einen Anschluss zum Heizraum. Die Anschlüsse erfolgen über Dockingstationen an den möglichen Positionen. Die für die Automation eines Glashauses notwendigen Schaltkästen und Computer sind in einem kleinen externen Gebäude untergebracht, ebenso wie Büro, Heizraum und Sanitäreinrichtungen.

4.8. Klimaführung

Die Klimaführung ist für eine optimale Entwicklung der Tomatenpflanzen essenziell. In modernen Glashäusern läuft die Klimaregulierung automatisiert nach einem bestimmten Programm ab. Dieses Programm ist auf die jeweilige Kultur abgestimmt und berücksichtigt die Klimabedürfnisse der Pflanzen zu ihrem jeweiligen Wachstumsstadium.

In einem Folientunnel ist zwar auch eine Klimaführung möglich, jedoch werden die Temperaturen durch die vereinfachte Bauweise und die geringere Isolation in der Regel nicht so exakt gesteuert, wie in einem Glashaus möglich.

4.8.1. Belüftungssystem

Das Belüftungssystem sorgt für eine Angleichung des Innenklimas an das Außenklima, ist also in der warmen Jahreszeit ein wichtiges Steuerungsinstrument. Auch im Winterhalbjahr ist es wesentlich zur Verringerung der Luftfeuchtigkeit innerhalb des Gewächshauses. Grundvoraussetzung für eine gute Belüftung sind natürliche Belüftungssysteme, also die Belüftung mittels Öffnungen. Bei Breitschiffglashäusern erfolgt dies über Fenster entlang des Firstes. Mit Hilfe von zusätzlichen Belüftungsöffnungen an den Stehwänden kann so ein Kamineffekt erreicht werden (Rocksch 2020). Bei Folientunneln ergeben sich Möglichkeiten, wie etwa die Öffnung der Seitenwand oder die Öffnung des Frontbereiches. Bei einfachen Folientunneln mit Giebelseiten aus Folie kann über die Giebelseiten gelüftet werden. Bei größerer Länge empfiehlt sich allerdings zusätzlich eine Belüftung über die Seite des Tunnels. Diese Art der Belüftung kommt auch bei einem Folientunnel mit Giebelseiten aus Polycarbonat zum Einsatz. Die Folien können dabei gerafft werden, so dass sich die Seite

öffnet. Von Vorteil ist dabei eine Raffung von oben nach unten, so dass im Winter der untere Teil der Seitenwand geschlossen bleibt. Dies verhindert, dass kalte Luft direkt an die Pflanzen dringt (Coleman et al. 2014).

Netze an den Öffnungen des geschützten Raumes tragen zur Reduktion des Schädlingsdruckes bei, da zufliegende Insekten abgehalten werden können. Jedoch reduziert sich durch diese Netze erheblich die Luftzirkulation im geschützten Raum, da die Luftgeschwindigkeit vermindert wird (Valera et al. 2016).

Eine gute Durchlüftung des Glashauses oder Folientunnels kann jedoch auch durch die Bauweise maßgeblich beeinflusst. Giebelhöhen von mindestens 3,5-4 m und Stehwandhöhen von mindestens 2,5-3 m sind hier von Vorteil (Valera et al. 2016), da so eine gute Luftzirkulation ermöglicht wird.

Aktive Belüftungssysteme wie Ventilatoren können in warmen Klimata die natürliche Belüftung ergänzen. Auch durch Nebelung kann die Temperatur aktiv gesenkt werden. Die Nebelung bietet dabei den zusätzlichen Nutzen der Erhöhung der Luftfeuchte und damit gegebenenfalls der Bekämpfung und Vorbeugung von Spinnmilbenbefall.

Während ein mobiles Glashaus über Öffnungen an First und Stehwänden belüftet werden können soll, soll der mobile Folientunnel über eine Seitenbelüftung verfügen. Die Öffnungen werden durch Netze vor zufliegenden Schädlingen geschützt. Aktive Belüftungssysteme sind vorerst nicht vorgesehen.

3.8.2. Beheizungssystem

Da Folientunnel eher schwächer isoliert sind, ist hier eine dauerhafte Beheizung energetisch nicht sinnvoll. Eine bessere Isolierung sollte im Falle eines mobilen Folientunnels auch nicht angestrebt werden, da er durch die vielfältige Fruchtfolge auch ohne Isolierung gut ausgelastet werden kann. Aus Gründen der Ernteverfrühung und Saisonverlängerung kann eine kurzzeitige Beheizung dennoch erstrebenswert sein. Typischerweise kommen hier Propangasbrennern zum Einsatz (Coleman et al. 2014) um Extremtemperaturen im Folientunnel zu vermeiden. Luftheritzer können auch mit Folienschlauch im Folientunnel eingesetzt werden. Eine andere, innovative und doch althergebrachte Form der Beheizung von Folientunneln ist die Nutzung von Verrottungswärme im Frühjahr. Dafür werden zwischen

den Pflanzen 50 cm hohe Mieten aus einer Mischung von Pferdemist, Reifekompost, Hornspäne, Sägespäne und Stroh angelegt. Die beim Verrottungsprozess freigesetzte Wärme trägt zur erheblichen Erwärmung des Bodens und der unteren Luftschichten des Folientunnels bei. So kann eine Ernteverfrühung von bis zu fünf Wochen bei Tomaten (Palme 2018) erreicht werden. Die Pflanzen können schon Ende Februar gesetzt werden. Erste Früchte sind dann bereits im Mai erntereif (Palme 2016).

Im besser isolierten Glashaus kann eine Beheizung zur Ernteverfrühung beitragen. Glashäuser werden hierzulande in der Regel mittels Warmwasserrohren beheizt, da oft über längere Perioden geheizt werden muss. Dies hat den Vorteil, dass die Temperaturen innerhalb des Glashauses relativ homogen sind (Valera et al. 2016). Ein solches Heizsystem besteht aus Brennstofftank, Boiler, Verteilungsrohren, Pumpenantrieb, Expansionstank und Sicherheitseinrichtungen wie Druckschalter und Thermostaten (Valera et al. 2016). Es bietet sich die Möglichkeit, vorhandene Ressourcen zu nutzen und Abwärme von Kraftwerken oder Biogasanlagen zu verwenden. In diesem Falle bedarf es eines Wärmetauschers und Pufferspeichers. Die Verteilungsrohre werden in der Regel am Boden des Glashauses als Fußrohrheizung verlegt. Dies ist im Falle eines mobilen Glashauses nicht möglich, da der Bodenkontakt jeglicher Elemente weitestgehend vermieden werden muss. Mögliche geeignete Beheizungssysteme sind daher:

- **Hohe Rohrheizung:** Sie ist im oberen Bereich des Glashauses montiert. Dies bietet im mobilen System den Vorteil, dass sie beim Versetzen keine Probleme bereitet und auch bei der Arbeit im Gewächshaus nicht im Weg ist. Allerdings ist die Effizienz einer solchen Heizung begrenzt, da vorrangig der Bereich über den Pflanzen geheizt wird (Abbildung 21).
- **Heb- und senkbare Heizung:** Diese Heizungssysteme (Abbildung 22) werden ebenfalls von der Glashauskonstruktion getragen. Gegenüber Hohen Rohrheizungen bieten sie den Vorteil, dass die Rohre auf Kulturhöhe abgesenkt werden können und so die Effizienz der Beheizung steigt (Dietrich und Schrader 2011).
- **Lufterhitzer mit Folienschlauch:** Diese Form der Beheizung ist zwar keine Warmwasserheizung, wird aber ebenfalls im oberen Teil des Glashauses fixiert. Sie sind in der Installation günstig und bieten einen relativ geringen Energieverbrauch. Der Luftschlauch sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der warmen Luft. Jedoch wird hier elektrische Energie benötigt. Das Verwenden vorhandener Abwärme von Kraftwerken und Biogasanlagen ist bei Verwendung eines Lufterhitzers nicht möglich.

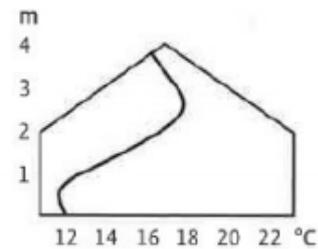


Abb. 21: Temperaturprofil beim Einsatz einer Hohen Rohrleitung. Quelle: Dietrich und Schrader (2011)



Abb. 22: Heb- und senkbare Heizung der Rainer Dietrich GmbH. Quelle: gewaechshausbeheizung.de (2021)

Im Vergleich der Effizienz liegt der Lufterhitzer mit Folienschlauch mit einem 15 % geringeren Energieverbrauch deutlich vor der Hohen Rohrheizung (Abbildung 23). Noch besser schneidet im Vergleich die Heb- und Senkheizung mit 18 % geringerem Energieverbrauch ab (Dietrich und Schrader 2011).

Aus diesem Grund soll das mobile Glashaus entweder mit Lufterhitzer oder Heb- und senkbarem Heizsystem beheizt werden. Entscheidend ist hier die Kostenfrage. Kann eine Biogasanlage als Wärmequelle gewonnen werden, so ist die Heb- und senkbare Beheizung zu bevorzugen. Ist dies nicht der Fall, so ist zu berücksichtigen, dass Lufterhitzer deutlich günstiger in der Anschaffung und Installation sind.

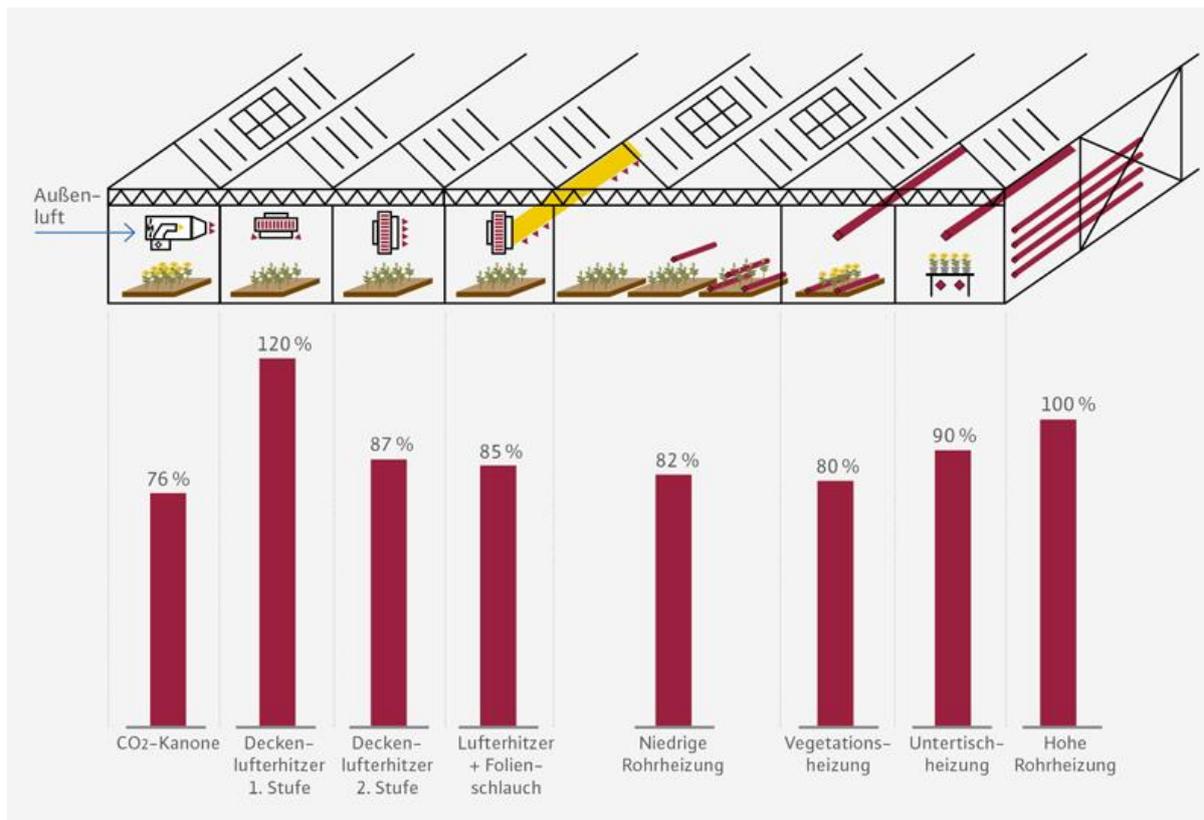


Abb. 23: Energieverbrauch der verschiedenen Heizsysteme im Gewächshaus. Die Hohe Rohrheizung dient als Referenz (100%). Quelle: BDEW (2021)

Eine Ergänzung zum Heizsystem sind Energieschirme. Sie reduzieren den Wärmeverlust des geschützten Raumes während kühler Nächte und können so die Temperatur innerhalb um 2-3°C erhöhen (Plaisier 1991). Ein geringer Transmissionsfaktor und hohe Reflektion mittellanger und langer Infrarotstrahlung sind bei der Auswahl des Energieschirmes von Bedeutung (Valera et al. 2016). Energieschirme sind jedoch recht kostspielig und daher für Folientunnel nur bedingt relevant (Coleman et al. 2014).

Von der Wirkungsweise ähnlich den Energieschirmen sind die Schattennetze. Sie schirmen Glashaus oder Folientunnel nicht nach außen ab, sondern nach innen. Schattennetze verringern die Einstrahlung und damit die Hitzeentwicklung im Innenraum. Damit sind sie eine wichtige Ergänzung zur Belüftung. Im Gegensatz zu dieser regulieren sie aber auch die Einstrahlungsintensität, wobei die Netze für photosynthetisch wirksame Strahlung möglichst durchlässig sein sollen. Andererseits können so auch Verbrennungen an Pflanzen und Früchten verhindert werden. Diese Netze können sowohl außerhalb, als auch innerhalb des Glashauses oder Folientunnels installiert sein. Außerhalb haben sie eine höhere Effizienz, sind jedoch stärker Wind und Witterung ausgesetzt, was die Haltbarkeit beeinträchtigt (Valera et

al. 2016). Innerhalb des Glashauses oder Folientunnels beeinträchtigen sie allerdings die Luftzirkulation, da sie ein Hindernis im Raum darstellen.

Ein mobiler Folientunnel kann mittels eines Lüfterhitzers vor Extremtemperaturen geschützt werden. Schattierungsnetzte hingegen schützen vor zu starker Einstrahlung und Überhitzung. Ob der Einsatz von Energieschirmen im Folientunnel gerechtfertigt ist, muss anhand ökonomischer Überlegungen geprüft werden. Selbiges gilt auch für die Entscheidung zwischen Lüfterhitzer und Heb- und senkbarer Beheizung im mobilen Glashauss. Schattierungsnetzte und Energieschirme sind hier jedoch sinnvoll.

4.9. Bewässerung

Die Bewässerung ist ein zentraler Punkt der Gewächshausplanung. Sie soll weitestgehend automatisiert ablaufen. Um das Wasser möglichst effizient einzusetzen und um Pilzbefall, insbesondere die bei Tomaten gefürchtete Kraut- und Braunfäule (*Phytophthora infestans*), vorzubeugen, ist eine gezielte Wassergabe über Tropf- oder Perlschlauch sinnvoll. Auch andere bei hoher Luftfeuchtigkeit auftretende Pflanzenkrankheiten wie die Samtfleckenkrankheit (*Cladosporium fulvum*) oder falscher Mehltau können so vorgebeugt werden. Die Bewässerungsinstallation sollte entfernbar sein, um bei Versetzung des Gewächshauses neu verlegt werden zu können. Eine feste Verlegung ist nur dann sinnvoll, wenn das Bewässerungssystem auch während der Zeit in der Fruchtfolge einen ökonomischen Mehrwert bietet, da Tomaten nur in jedem dritten Jahr (Kapitel 4.5.3.) auf der gleichen Fläche angebaut werden.

In der Regel unterscheidet man zwischen Tropfschläuchen, wie das häufig eingesetzte T-Tape, Tropfrohren und Perlschläuchen. Tropfschläuche sind nicht druckkompensiert, und daher nur für geringere Gefälle, in der Regel bis 5%, geeignet. Der Betriebsdruck liegt bei ungefähr 0,6 bar und die Durchflussmenge beträgt bis etwa 1 l/h und Tropfer. Je nach verwendeter Qualität sind die Schläuche über mehrere Jahre wiederverwendbar und können auch unterirdisch verlegt werden. Sogenannte Tropfrohre, wie etwa "HydroPC" oder "D5000" hingegen sind druckkompensiert, haben einen Betriebsdruck zwischen 1 und 5 bar und sind auch für steilere Lagen geeignet. Auch die Durchflussmenge kann etwas höher liegen als bei Tropfschläuchen

mit bis zu 2,1 l/h pro Tropfer (Wurzelwasser GbR). Sie sind vor allem für die dauerhafte Verlegung konzipiert.

Gegenüber Tropfsystemen bieten Perlschläuche den Vorteil, dass das Wasser über die gesamte Länge des Schlauches abgegeben wird. Die Bewässerung erfolgt daher nicht punktuell wie bei Tropfbewässerungssystemen, sondern kontinuierlich entlang des Schlauches, wodurch ein größerer Bereich des Wurzelsystems bewässert werden kann. Die Schläuche sind wiederverwendbar und können über den Winter im Boden belassen werden. Der optimale Betriebsdruck liegt bei 0,6-0,7 bar (CS Bewässerungssysteme GmbH 2021). Bei diesem Betriebsdruck ist ein Durchfluss von 4-8 l/h/m möglich (CS Bewässerungssysteme GmbH 2021). Die Schläuche sollten unterirdisch oder unter dem Mulch verlegt werden.

Die Verlegung von Bewässerungsschläuchen erfolgt in der Regel mechanisiert (Abbildung 24). So können mehrere Reihen zeitgleich auch unterirdisch verlegt werden. Da die Bewässerungsschläuche jedoch unkompliziert zu entfernen sein sollen, ist eine oberirdische Verlegung oder eine Verlegung in sehr geringer Tiefe sinnvoll.

Für die Installationskosten nicht außer Acht zu lassen sind die für das Bewässerungssystem zudem benötigten Komponenten wie Druckminderer, gegebenenfalls Düngerzumischtank, Bewässerungssteuerung und Feuchtigkeitssensoren wie Tensiometer oder Einstichelektroden.

Da im mobilen geschützten Raum nicht nur Tomaten angebaut werden, sondern auch andere Kulturen wie etwa Möhren oder Salat ist eine gezielte Bewässerung nicht für alle Kulturen notwendig. Denn das Verlegen ist aufwendig und eine Tröpfchen- beziehungsweise Perlbewässerung verhältnismäßig teuer. Aus diesem Grund sollte im mobilen geschützten



Abb. 24: Verlegegerät für dünnwandige Tropfschläuche zur Nachrüstung von Pflanz- und Sämaschinen. Quelle: Saelens GmbH (2021)

Raum eine zusätzliche Überkopfberegnung verfügbar sein. Dies wirkt auch einer Salzanreicherung im Boden entgegen.

Ein mobiler Folientunnel oder ein mobiles Glashaus erfordert ein gezieltes Bewässerungssystem mittels Tropf- oder Perlschlauch, um Tomatenkrankheiten vorzubeugen. Die Verlegung der Schläuche erfolgt maximal in geringer Tiefe, um eine Wiederverlegung zu ermöglichen. Als Ergänzung ist eine festinstallierte Überkopfberegnung zielführend, um bei kurzzeitiger Überdachung anderer Kulturen keine neuen Schläuche verlegen zu müssen.

4.10. Aufleitung der Pflanzen

Der Anbau erfolgt wie üblich im Layersystem. Dabei ranken die Tomatenpflanzen entlang von Schnüren, die an zwei bis drei Meter hohen Spanndrähten befestigt sind. Jede Woche werden diese Schnüre von einer am Spanndraht befestigten Spule etwa 25-30 cm abgehängt und weitergeschoben, so dass die Tomatenpflanzen heruntergelassen und versetzt werden. So können die Pflanzen leicht Längen von mehreren Metern erreichen, ohne je an das Dach des Gewächshauses zu stoßen. Damit sie unten jedoch nicht am Boden aufliegen und Krankheiten und Schädlingen vermehrt ausgesetzt sind, müssen die Tomaten regelmäßig aufgewickelt werden und von unten her bis zum ersten tragenden Fruchtstand entblättert werden. Die Befestigung der Schnüre an der Tomatenpflanze erfolgt mittels kleiner Klipser und einer bodennahen lockeren Schlaufe um den Tomatenstamm. Im Laufe der Wachstumsaison wird dann die Schnur um die Tomatenpflanze gewickelt. So ist auch das Versetzen des geschützten Raumes bezüglich der Aufhängung unproblematisch, da keine Konstruktionen auf dem Boden installiert sind. Um den Einsatz von Plastik zu vermeiden, welches beim Ausräumen des Gewächses die organische Biomasse verunreinigen würde, können Klipser aus Maisstärke und Schnüre aus Naturfaser verwendet werden.

Der Tomatenanbau im mobilen Folientunnel oder Glashaus erfolgt im Layersystem. Um zugunsten der Mobilität Installationen am Boden zu vermeiden werden die Schnüre an der Pflanze selbst durch eine Schlaufe und zusätzliche Klipser angebracht.

4.11. Pflanzenbeleuchtung

Eine Beleuchtung ist nur dann sinnvoll, wenn ganzjährig Tomaten produziert werden sollen. Dass dies selbst in Deutschland mit im Vergleich zu den Nachbarländern sehr hohen Strompreisen wirtschaftlich sein kann, beweisen die Neurather Gärtner. Diese 16 ha große, hochmoderne Tomatenproduktion weitete die beleuchtete Ganzjahresproduktion 2017 auf 7,5 ha aus (Aldenhof 2020). Allerdings liegen die Mehrkosten der Neurather Gärtner laut eigenen Angaben aufgrund des Strompreises bei etwa 1 € pro Kilogramm Tomaten im Vergleich zu den Nachbarländern (Aldenhof 2020). Eine Zusatzbeleuchtung soll im geplanten Anbausystem jedoch nicht installiert werden, um nicht an Qualität und Geschmack einzubüßen. Zudem kann ein mobiles Glashaus im Winter mit anderen Kulturen sinnvoll und energiesparender ausgenutzt werden. In einem Folientunnel ist die Beleuchtung ohnehin nicht sinnvoll, da eine Beheizung nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Eine Pflanzenbeleuchtung soll im geplanten Anbausystem nicht installiert werden.

4.12. Diskussion: Mobiles Glashaus oder Mobiler Folientunnel?

Die Vorteile eines mobilen Systems - Erweiterung der Fruchtfolge, Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Reduzierung der Versalzung, vereinfachte Bodenbearbeitung durch den Einsatz ackerbaulicher Maschinen – liegen auf der Hand. Das Konzept kann sowohl in Form eines mobilen Glashauses, als auch in Form eines mobilen Folientunnels umgesetzt werden. Doch welche der Varianten erweist sich als sinnvoller? In der folgenden Tabelle (Tabelle 2) sind die technischen Unterschiede zwischen den beiden Varianten zusammengefasst.

Tab. 2: Zusammenfassung Eigenschaften und Ansprüche mobiler Gewächshäuser. Quelle: eigene Darstellung

	mobiler Folientunnel	mobiles Glashaus
Schienensystem	Exakte Verlegung, Punktfundamente, Sicherheit durch Gegenrollen	Exakte Verlegung, Streifenfundament, Wärmeabdichtung der Schienen notwendig, hohe Stabilität gefordert
Fortbewegung	Mittels Handkurbel	mittels Eigenantrieb, Heb- und Senkvorrichtung
Konstruktion	Stabiler Grundrahmen, Absenkbarer Teil der Giebelseiten, zusätzliche Verstärkungen	Stabiler Grundrahmen, Absenkbarer Teil der Giebelseiten
Anschlüsse	Strom und Wasser mittels Dockingstationen	Strom, Wasser, Heizung und Kontakt zum Klimacomputer mittels Dockingstationen, Klimacomputer und Schaltkästen sind fest extern installiert.
Belüftung	Natürliche Belüftung an der Seitenwand, automatisiert, Netze an den Öffnungen zum Schutz vor Schädlingen	Natürliche Belüftung an den Fenstern entlang des Firstes und an Stehwänden, automatisiert, Netze an den Öffnungen zum Schutz vor Schädlingen
Beheizung	mäßige Isolation, daher nur Notbeheizung mittels Lufterhitzer oder Nutzung von Verrottungswärme	Heb- und Absenkbare Heizung oder Lufterhitzer, Wärmeschirme
Beschattung	(Schattierungsnetze)	Schattierungsnetze
Bewässerung	Verlegbare Tröpfchen- oder Perlbewässerung und Überkopfberegner	Verlegbare Tröpfchen- oder Perlbewässerung und Überkopfberegner
Automation	Bewässerung, Belüftung und ggf. Schattierung	Bewässerung, Klimaführung (Luftfeuchte, Temperatur), Schattierung
Beleuchtung	Nicht sinnvoll, da Tomatenanbau nur über Sommermonate	Theoretisch möglich, allerdings nicht angestrebt
Ausrichtung	Grundstücksform, Wind, Belichtung, Schattenwurf	

Generell ist ein mobiles Glashaus deutlich komplexer und technisch aufwendiger als ein mobiler Folientunnel. Es ist daher die wesentliche Frage, ob es im gleichen Verhältnis zum Mehraufwand den Mehrwert gegenüber dem Folientunnel bieten kann.

Der wesentliche Unterschied liegt vor allem in der möglichen Kulturdauer der Sommerkultur, also der Tomate. Diese kann im Glashaus aufgrund der besseren Isolation und Möglichkeit der Beheizung wesentlich verlängert werden. Die Tomatensaison kann daher deutlich früher beginnen. Das führt jedoch dazu, dass das Potential der Mobilität des Glashauses nicht voll ausgenutzt wird, da der Fokus des Anbaus damit beinahe ausschließlich auf der Sommerkultur, der Tomate, liegt, die zwischen Februar und Oktober angebaut werden kann. Andere Kulturen, etwa bereits angesäter Spinat oder Salat, können bei dieser Vorgehensweise nur nach der Tomate ab Anfang November geschützt werden. Der Aspekt der Ernteverfrühung anderer Kulturen durch Schutz im Frühjahr entfällt bei dieser Variante jedoch, da der geschützte Raum bereits ab Anfang Februar von den Tomaten beansprucht wird. Der Hauptvorteil der Mobilität des Glashauses besteht demnach nur zweitrangig in den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des geschützten Raumes, sondern vielmehr darin, dass der Boden fruchtbar gehalten wird und daher dauerhaft für den geschützten Anbau von Tomaten genutzt werden kann. Die Frage liegt hier jedoch in der Wirtschaftlichkeit des Systems. Rechtfertigt der Mehrwert – die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und die sich daraus ergebende Möglichkeit des Anbaus auf gewachsenem Boden, sowie die erweiterte Möglichkeit der Wintergemüseerzeugung – die Mehrinvestition in ein Schienensystem? Diese Frage stellt sich sowohl aus ökonomischer Sicht, als auch aus der Sicht des Ressourcenverbrauches und sollte in einer weiteren Arbeit überprüft werden. Es ist bei dieser Bewertung jedoch nicht außer Acht zu lassen, dass die Regelungen der Europäischen Union für die ökologische Landwirtschaft den Anbau auf Erde als Substrat vorschreiben. Die Nutzung eines mobilen Glashauses stellt daher eine wichtige Strategie dar, wie dennoch unter technisierten Bedingungen im geschützten Raum auch im größeren Stil Tomaten nach ökologischen Standards produziert werden könnten. Bis zu welcher Größe dies technisch umsetzbar ist, muss jedoch anhand von genauen Berechnungen analysiert werden.

In einem mobilen Folientunnel liegt der Fokus indes nicht nur auf einer Förderung der Bodenfruchtbarkeit, sondern auch auf dem möglichst effizienten Einsatz des geschützten Raumes. Aufgrund des geringeren Kälteschutzes ist ein Tomatenanbau ohnehin nur in den Monaten zwischen April und Oktober möglich bzw. ökonomisch. Über den Rest des Jahres bietet der mobile Folientunnel Raum für Winterkulturen und zur Ernteverfrühung im zeitigen Frühjahr, ebenso wie zum Schutz empfindlicher mehrjähriger Kulturen. Hier kann das volle Potential der Mobilität des geschützten Raumes genutzt werden.

5. Zusammenfassung

Der mobile geschützte Raum ist ein wesentlicher Lösungsansatz, um Tomaten unter geschützten Bedingungen auf gewachsener Erde anzubauen. Durch die Mobilität wird eine vielfältige Fruchtfolge ermöglicht und Versalzung und Bodenmüdigkeit vorgebeugt. So kann trotz des jährlichen Anbaus von Tomaten im selben geschützten Raum die Bodenfruchtbarkeit erhalten werden. Durch die Flexibilität kann der geschützte Raum zudem sehr viel vielseitiger und effizienter auch innerhalb eines Jahres eingesetzt werden, indem Kulturen nur während einer kritischen Zeit in ihrer Vegetationszeit geschützt werden. Dies eröffnet zahlreiche Möglichkeiten etwa für den Wintergemüseanbau.

Ein solcher geschützter Raum kann verschiedene Formen und Dimensionen umfassen. Prinzipiell muss unterschieden werden zwischen einem mobilen Glashaus und einem mobilen Folientunnel. Ersteres ist in der Anschaffung deutlich kosten- und ressourcenintensiver. Der Nutzen liegt hier vor allem in der Möglichkeit des geschützten Anbaus von Tomaten auf gewachsenem Boden unter Aufrechterhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens. Die Nutzung zum Wintergemüseanbau ist durch den Fokus auf die Hauptkultur Tomate stark eingeschränkt. Ein mobiler Folientunnel hingegen ist in der Anschaffung deutlich kostengünstiger und ressourcenschonender. Er kann vielseitig in die Gemüseproduktion integriert werden, der Fokus liegt jedoch nicht mehr hauptsächlich auf der Tomatenkultur, sondern auf der bestmöglichen Effizienz der Nutzung des geschützten Raumes für verschiedene Kulturen.

Ob ein mobiles Glashaus oder ein mobiler Folientunnel zum Einsatz kommt, entscheidet sich also nach der geplanten Ausrichtung des Betriebes. Liegt der Fokus rein auf der Tomatenproduktion, insbesondere im ökologischen Anbau, so kann ein mobiles Glashaus den erwünschten Nutzen bringen. Soll jedoch die Mobilität des geschützten Raumes voll ausgenutzt werden, so empfiehlt sich ein mobiler Folientunnel. Da das Ausnutzen vorhandenen Potentials und die größtmögliche Ressourcennutzungseffizienz Grundgedanken dieser Arbeit sind, wird der mobile Folientunnel hier vor dem mobilen Glashaus präferiert. Eine genaue Betrachtung der Kapitalverzinsung sollte hier angestellt werden.

Im geplanten Anbausystem wird die Schiene als Fortbewegungsmechanismus des geschützten Raumes gewählt. Hinzu kommen noch weitere Anforderungen an die Konstruktion – etwa eine

erhöhte Grundstabilität durch einen Rahmen, die Beweglichkeit der Giebelseite, oder die Gestaltung der Anschlüsse für Strom, Wasser und gegebenenfalls Heizung.

Um qualitativ hochwertige Tomaten produzieren zu können, spielt jedoch nicht nur der Anbau auf fruchtbarem und gesundem Boden eine Rolle. Besonderer Bedeutung kommt der Wahl des Anbausystems zu. Große Auswirkungen auf den Geschmack haben dabei die Anbaudaten. Um geschmackliche und ernährungsphysiologische Qualität zu erzielen, sollte über die Sommermonate, also etwa April bis Oktober, angebaut werden. So erhalten die Tomaten ausreichend natürliches Licht und Wärme, um ihren Geschmack voll zu entwickeln. Zudem sind eine künstliche Beheizung und Beleuchtung energieaufwendig und in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit zu hinterfragen. Eine zweite wesentliche Stellschraube für hohe Qualität ist die Bewässerung. Ein moderates Wasserdefizit in der Bewässerung führt bei Tomaten zwar zu einer Ertragsminderung, jedoch auch zu erhöhter Trockenmasse und verbessertem Geschmack. In der Weiterverarbeitung wirkt sich der erhöhte Trockenmassegehalt dabei positiv aus, bedeutet in der Frischvermarktung allerdings einen Ertragsverlust. Mit angepasster Düngung kann der Geschmack ebenfalls positiv beeinflusst werden. So sollen die Stickstoffgaben nicht zu hoch ausfallen. Organische Düngemittel sind dabei nicht nur aus ökologischer Sicht zu bevorzugen, sondern können sogar den Geschmack der Früchte verbessern, und das bei gleichbleibendem Ertragsniveau.

Nicht zu Letzt sollte auch bei der Sortenwahl große Sorgfalt auf Inhaltsstoffe und Geschmacksparameter der Sorte gelegt werden. Im gewählten Anbausystem soll dabei eine wohlschmeckende Roma-Tomatensorte, wie etwa 'Bolstar Sensatica' gewählt werden, da diese die Kriterien für Frischevermarktung und Weiterverarbeitung erfüllt. Dies ermöglicht eine höhere Flexibilität im Absatz und gibt die Möglichkeit, die Wertschöpfung durch Weiterverarbeitung zu erhöhen.

Um den Ertrag zu verbessern, ist die Veredelung eine gute Möglichkeit. Diese kann sich zwar auch auf qualitative Merkmale der Frucht auswirken, entscheidend ist jedoch die sorgfältige Auswahl der Kombination von Stamm und Unterlage. Auch die Pflanzgeometrie ist ein ertragsbestimmender Faktor mit Auswirkungen auf die Fruchtqualität. Dichtere Bestände führen zu erhöhter Konkurrenz der Pflanzen um Wasser, Licht und Nährstoffe, jedoch auch zu höheren Gesamterträgen. Abhängig von der Einstrahlungsstärke können die Bestände dicht oder weniger dicht gesetzt werden. Wobei dies nicht nur die Anzahl von Jungpflanzen,

sondern auch die Anzahl der hochgezogenen Tomatentriebe umfasst. Damit die Tomatentriebe eine entsprechende Größe erreichen können, werden sie im Layer-System gepflanzt und regelmäßig abgehängt. Eine wichtige Rolle für den Ertrag spielen Hummeln als Bestäuber. Sie sorgen dafür, dass möglichst viele Früchte befruchtet werden.

Um qualitativ hochwertige Tomaten zu produzieren, sollen daher die genannten Parameter berücksichtigt werden. Ein mobiler Folientunnel scheint als Schutz das geeignete Mittel.

6. Literaturverzeichnis

- 1 Abegaz EG, Tandon KS, Scott JW, Baldwin EA, Shewfelt RL (2004) Partitioning taste from aromatic flavor notes of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) to develop predictive models as a function of volatile and nonvolatile components. *Postharvest Biology and Technology* 34: 227–235. doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.05.023.
- 2 Adams S (2001) Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits. *Annals of Botany* 88: 869–877. doi: 10.1006/anbo.2001.1524.
- 3 Ahmad M, Bodlah I, Mehmood K, Sheikh UAA, Aziz MA (2015) Pollination and Foraging Potential of European Bumblebee, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) on Tomato Crop under Greenhouse System. *Pakistan Journal of Zoology*: 1279–1285, <https://www.researchgate.net/publication/281546591> Pollination and Foraging Potential of European Bumblebee *Bombus terrestris* Hymenoptera Apidae on Tomato Crop under Greenhouse System. 17.02.2021.
- 4 Aldenhof S (2020) Regionale Tomaten jahrrund. *Gartenbau Profi*, <https://www.gb-profi.de/nachricht-gemuese/detail/regionale-tomaten-jahrrund/>. 05.08.2020.
- 5 Aldenhoff S (2016) Tomaten geht Licht auf. *Neurather Gärtner GbR, Grevenbroich. Gartenbau Profi* 2016, <https://www.gb-profi.de/nachricht-obst/detail/tomaten-geht-licht-auf/>. 10.08.2020.
- 6 Amare G, Desta B (2021) Coloured plastic mulches: impact on soil properties and crop productivity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 8. doi: 10.1186/s40538-020-00201-8.
- 7 Arbex de Castro Vilas Boas A, Page D, Giovinazzo R, Bertin N, Fanciullino A-L (2017) Combined Effects of Irrigation Regime, Genotype, and Harvest Stage Determine Tomato Fruit Quality and Aptitude for Processing into Puree. *Frontiers in plant science* 8: 1725. doi: 10.3389/fpls.2017.01725.
- 8 Badr MA, Abou-Hussein SD, El-Tohamy WA (2016) Tomato yield, nitrogen uptake and water use efficiency as affected by planting geometry and level of nitrogen in an arid region. *Agricultural Water Management* 169: 90–97. doi: 10.1016/j.agwat.2016.02.012.
- 9 Baldwin EA, Scott JW, Einstein MA, Malundo TMM, Carr BT, Shewfelt RL, Tandon KS (1998) Relationship between Sensory and Instrumental Analysis for Tomato Flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123: 906–915. doi: 10.21273/JASHS.123.5.906.
- 10 Barzee TJ, Edalati A, El-Mashad H, Wang D, Scow K, Zhang R (2019) Digestate Biofertilizers Support Similar or Higher Tomato Yields and Quality Than Mineral Fertilizer in a Subsurface Drip Fertigation System. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3. doi: 10.3389/fsufs.2019.00058.
- 11 (1960) Baugesetzbuch. BauGB, <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html>. 18.01.2021.

- 12 (2007) Bayerische Bauordnung. BayBO, 2007. <https://www.gesetze-bayern.de/%28X%281%29S%28hw1ieia5vq2wxmlpw11w1yhh%29%29/Content/Document/BayBO>. 18.01.2021.
- 13 BDEW (2021) Heizanlagen im Gartenbau, <https://www.gewerbegas.info>. 18.01.2021.
- 14 Berry SZ, Uddin MR (1991) Breeding Tomato for Quality and Processing Attributes. In: Kalloo G (Hrsg.), Genetic Improvement of Tomato, Vol 14. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S.197–206. ISBN: 9783642842771.
- 15 Bertin N (2018) Fruit Quality. In: Heuvelink E (Hrsg.), Tomatoes, Auflage 2 Vol 27. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA. ISBN: 9781780641935.
- 16 Biswas S, Akanda A, Rahman M, Hossain M (2016) Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. *Plant, Soil and Environment* 61: 97–102. doi: 10.17221/804/2014-PSE.
- 17 Bond-Lamberty B, Thomson A (2010) Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature* 464: 579–582. doi: 10.1038/nature08930.
- 18 Bradley K (2013) Why Movable Greenhouses are a Great Idea. Milkwood, <https://www.milkwood.net/2013/09/09/why-movable-greenhouses-are-a-great-idea/>. 30.06.2020.
- 19 Budelman A (1988) The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. *Agroforestry Systems* 7: 33–45. doi: 10.1007/BF01890468.
- 20 Cardoso FB, Martinez HEP, Silva DJHd, Milagres CdC, Barbosa JG (2018) Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 48: 340–349. doi: 10.1590/1983-40632018v48i5a2611.
- 21 Chong HH, Simsek S, Reuhs BL (2009) Analysis of cell-wall pectin from hot and cold break tomato preparations. *Food Research International* 42: 770–772. doi: 10.1016/j.foodres.2009.02.025.
- 22 Claussen W, Brückner B, Krumbein A, Lenz F (2006) Long-term response of tomato plants to changing nutrient concentration in the root environment-the role of proline as an indicator of sensory fruit quality. *Plant science: an international journal of experimental plant biology* 171: 323–331. doi: 10.1016/j.plantsci.2006.04.002.
- 23 Coleman E, Palme A, Palme W (2014) Handbuch Wintergärtnerei. Frisches Biogemüse rund ums Jahr. Löwenzahn, Innsbruck. ISBN: 3706625652.
- 24 CS Bewässerungssysteme GmbH (2021) Informationen zum CS Perlschlauch, <https://cleverschlauch.de/wie-funktioniert-der-cs-perlschlauch/>, 21.01.2021.
- 25 D’Hose T, Molendijk L, van Vooren L, van den Berg W, Hoek H, Runia W, van Evert F, Berge H ten, Spiegel H, Sandèn T, Grignani C, Ruyschaert G (2018) Responses of soil biota to non-inversion tillage and organic amendments: An analysis on European multiyear field experiments. *Pedobiologia* 66: 18–28. doi: 10.1016/j.pedobi.2017.12.003.

- 26 Davis AR, Perkins-Veazie P, Hassell R, Levi A, King SR, Zhang X (2008) Grafting Effects on Vegetable Quality. *HortScience* 43: 1670–1672. doi: 10.21273/hortsci.43.6.1670.
- 27 De Bolster Biologische Zaden (2017) Katalog für den Profi-Bioanbau, <https://docplayer.org/64476036-Katalog-fuer-den-profi-bioanbau.html>. 19.01.2021.
- 28 Di Gioia F, Serio F, Buttaro D, Ayala O, Santamaria P (2010) Influence of rootstock on vegetative growth, fruit yield and quality in ‘Cuore di Bue’, an heirloom tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85: 477–482. doi: 10.1080/14620316.2010.11512701.
- 29 Dietrich R, Schrader K (2011) *Gewächshäuser und Heizungsanlagen im Gartenbau*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart-Hohenheim. ISBN: 9783800175826.
- 30 Djidonou D, Gao Z, Zhao X (2013) Economic Analysis of Grafted Tomato Production in Sandy Soils in Northern Florida. *HortTechnology* 23: 613–621. doi: 10.21273/HORTTECH.23.5.613.
- 31 Dorais M, Papadopoulos AP, Gosselin A (2000) Greenhouse Tomato Fruit Quality. In: Janick J (Hrsg.), *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc, Oxford, UK, S.239–319. doi: 10.1002/9780470650806.ch5.
- 32 Drobek M, Frąc M, Cybulska J (2019) Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy* 9: 335. doi: 10.3390/agronomy9060335.
- 33 EK (2008) Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/ biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, Amtsblatt der Europäischen Union, https://www.oeko-kontrollstellen.de/dokumente/VO-EG-Nr-889_2008.pdf. 01.07.2020
- 34 Erba D, Casiraghi MC, Ribas-Agustí A, Cáceres R, Marfà O, Castellari M (2013) Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques. *Journal of Food Composition and Analysis* 31: 245–251. doi: 10.1016/j.jfca.2013.05.014.
- 35 FAOSTAT (2018) Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT Database, <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- 36 Feng X, Xu Y, Liu D, Peng L, Dong J, Yao S, Feng Y, Feng Z, Li F, Hu B (2020) Effects of Organic Cultivation Pattern on Tomato Production: Plant Growth Characteristics, Quality, Disease Resistance, and Soil Physical and Chemical Properties. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 19: 71–84. doi: 10.24326/asphc.2020.1.7.
- 37 Folta KM, Klee HJ (2016) Sensory sacrifices when we mass-produce mass produce. *Horticulture research* 3: 16032. doi: 10.1038/hortres.2016.32.
- 38 Four Season Tools (2020) Structures for Horticulture, <https://www.smallfarmtools.com/structures-for-horticulture>. 07.09.2020

- 39 Giacomelli GA, Ting KC (1999) Horticultural and Engineering Considerations for the Design of Integrated Greenhouse Plant Production Systems. *Acta Horticulturae*: 475–482. doi: 10.17660/ActaHortic.1999.481.55.
- 40 Glawe A, Große Lengerich T (2017) Sortenprüfung von Tomaten im Frühjahr. Versuche im deutschen Gartenbau, <https://www.hortigate.de/bericht?nr=75714>. 19.01.2021
- 41 Górecka D, Wawrzyniak A, Jędrusek-Golińska A, Dzedzic K, Hamułka J, Kowalczewski PŁ, Walkowiak J (2020) Lycopene in tomatoes and tomato products. *Open Chemistry* 18: 752–756. doi: 10.1515/chem-2020-0050.
- 42 Gorovits R, Sobol I, Akama K, Chefetz B, Czosnek H (2020) Pharmaceuticals in treated wastewater induce a stress response in tomato plants. *Scientific reports* 10: 1856. doi: 10.1038/s41598-020-58776-z.
- 43 Hachmann TL, Echer MdM, Dalastra GM, Vasconcelos ES, Guimarães VF (2014) Cultivo do tomateiro sob diferentes espaçamentos entre plantas e diferentes níveis de desfolha das folhas basais. *Bragantia* 73: 399–406. doi: 10.1590/1678-4499.0163.
- 44 Harvey M, Quilley S, Beynon H (2003) Exploring the tomato. Transformations of nature, society and economy. Edward Elgar Publ, Cheltenham, UK. ISBN: 1 84376 189 0.
- 45 Heuvelink E (2005a) Developmental Processes. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Vol 13. CABI Pub, Wallingford. ISBN: 9781845931490.
- 46 Heuvelink E (Hrsg.) (2005b) *Tomatoes*, Vol 13. CABI Pub, Wallingford. ISBN: 9781845931490.
- 47 Heuvelink E, Li T, Dorais M (2018) Crop Growth and Yield. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Auflage 2 Vol 27. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA, S.89–136. ISBN: 9781780641935.
- 48 Heuvelink E, Okello RCO (2018) Developmental Processes. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Auflage 2 Vol 27. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA. ISBN: 9781780641935.
- 49 Hornischer U, Koller M (2005) Biologischer Anbau von Tomaten. FIBL-Merkblatt, https://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Verlag/MB_Tomaten.pdf. 17.04.2020.
- 50 Ichihashi Y, Date Y, Shino A, Shimizu T, Shibata A, Kumaishi K, Funahashi F, Wakayama K, Yamazaki K, Umezawa A, Sato T, Kobayashi M, Kamimura M, Kusano M, Che F-S, O'Brien M, Tanoi K, Hayashi M, Nakamura R, Shirasu K, Kikuchi J, Nihei N (2020) Multi-omics analysis on an agroecosystem reveals the significant role of organic nitrogen to increase agricultural crop yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117: 14552–14560. doi: 10.1073/pnas.1917259117.
- 51 Ilahy R, Tlili I, Siddiqui MW, Hdider C, Lenucci MS (2019) Inside and Beyond Color: Comparative Overview of Functional Quality of Tomato and Watermelon Fruits. *Frontiers in plant science* 10: 769. doi: 10.3389/fpls.2019.00769.

- 52 Jenkins G (2015) Simple investigations of local microclimates using an affordable USB temperature logger. *Weather*: 85–88. doi: 10.1002/wea.2341
- 53 Joseph H, Nink E, McCarthy A, Messer E, Cash SB (2017) “The Heirloom Tomato is ‘In’. Does It Matter How It Tastes?”. *Food, Culture & Society* 20: 257–280. doi: 10.1080/15528014.2017.1305828.
- 54 Kopittke PM, Menzies NW, Wang P, McKenna BA, Lombi E (2019) Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international* 132: 105078. doi: 10.1016/j.envint.2019.105078.
- 55 Koppert (2020) Natupol, <https://www.koppertbio.de/natupol/>. 01.09.2020.
- 56 Kowalczyk K, Gajc-Wolska J, Radzanowska J, Marcinowska M (2011) Assessment of chemical composition and sensory quality of tomato fruit depending on cultivar and growing conditions. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus Hortorum Cultus*: 133–140, http://www.hortorumcultus.actapol.net/pub/10_4_133.pdf. 06.05.2020.
- 57 Krug H (1991) *Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis*. Paul Parey, Berlin. ISBN: 3489557220.
- 58 Laber H, Lattauschke G (Hrsg.) (2014) *Gemüsebau, Auflage 2*. Ulmer, Stuttgart. ISBN: 9783818608378.
- 59 Lamichhane JR, Aubertot J-N, Begg G, Birch ANE, Boonekamp P, Dachbrodt-Saaydeh S, Hansen JG, Hovmøller MS, Jensen JE, Jørgensen LN, Kiss J, Kudsk P, Moonen A-C, Rasplus J-Y, Sattin M, Streito J-C, Messéan A (2016) Networking of integrated pest management: A powerful approach to address common challenges in agriculture. *Crop Protection* 89: 139–151. doi: 10.1016/j.cropro.2016.07.011.
- 60 Lattauschke G (2020) Nachtschattengewächse - *Solanaceae*. In: Laber H, Lattauschke G (Hrsg.), *Gemüsebau, Auflage 3*, S.456–486.
- 61 Lu J, Shao G, Cui J, Wang X, Keabetswe L (2019) Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis. *Agricultural Water Management* 222: 301–312. doi: 10.1016/j.agwat.2019.06.008.
- 62 Lu J, Shao G, Gao Y, Zhang K, Wei Q, Cheng J (2021) Effects of water deficit combined with soil texture, soil bulk density and tomato variety on tomato fruit quality: A meta-analysis. *Agricultural Water Management* 243: 106427. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106427.
- 63 Maddonni GA, Otegui ME (2006) Intra-specific competition in maize: Contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops Research* 97: 155–166. doi: 10.1016/j.fcr.2005.09.013.
- 64 Mariz-Ponte N, Martins S, Gonçalves A, Correia CM, Ribeiro C, Dias MC, Santos C (2019) The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae* 246: 777–784. doi: 10.1016/j.scienta.2018.11.058.
- 65 Mohammed AE, Smit I, Pawelzik E, Keutgen AJ, Horneburg B (2012) Organically grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): bioactive compounds in the fruit and infection

- with *Phytophthora infestans*. Journal of the science of food and agriculture: 1424–1431. doi: 10.1002/jsfa.4720.
- 66 Mohammed AE, Smit I, Pawelzik E, Keutgen AJ, Horneburg B (2020) Organically grown outdoor tomato: fruit mineral nutrients and plant infection by *Phytophthora infestans*. Organic Agriculture 10: 125–134. doi: 10.1007/s13165-019-00253-7.
- 67 Moonen AC, Barberi P (2006) An ecological approach to study the physical and chemical effects of rye cover crop residues on *Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli* and maize. Annals of Applied Biology 148: 73–89. doi: 10.1111/j.1744-7348.2006.00038.x.
- 68 Moreno MM, Moreno C, Tarquis AM (2013) Mulch materials in processing tomato: a multivariate approach. Scientia Agricola 70: 250–256. doi: 10.1590/S0103-90162013000400005.
- 69 Naher UA, Sarker IU, Jahan A, Maniruzzaman M, Choudhury AK, Kalra N, Biswas JC (2019) Nutrient Mineralization and Soil Biology as Influenced by Temperature and Fertilizer Management Practices. Sains Malaysiana 48: 735–744. doi: 10.17576/jsm-2019-4804-05.
- 70 Näsholm T, Huss-Danell K, Högborg P (2000) Uptake of organic nitrogen in the field by four agriculturally important plant species. Ecology: 1155–1161. doi: 10.2307/177188.
- 71 Ozer H (2017) Organic Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) Production under different Mulches in Greenhouse. Journal of Animal and Plant Sciences: 1565–1572, <http://thejaps.org.pk/docs/v-27-05/22.pdf>. 06.05.2020
- 72 Palme W (2016) Low-Energy Tomate? Land schafft Leben, <https://www.youtube.com/watch?v=SFOYq-D9Vq0>. 29.05.2020
- 73 Palme W (2018) Rolltunnelsysteme. Aufbauende Landwirtschaft – Boden wieder gut machen. Methoden einer regenerativen Agrarkultur. Gemeinschaft Tempelhof. Kreßberg, <https://www.youtube.com/watch?v=S3fRLGZ-I-M>. 07.06.2020
- 74 Palme W (2019) Mobile Gewächshäuser und Rolltunnelsysteme, 2. Marktgarten und Mikrofarming Konferenz. Tagungshaus Stephansstift. Öko Landwirte Netzwerk, S.Ö.L. Hannover, <https://www.youtube.com/watch?v=mvtT5ffOMm0>. 07.06.2020
- 75 Pantel N (2019) Tomaten: Europas trauriges Dauergemüse. Süddeutsche Zeitung, <https://www.sueddeutsche.de/stil/frankreich-tomaten-gemuese-1.4562699>. 17.04.2020.
- 76 Paolo D, Bianchi G, Lo Scalzo R, Morelli CF, Rabuffetti M, Speranza G (2018) The Chemistry behind Tomato Quality. Natural Product Communications: 1125–1232. doi: 10.1177/1934578X1801300927
- 77 Parađiković N, Vinković T, Vinković Vrček I, Žuntar I, Bojić M, Medić-Šarić M (2011) Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. Journal of the science of food and agriculture 91: 2146–2152. doi: 10.1002/jsfa.4431.
- 78 Patanè C, Tringali S, Sortino O (2011) Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Scientia Horticulturae 129: 590–596. doi: 10.1016/j.scienta.2011.04.030.

- 79 Peet MM, Welles G (2005) Greenhouse Tomatoe Produktion. In: Heuvelink E (Hrsg.), Tomatoes, Vol 13. CABI Pub, Wallingford. ISBN: 9781845931490.
- 80 Petrikovszki R, Erdélyi M, Erdei M, Nagy P, Barbara S, Ferenc T (2018) Examination of background factors to decrease the damage by *Meloidogyne incognita* in an open-field tomato experiment, [https://www.researchgate.net/publication/327797732 Examination of background factors to decrease the damage by *Meloidogyne incognita* in an open-field tomato experiment](https://www.researchgate.net/publication/327797732_Examination_of_background_factors_to_decrease_the_damage_by_Meloidogyne_incognita_in_an_open-field_tomato_experiment). 15.05.2020
- 81 Pilkington LJ, Messelink G, van Lenteren JC, Le Mottee K (2010) “Protected Biological Control” – Biological pest management in the greenhouse industry. *Biological Control* 52: 216–220. doi: 10.1016/j.biocontrol.2009.05.022.
- 82 Plaisier HF (1992) Energy saving and climate improvement with thermal screens. *Acta Horticulturae*: 63–64. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.312.7.
- 83 Puskeiler M (2013) Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland. Zugl.: Karlsruhe, KIT, Diss., 2013, Vol 59. Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; KIT Scientific Publishing, Hannover, Karlsruhe. doi: 10.5445/KSP/1000034773.
- 84 Rimol Greenhouse Systems (2020) Rolling Thunder. Movable Structure for Growing, <https://www.rimolgreenhouses.com/greenhouse-series/rolling-thunder>. 07.09.2020
- 85 Ripoll J, Urban L, Staudt M, Lopez-Lauri F, Bidel LPR, Bertin N (2014) Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. *Journal of experimental botany* 65: 4097–4117. doi: 10.1093/jxb/eru197.
- 86 Rivoal A, Fernandez C, Greff S, Montes N, Vila B (2011) Does competition stress decrease allelopathic potential? *Biochemical Systematics and Ecology* 39: 401–407. doi: 10.1016/j.bse.2011.05.017.
- 87 Rocksch T (2020) Technische Ausstattung. In: Laber H, Lattauscke G (Hrsg.), *Gemüsebau*, Auflage 3, S.71–105. ISBN: 9783818608378.
- 88 Saltveit ME (2005) Fruit Ripening and Fruit Quality. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Vol 13. CABI Pub, Wallingford. ISBN: 9781845931490.
- 89 Santos BM, Salamé-Donoso TP (2018) Production in Open Field. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Auflage 2 Vol 27. CABI CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA, S.258–275. ISBN: 9781780641935.
- 90 Santos BM, Torres-Quezada A (2018) Irrigation and Fertilization. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Auflage 2 Vol 27. CABI CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA, S.180–206. ISBN: 9781780641935.
- 91 Schwarz K, Resende JTV de, Preczenhak AP, Paula JT de, Faria MV, Dias DM (2013) Desempenho agrônômico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo rasteiro. *Horticultura Brasileira* 31: 410–418. doi: 10.1590/S0102-05362013000300011.

- 92 Seleguini A, de Araújo Faria Júnior MJ, Shizuo S (2006) Plant spacing and number of inflorescences for tomato crop grown under protected environment. *Acta Scientiarum Agronomy*: 359–363.
<https://www.researchgate.net/publication/44385740> Espacamento entre plantas e numero de racimos para tomateiro em ambiente protegido Plant spacing and number of inflorescences for tomato crop grown under protected environment.
 06.09.2020.
- 93 Seliga JP, Shattuck VI (1995) Crop rotation affects the yield and nitrogen fertilization response in processing tomatoes. *Scientia Horticulturae* 64: 159–166. doi: 10.1016/0304-4238(95)00837-3.
- 94 Siddiqui MW, Ayala-Zavala JF, Dhua RS (2015) Genotypic variation in tomatoes affecting processing and antioxidant attributes. *Critical reviews in food science and nutrition* 55: 1819–1835. doi: 10.1080/10408398.2012.710278.
- 95 Silva Ljd, Milagres CdC, Silva DJHd, Nick C, Castro JPA de (2011) Basal defoliation and their influence in agronomic and phytopathological traits in tomato plants. *Horticultura Brasileira* 29: 377–381. doi: 10.1590/S0102-05362011000300020.
- 96 Singh H, Kumar P, Chaudhari S, Edelstein M (2017) Tomato Grafting: A Global Perspective. *HortScience* 52: 1328–1336. doi: 10.21273/HORTSCI11996-17.
- 97 Soussana J-F, Lutfalla S, Ehrhardt F, Rosenstock T, Lamanna C, Havlík P, Richards M, Wollenberg E, Chotte J-L, Torquebiau E, Ciais P, Smith P, Lal R (2019) Matching policy and science: Rationale for the ‘4 per 1000 - soils for food security and climate’ initiative. *Soil and Tillage Research* 188: 3–15. doi: 10.1016/j.still.2017.12.002.
- 98 Sradnick A, Feller C, Fink M (2017) Nährstoffgehalte und N-Mineralisierung organischer Düngemittel,
<https://www.igzev.de/publikationen/IGZ> Organische Duenger Naehrstoffgehalte N-Mineralisierung.pdf. 19.01.2021.
- 99 Theurl MC (2008) CO₂-Bilanz der Tomatenproduktion. doi: 10.25365/thesis.2276
- 100 Tofanelli MBD, Wortman SE (2020) Benchmarking the Agronomic Performance of Biodegradable Mulches against Polyethylene Mulch Film: A Meta-Analysis. *Agronomy* 10: 1618. doi: 10.3390/agronomy10101618.
- 101 Valera DL, Belmonte LJ, Molina-Aiz FD, López A (2016) Greenhouse Agriculture in Almeria. A comprehensive, techno-economic analysis,
<https://www.researchgate.net/publication/297732115> Greenhouse Agriculture in Almeria A comprehensive techno-economic analysis. 19.01.2021
- 102 van der Scheer T (2018) ‘Wasserbombe revisited’,
<https://www.gfactueel.nl/Glas/Weblogs/2018/7/Wasserbombe-revisited-308249E/>.
 05.05.2020
- 103 van Heusden S, Lindhout P (2018) Genetics and Breeding. In: Heuvelink E (Hrsg.), *Tomatoes*, Auflage 2 Vol 27. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK, Boston, MA, S.27–58. ISBN: 9781780641935.

- 104 Wang L, Bai J, Yu Z (2017) Responses of volatile compounds in inner tissues on refrigeration in full ripe tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation* 41. doi: 10.1111/jfpp.13272.
- 105 Wang Y-T, Huang S-W, Liu R-L, Jin J-Y (2007) Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 461–468. doi: 10.1002/jpln.200700011.
- 106 Weathers J (Hrsg) (1913) *Commercial gardening, a practical & scientific treatise for market gardeners, market growers, fruit, flower & vegetable growers, nurserymen, etc., Vol 1*. The Gresham publishing company, London. doi: 10.5962/bhl.title.21230.
- 107 Yilmaz E (2001) The chemistry of fresh tomato flavor [Taze Domates Lezzet Kimyasi]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: 149–155. doi: 10.3906/tar-0007-14.
- 108 Zhang X, You S, Tian Y, Li J (2019) Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio-based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae* 249: 38–48. doi: 10.1016/j.scienta.2019.01.037.
- 109 Zheng J, Li X, Zhang Y, Zhang P, Wang J (2019) Effects of Digestate Application on Tomato Growth, Yield, Quality, and Soil Nitrogen Content via Integrated Hole Irrigation. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* 13: 620–634. doi: 10.1166/jbmb.2019.1899.
- 110 Zheng J, Ma J, Feng ZJ, Zhu CY, Wang J, Wang Y (2020) Effects of biogas slurry irrigation on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) physiological and ecological indexes, yield and quality as well as soil environment. *Applied Ecology and Environmental Research* 18: 1013–1029. doi: 10.15666/aeer/1801_10131029.

7. Anhang

7.1. Anlage 1: Interview mit Herrn DI Wolfgang Palme, Abteilungsleiter an der Versuchsanlage Zinsenhof der HBLFA Schönbrunn vom 11.08.2020, Transkription

S.W.: Sie haben ja auch ein mobiles Gewächshaus im Einsatz, wie sind Sie auf diese Idee gekommen?

Aufzeichnungen lückenhaft. Inhaltlich: Eliot Coleman aus den USA war hier ein Vorbild. Auch er hat mobile Folientunnel im Einsatz.

W.P.: [Es ist] eine sehr ressourceneffiziente, Energie und materialschonende Ganzjahresproduktion. Da ist der Rollfolientunnel ein ideales Werkzeug auch.

S.W.: Was haben Sie da so für Fruchtfolgen, also wie nutzen Sie das?

W.P.: Ja, also das ist jetzt, nur um mal das System zu erklären, also was da dahinter steckt. Also überhaupt der intensive oder geschützte Anbau von Gemüse in Gewächshäusern oder Folientunnel oder wie auch immer, der hat ja schon eine lange Geschichte im Gemüsebau, und zum Ziel, dass man durch diese geschützten Verhältnisse eine Saisonverlängerung zustande bringt, oder manche Kulturen überhaupt erst in einer wirtschaftlichen Weise vor allem bei Fruchtgemüse bei uns produzieren kann, in unseren Breiten. Die eben eine wirtschaftliche Gemüseproduktion überhaupt erlauben. Der Nachteil aber ist, dass diese geschützten Verhältnisse, die intensive Nutzung, sich auf den Boden sehr belastend auswirkt, man spricht ja da von dieser Bodenmüdigkeit. Dass sie, die Fruchtfolge, sehr eingeschränkt ist, weil man hat ja auch aus diesen wirtschaftlichen Zwängen heraus ein sehr knappes Sortiment zur Verfügung [hat], mit dem man da sicherlich jedes Jahr dieselben Flächen bespielen muss. Die intensive Nutzung, die Anreicherung von Krankheiten und Schädlingen, der einseitige Nährstoffentzug im Boden, diese semiariden Verhältnisse, mit denen es ja immer darum geht, dass Wasser eigentlich mehr verdunstet als es in den Boden einbringt, und Sie schaffen da so eine halbwüstenähnliche Grundsituation die sich von den Freilandstandorten sehr, sehr deutlich unterscheidet. Deshalb, jetzt in der Geschichte gesehen, nachdem man das jahrzehntelang praktiziert hat[te] im Intensivgemüsebau, egal jetzt ob biologisch oder konventionell, hat sich da so ein Druck aufgebaut, Lösungsansätze zu finden. Und der ist eigentlich im großen Stil in Richtung erdlose Kultur gegangen. Dann haben die Gärtner gesagt,

naja gut, also wenn der Boden nichtmehr mitspielt, weil der da irgendwie mit der Einseitigkeit der Fruchtfolge und der Bodenmüdigkeit uns da mehr oder weniger unter den Füßen wegbricht, dann setzten wir uns vom Boden ganz ab. Und da sind Ideen entstanden, dass man Gemüse in Nährlösungen, also von der NFT Technik, wo überhaupt kein Substrat mehr vorhanden ist, bis hin zu irgendwelchen, ja Steinwoll-, Schaumstoff-, Kokosfasersubstraten, was da halt alles so im Umlauf ist, dass man halt dann mit zirkulierenden Nährlösungen mit einer Computersteuerung ein ganz eigenes Umfeld aufbaut. Da ist die Forschung eben sehr intensiv, in Holland eben zum Beispiel. Ich muss sagen, dass ist eine verständliche Richtung, aber sie entspricht halt überhaupt nicht dem biologischen Gedanken eines Kreislaufsystems. Einer wirklich biologischen Einheit von Boden, Pflanze und Bearbeiter, also dem Gärtner oder dem Bauer. Also das kann wohl nicht die Lösung sein, wenn es darum geht, hier einen nachhaltigen, einen dauerhaften Ansatz zu finden, der vor allem ressourcenschonend [ist]. Und da ist der Ansatz, sich mit diesen Gewächshauskonstruktionen mobil zu machen, also beweglich zu werden, eigentlich ein genialer. Und dieser Ansatz ist überhaupt nicht neu, also der ist schon über hundert Jahre alt. Es gibt da in der Literatur alte Agrarwissenschaftler, die gesagt haben, bewegliche Gewächshausstrukturen sind eine gute Lösung um, eben, die enge Fruchtfolge aufzubrechen. Da hat es zum Beispiel in England einen Agrarwissenschaftler, den John Weathers, der hat schon 1914 gesagt, ja die Vorteile von beweglichen Glasstrukturen liegen auf der Hand. Der Boden ist immer, hat er geschrieben 'den lieblichen Einflüssen des Wetters ausgesetzt'. Regen, Schnee, Hitze, Kälte. All das, was eigentlich auch den Boden zu dem gemacht hat, was er ist in unseren Breiten - dem entziehen wir uns im Jahr durch das Gewächshaus. Aber das [der mobile Folientunnel] macht ihn wieder zugänglich, während das Gewächshaus bei der Arbeit dort steht. und das war eben auch der Ansatz, warum der Herr Coleman gesagt hat: ja, er versucht da (aber schon vor Jahrzehnten) sich da mit dieser Sache zu beschäftigen. Früher hat man wirkliche Gewächshäuser spazieren geführt. Das waren massive Stahlkonstruktionen mit einer Glaseindeckung. Wir haben selbst, noch an unserer Versuchsanstalt an einer Außenstelle schon sowas gehabt. Das hat man zwei, drei Jahre lang mit großem Aufwand hat man das auf Rollen und Schienen und Balken entlang gezogen. Da sind die Scheiben geflogen, weil das so ein starres Gefüge war. Eigentlich eine schlankere Möglichkeit zu finden, eine mobilere, eine wendigere Möglichkeit zu finden sich mit diesen einfachen Folienhäusern auf die Reise zu machen. Wo das im normalen Folienanbau, also jetzt, wenn man normale Gärtnerbetriebe hernimmt, ist es ja oft auch so. Da stellt man eine

Folienanlage hin, die hat eine Eindeckung, eine Folieneindeckung die hat eine Lebensdauer von 7-10 Jahren. Danach, wenn wieder zum neu Eindecken wäre, nutzt man die Gelegenheit, die ganze Konstruktion wieder auf einem anderen Standort aufzubauen. Macht man eigentlich eh im Herkömmlichen. Aber unser Vorteil mit diesen beweglichen Strukturen ist, dass man viel weniger ist, dass man diese Beweglichkeit auch sogar während einer Saison mehrmals irgendwie in Anspruch nehmen kann. Über bestehende Kulturen drüberfahren. Das macht die Sache halt so interessant, weil ich kann auch diese wertvolle Einheit des geschützten Abteils der Pflanze genau zu dem Zeitpunkt zugänglich machen, wo sie es wirklich braucht. Ich muss sie nicht von Anfang an in ein geschütztes Verhältnis reinstellen, wo auch die Freilandbedingungen noch völlig ausreichen. Wenn man den Wintergemüsebau betrachtet, das ist eines unserer wichtigen Forschungsgebiete, da habe ich ja auch zwei Bücher geschrieben dazu und das beschäftigt uns jetzt schon seit dreizehn, vierzehn Jahren, dass man den Winter für Frischgemüse nutzbar machen kann. Mit einfachen Mitteln. Es geht uns immer darum, diesen Low-Input-Gedanken, den Low-Energy-Gedanken zu pflegen und zu entwickeln. Dass man nicht mit aufwendiger Technik und mit riesengroßem Energieaufwand ein Frischeprodukt auf den Markt bringt, das einen Fußabdruck hat wie ein Elefant. Sondern es geht da drum, schlank unterwegs zu sein. Und da, zum Beispiel, kann man Salatsätze ins Freie setzten ab August/September, die zu spät sind, dass sie im Freien abschließen können noch, aber die am Anfang noch im Freien stehen. Währenddessen wachsen die Tomaten noch im Foliengewächshaus, können in Ruhe zu ende kultiviert werden bis Mitte/Ende Oktober. Und dann fährt man mit diesem Folientunnel über den bestehenden Salatsatz drüber. Der kriegt ein Dach über den Kopf, genau zu dem Zeitpunkt, wo es für ihn schon ungemütlich wird. So, das ist eigentlich nicht nur eine ökologische, sondern auch eine sehr ökonomische Art, wie man eben so eine geschützte Fläche sehr punktgenau zum Einsatz bringt. Das ist der Grundgedanke dahinter und da bieten sich jetzt sehr viele Fruchtfolgemöglichkeiten. Weil ich kann, also wir haben zum Beispiel bei uns am Zinsenhof, das ist unsere Gemüseversuchsanlage in der Nähe von Melk, also so ungefähr 100 km westlich von Wien, da haben wir jetzt eine Fläche, die ist 120 m lang. Und unser, und da liegen, praktisch, so kann man sich das vorstellen, da liegen Schienen über die ganze Länge und der Tunnel ist 20 m lang und 10 m breit. Und das heißt, ich habe 6 Positionen wo dieser Tunnel stehen kann. Und man kann den mit dem Traktor ziehen, ohne großen Aufwand und dann kann man den Tunnel auf 6 verschiedenen Möglichkeiten abstellen, das heißt, auch nur alle 6 Kulturen kommt der wieder auf dieselbe

Fläche. Dazwischen ist es Freiland, da kann Freilandgemüse stehen, da können auch alle möglichen, ja da kann man wirklich mit einer sehr breiten Sortimentvielfalt arbeiten und kann ein bisschen durchbrechen dieses System. Da gibt es eine Geschützkultur, die sind sehr eng von der Sortimentsbreite her und [mit dem Tunnel] da verschwimmen die Grenzen. Das tut dem Boden gut, das schafft botanische Abwechslung, das wirkt genau dieser Bodenmüdigkeit entgegen. Da kommt auch immer wieder Wasser auf die Fläche durch den natürlichen Regen, das tut dem Bodenleben besonders gut, dem Humusaufbau- das sind genau diese Größen, auf die wir wirklich das Augenmerk legen müssen, wenn wir einen gesunden nachhaltigen Gemüsebetrieb wollen.

S.W.: Wie haben Sie das dann gemacht, wenn Sie die 6 Positionen haben mit den Anschlüssen, also Wasser, Strom?

W.P. Das ist eine gute Frage. Also, wir haben das so gemacht: wir haben 3 Docking Stations gebaut während der ganzen Länge. Das sind drei so, ja, Kästchen, die entlang der Fläche stehen. Und in jedem Kästchen gibt es einen Wasser- und einen Stromanschluss. Also wenn ich jetzt mit dem Tunnel auf irgendeine Position fahre, dann kann ich mit meinem Schlauch und mit meinem Stecker dort anschließen und dann ist der Tunnel mit Wasser und Strom versorgt, was ich brauch, damit ich da drinnen das Gemüse kultivieren kann. Hat mehr Variation, also ich steck mal da, mal dort an und hab eigentlich dann immer die nötigen Eigenschaften auch, die ich brauche, mit der Belüftung, mit der Bewässerung und so weiter.

S.W.: Aber bezüglich der Bewässerung haben Sie denn irgendwie Tröpfchenbewässerung verlegt, oder...?

Ja, wir haben Tröpfchenbewässerung und die nehmen wir halt einfach mit. Also wir fahren praktisch, also während da Fruchtgemüse drin wächst wird der Tunnel ja nicht bewegt, weil da muss das ja wirklich, beispielsweise bei Tomaten auch, an der Konstruktion hochleiten, die werden ja angebunden an Schnüren, da leg ich meine Tröpfchenbewässerung aus. Natürlich jetzt während des Sommers steht der Tunnel praktisch in Ruheposition, da wachsen Fruchtgemüse drin. Aber wie ich schon gesagt habe: Daneben steht schon die nächste Kultur und wartet schon darauf, wenn ich dann abgebaut habe, meine Tröpfchenbewässerung wieder raus genommen habe aus dem Tunnel, dann fahr ich drüber und kann dann halt am Nachbarplatz Salate bedecken. Und da kann ich mit der Überkopfberegnung gießen. Ich habe auch eine Überkopfberegnung im Tunnel.

S.W.: Die ist dann fest installiert?

W.P.: Die schließe ich nur mit dem Schlauch an und schon funktioniert dann Bewässerungssystem Nummer zwei.

S.W.: Ah ok. Und ist der Tunnel dann eine Eigenkonstruktion oder...?

Ja das ist auch eine gute Frage, also es gibt natürlich das auch nicht von der Stange.

S.W.: Ja, das denk ich mir.

Wir haben also unseren Tunnel 2012 gebaut, das war eben noch sehr pionierartig, und sind da an eine sehr gut eingeführte, renommierte Folientunnelfirma aus Süddeutschland herangetreten, die Firma Götsch & Fälschle und haben gesagt, was wir wollen. Wir waren ein bisschen irritiert und oder noch orientierungslos. Aber wir haben dann eben erarbeitet, auch gemeinsam, was wir dafür brauchen, was das können soll, und die haben so eine Art Prototypen eben dann gebaut. Das ist eigentlich nichts anderes als ein normaler Folientunnel, aber er ist unten mit den Stehern nicht in Punktfundamenten praktisch positioniert, sondern er hat unten Rollen. Also er, also an jedem der Bögen, an jeder Steherphase befinden sich Rollen, die sitzen am Gleis. Aber natürlich muss er sonst noch ein bisschen anders gebaut sein. Er hat mehr Versteifungen innen, so dass, wenn ich den Tunnel ziehe, dass er sich nicht verwindet, dass er sich nicht verkantet und eckt, weil in dem er sich halt eben zu stark verwindet während der Bewegung. Und dann muss er natürlich, und das ist auch ein... also ich möchte jetzt nicht sagen, dass unser Tunnel schon der Eckpunkt aller Entwicklung ist. Also der hat noch ziemliche Kinderkrankheiten. Vor allem in den Ecken ist er noch sehr undicht. Das ist ja ein Doppelfolientunnel, der halt so eine aufgeblasene Doppelfolie hat und eine durchgehende Seitenlüftung. Aber über die ganze Länge des Tunnels ist unten eine Folie, die sogenannte Schurz(?). Also wenn der jetzt auf den Schienen steht hat der so einen Folienschurz, mit dem er am Boden aufliegt, so dass er auf der Seite dicht ist, und da liegen schon Sandsäcke. Aber an den Ecken gibt es da irgendwie Eintrittsporten für Kaltluft, für Windeinbruch, und das hat uns im Winter auch schon immer wieder bei Winterstürmen Schwierigkeiten gemacht, dass es dann zu Beschädigungen an dem Gewächshaus(?) gekommen ist. Und der zweite große Schwachpunkt, das sind die Giebelseiten. Wir haben das so gedacht. Wir haben jetzt Giebelseiten, das läuft in Schienen. Diese Schiebetür kann man praktisch hochkurbeln, und zwar zwei Meter hoch. Das Problem ist aber, die sind auch zu

wenig dicht, und da arbeitet der Wind dran und das Ganze. Erstens einmal sind dann die geschützten Verhältnisse nicht so effizient und nicht so dicht wie man das von einem Folientunnel gewohnt ist. [Es] hat auch einen energetischen Nachteil, aber es ist vor allem auch konstruktiv instabil.

S.W.: Aber daran könnte man theoretisch schon arbeiten, oder, wenn man jetzt die Probleme kennt?

W.P.: Daran könnte man arbeiten, genau. Es reicht zum Beispiel, wenn man diese Giebelseite einfach nur einen dreiviertel Meter hochklappen kann. Dass man während der Bewegung, also wenn man den schiebt, im Prinzip, dass der nur hochgeklappt ist. Dann fährt der über den bestehenden Salatsatz drüber, der ist ja nicht höher als einen dreiviertel Meter. Braucht man eigentlich die zwei Meter gar nicht, das ist ein bisschen überdimensioniert gewesen. Dann klappt man das runter und hat dann wieder eine fixe, mit der Konstruktion verbundene Giebelseite mit einer Tür, die das Ganze stabiler macht.

S.W.: Aber wurde der Tunnel dann nochmal gebaut für Andere von der Firma?

W.P.: Also ja, es gibt zumindest einige Interessenten. Einige in Österreich haben sich das jetzt aber auch schon selbst gebaut, solche Tunnel haben manche selber adaptiert. Es gibt da sehr kreative Gärtner auch, die sich da durchaus dieser Bastlerherausforderung angenommen haben. Aber es gibt jetzt mittlerweile einige Betriebe, die mit solchen beweglichen Teilen arbeiten. Und nicht alle, die jetzt das Schienensystem nutzen. Also wir haben uns für die Schiene entschieden, weil bei uns fährt der Tunnel mit Rollen auf dieser Schiene, hat aber unten eine Gegenrolle, das heißt der Tunnel kann nicht vom Gleis, der ist gegengehalten. Das war mir schon wichtig, weil wenn da Wind drüber geht oder durchfährt, dass der den Tunnel nicht vom Gleis hebt. Das wäre mir zu unsicher bei den Konstruktionen, wo nur mit Rädern gearbeitet wird. Also das gibt es auch. Da gibt es ja so Manche, und der Eliot Coleman macht das selber auch so. Er steckt praktisch an den Stehern immer steckt er so Räder, wie Scheibtonräder(?) an und fährt dann mit dem Tunnel. Dann ist er natürlich ganz frei. Der kann mit dem Tunnel hinfahren wo er will und ist nicht an dieses Schienensystem und die Positionen gebunden. Dann stellt er ihn dort wieder ab und bindet ihn mit Bändern, also mit Erdankern dort fest. Aber das war mir ein Bisschen zu unsicher. Weil, ich weiß nicht, wenn es da mal einen heftigen Regen, ein Gewitter gibt, der Boden ist durchweicht, dass der Wind reinfährt und aus dem Rolltunnel einen Flugtunnel macht. Das ist schon ein ziemliches Risiko. Und leider

gibt es dafür auch schon ein Beispiel in der Steiermark, dass einer dann den Tunnel aus dem Weingarten des Nachbars hat herauslesen müssen.

S.W.: Ah, nein, das ist nicht optimal. Aber sind die Schienen dann mittels eines Fundaments richtig befestigt?

W.P.: Ja. Also die Schienen haben wir fix gebaut, wir haben alle zwei Meter ein Punktfundament gesetzt und haben da eine Stahlschiene gelegt. Das ist natürlich auch ein Aufwand, den man einkalkulieren muss, den man so vorbereiten muss. Ich meine, dass macht sich dann in der Bedienung angenehm, aber es erhöht halt schon die Investitionen am Anfang, wenn man sich für so einen Rolltunnel entscheidet.

S.W.: Aber würden Sie sagen, die Mehrinvestition lohnt sich definitiv, also wenn man es jetzt ökonomisch sieht?

W.P.: Ja, würde ich schon sagen, also weil...dann muss ich es aber wirklich auch in der Fruchtfolge systematisch nutzen im Betrieb. Und da kann man auch sehr kreativ sein. Wie man dann drei, vier, fünf Kulturen im Jahr unterbringt auf einer Fläche. Durch das Verschieben kann das eben sehr, sehr klein geschachtelt werden und die Fläche sehr effizient genutzt werden. Also das ist sicher eine wirtschaftliche Dimension, die man sich da nicht entgehen lässt. Aber jetzt immer unter der Voraussetzung, ich bin ein kleinstrukturierter, vielfältiger, ökologisch arbeitender Betrieb, der diesen Vorteil dann auch dem Kunden kommunizieren kann. Also es geht ja auch immer um (?) darum Betriebe zu fördern, die auf kleiner Fläche wieder gut leben können. Die mit der Nähe zum Kunden sich eine Existenz aufbauen können, die sie unabhängig macht von diesen Preisschlachten, die sich am Großhandel abspielen und der Supermarktabhängigkeit. Es entwickeln sich ja auch viele Betriebe immer mehr zu einer echten wirtschaftlichen existenzgefährdenden Situation. Zum Beispiel durch Solidarische Landwirtschaft, durch ab Hof Verkauf, durch Wochenmarkt Kontakt zum Kunden oder Abokisten. Und dass man da eine Kommunikation zum Kunden aufbaut, mit der man diese Entstehungsgeschichte auch vermittelt. Das sieht man natürlich einem Produkt nicht an, dass es im Rolltunnel entstanden ist, aber wenn ich die Geschichte erzähle, wenn ich jetzt Bilder zeige: ich habe da eine innovative geniale Idee im Einsatz. Und das ist ja nur eines meiner Instrumente mit dem ich die Fläche intensiv nutze, biointensiv, aber sie nicht ausbeute. Im Gegenteil, auf Nachhaltigkeit den Fuß aufbaue, auf ein ökologisches Gleichgewicht, eine Kreislaufwirtschaft. Dann ist das eine sehr schöne durch und durch transparente Geschichte,

die mir der Kunde auch heutzutage immer stärker honoriert. Also da gibt es viele Instrumente und wir beschäftigen uns mit unseren Forschungsprojekten gezielt damit. So wie ein Werkzeugkoffer, so dass Betriebe sagen können: Ok, ich brauch nicht alles, aber den Hammer und die Zange, die nehme ich mir aus diesem Ideenkonzept heraus. Und wir wollen das halt, wir machen das sehr praxisnah in unserem Versuchsbetrieb. Auch selber so leben, dann kann man es uns anschauen, sich inspirieren lassen.

S.W.: Wie viele Betriebe sind das dann in etwa, die jetzt so einen beweglichen Folientunnel haben, wissen Sie das?

W.P.: Bei uns in Österreich sind es vielleicht sieben, acht Betriebe. Nicht ganz in der Breite angekommen, muss man sagen, aber das Potential, von dem bin ich überzeugt. Wir haben schon Rolltunnelfachtage bei uns gemacht und die waren gut besucht. Wir haben wirklich uns bemüht, das den Betrieben schmackhaft zu machen. Aber natürlich, es ist und bleibt erst einmal eine Investition. Also das kann man auch jetzt nicht leugnen. Weil man dann erstmal was reinsteckt und dann...aber, Gewächshaus bauen kostet noch viel mehr. Also es ist immer noch im Low-Budget-Bereich, wenn man das jetzt vergleicht im Intensivgemüsebau.

S.W.: Aber es ist auch für den einzelnen Betrieb noch eine gewisse Bastlerei, oder, weil es das ja noch nicht fertig gibt so als Gewächshaus?

W.P.: Na, also man kann das schon bei dieser Firma, kann man es fertig bestellen. Also die sind bereit, das zu bauen. Also die Möglichkeit gibt es schon. Natürlich hat das dann einen Mehrpreis gegenüber einem normalen Folientunnel. Aber man muss es nicht selber basteln.

S.W.: Und nutzen Sie den dann auch den gesamten Winter über oder haben Sie schon eine Zeit, wo er doch leer ist?

W.P.: Also wir nutzen ihn eigentlich den gesamten Winter über, weil es ist eben Teil unseres Forschungsprogramms den Winter zu überforschen. Und da kommt der Rolltunnel jedes Jahr zum Einsatz. Haben wir immer für unsere Versuche dann auch im Einsatz und wir wollen ja gerade diese Kombination zeigen, dass man den Rolltunnel kombiniert mit dem Wintergemüsebau. Das ist eigentlich eine ideale Kombination, wenn man sich eigentlich ein bis zwei neue Kulturen im Jahresablauf erwirtschaften kann und die dann natürlich auch zum richtigen Zeitpunkt verkaufen kann.

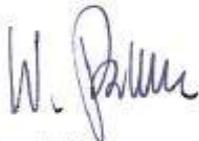
Einwilligungserklärung zur Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Interviewdaten

Datum des Interviews: 10.08.2020
Forschungseinrichtung: Universität für Bodenkultur Wien
Verwendung des Interviews: Masterarbeit von Frau Sarah Walz

Das telefonische Interview zum Thema mobile Gewächshäuser und Folientunnel findet im Rahmen der Masterarbeit von Frau Sarah Walz an der Universität für Bodenkultur Wien statt und darf für diese verwendet werden. Das Interview wird mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und sodann von Frau Walz in Schriftform gebracht und ausgewertet.

Die Teilnahme an dem Interview ist freiwillig. Sie haben zu jeder Zeit die Möglichkeit, das Interview abzubrechen, weitere Interviews abzulehnen und Ihr Einverständnis in eine Aufzeichnung oder Niederschrift des Interviews zurückzuziehen.

Hiermit stimme ich, DI Wolfgang Palme, der Aufzeichnung des Interviews und der Verwendung im Zuge der Masterarbeit von Frau Walz zu.



Unterschrift

Wien, 10.8.2020

Ort, Datum