

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I  
Professur für Pflanzenbau, Prof. Dr. Bernd Honermeier,  
und dem  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II  
Professur für Ökologischen Landbau mit dem Schwerpunkt nachhaltige  
Bodennutzung  
Prof. Dr. Andreas Gattinger  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Entwicklung und Anwendung von  
UV-basierten Methoden zur Pathogen-Kon-  
trolle im integrierten Erdbeeranbau**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) im Fachbereich  
Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von:  
**Lisa Meinhardt**  
aus Weiterstadt  
Gießen, 2022

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit hat mich in Verbindung mit der Leitung unseres Betriebes und der Rolle als Mutter meiner vier wundervollen Kinder oftmals an die Grenzen meiner Belastungsfähigkeit gebracht. Ich möchte mich bei allen Beteiligten bedanken, die zur Verwirklichung beigetragen haben.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz und Herrn Prof. Dr. Bernd Honermeier für die Annahme der Arbeit, die Betreuung während der Promotion und die vielen guten Hinweise und Ideen während der Erstellung dieser Dissertation. Ein großer Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. Andreas Gattinger für die kurzfristige Übernahme der Betreuung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Hans Störtländer vom Institut für Technik der Geisenheim University für seine Unterstützung bei den Versuchen am Institut bedanken.

Ein weiterer Dank geht an alle Mitarbeiter des Tannenhofes, die als Traktorfahrer, Zeitnehmer, Erdbeerpflücker und helfende Hände für die zahlreichen Versuche zur Verfügung gestanden haben. Auch bei nicht immer sehr angenehmen Witterungsbedingungen konnte ich mich darauf verlassen, dass jeder die ihm zugewiesene Aufgabe erledigte. Das ist nicht selbstverständlich und ich weiß es zu schätzen.

Die Durchführung dieser Arbeit wäre ohne meinen Mann Patrick Meinhardt nicht möglich gewesen. Er hat mir zuliebe auf viel verzichtet und war immer zur Stelle, um unsere Kinder zu betreuen, damit ich Zeit für diese Dissertation hatte. Er hat nach meinen Plänen und Vorstellungen die UV-C-Geräte Ceres I und II zusammengebaut und mich immer motiviert, weiterzumachen, egal wie weit und steinig der Weg auch sein mochte. Ein großer Dank gilt auch meinen Eltern, die sowohl beruflich als auch privat immer hinter mir stehen, mir mein Studium ermöglicht haben, mir viel Vertrauen und Zuspruch für meine Position in unserem Betrieb gegeben haben und zudem jederzeit und ständig zur Stelle sind, um die Kinder zu betreuen. Zum Schluss danke ich Thor, Ares, Fenja und Zelda. Ihr habt so oft auf Eure Mama verzichtet, wenn ich im Büro an dieser Arbeit gesessen oder auf dem Feld die Messwerte ermittelt und die Reihen gezählt habe. Es überwiegt aber nun die Freude, dass die Arbeit fertiggestellt ist, und es hat mir sehr viel Spaß gemacht, dieses Thema zu bearbeiten. Ich hoffe, meine Arbeit motiviert noch viele weitere Studenten und Wissenschaftler zu weiteren Forschungen in diesem Bereich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Zielstellung und Hypothesen</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Literaturteil</b> .....	<b>5</b>
2.1 Botanische Charakterisierung und Kultivierung der Erdbeere ( <i>Fragaria x ananassa</i> (Duchsne) Guedès) .....	5
2.1.1 Botanische Grundlagen .....	5
2.1.2 Herkunft der Kultursorten .....	8
2.1.3 Sortenwahl .....	9
2.1.4 Wachstumsphase und Vermehrung .....	10
2.1.5 Standortansprüche und Anbausysteme im Ertragsanbau .....	13
2.1.6 Pilzliche und tierische Schaderreger der Erdbeere .....	21
2.1.6.1 Pilzliche Krankheiten .....	22
2.1.6.2 Tierische Schaderreger .....	27
2.1.7 Ernte und Lagerung.....	27
2.1.8 Bestäubung durch Erdhummeln ( <i>Bombus terrestris</i> ) aus Zuchtbetrieben .....	31
2.2 Wirkung und technische Anwendung der UV-C-Strahlung .....	34
2.2.1 Begriffsbestimmung UV-Strahlung .....	34
2.2.2 Wirkung von UV-C-Strahlung auf Organismen.....	37
2.2.3 Technische Erzeugung von UV-C-Strahlen.....	39
2.2.4 UV-C-Geräte in der Anwendung.....	41
2.2.4.1 Industrielle Anwendungsbereiche .....	41
2.2.4.2 Weinbau .....	45
2.2.4.3 Sportrasenpflege .....	46
<b>3 Material und Methode</b> .....	<b>49</b>
3.1 Technische Mittel zur Versuchsdurchführung .....	49
3.1.1 Verwendete Zugmaschine.....	49
3.1.2 Angewandte Messtechnik .....	49
3.2 Arbeitssicherheit bei Arbeiten mit UV-C.....	50
3.3 Durchgeführte Kulturmaßnahmen.....	55
3.3.1 Substrat und KulturgefäÙe.....	55

3.3.2	Erdbeerpflanzgut .....	55
3.3.3	Bewässerung.....	56
3.3.4	Düngung.....	57
3.3.5	Pflanzenschutz .....	57
3.3.6	Bestäubung .....	58
3.4	Witterungsdaten und Klimaführung.....	58
3.5	Beschreibung der durchgeführten Versuche.....	58
3.5.1	Versuchsstandorte .....	58
3.5.2	Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I.....	61
3.5.3	Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten	64
3.5.4	Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	67
3.5.5	Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III.....	71
3.5.6	Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	76
3.6	Erfassung der Prüfmerkmale .....	84
3.6.1	Angewandte Analyseverfahren.....	84
3.6.2	Versuch 1: UV-C-Behandlung-Feldversuch I.....	85
3.6.3	Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten	85
3.6.4	Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	86
3.6.5	Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III.....	86
3.6.6	Versuch 5: Glasgewächshausfläche an dem Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery .....	86
3.7	Statistische Auswertung.....	87
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>90</b>
4.1	Ergebnis der Entwicklung eines UV-C-Gerätes für den Erdbeerertragsanbau .....	90
4.1.1	UV-C Ceres Typ 1 .....	90
4.1.2	UV-C-Gerät Ceres Typ 2 .....	93
4.1.3	UV-C-Gerät Juna.....	95
4.2	Ergebnisse der durchgeführten Versuche.....	97
4.2.1	Versuche 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I.....	97
4.2.2	Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten	98
4.2.3	Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	99
4.2.4	Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III.....	102
4.2.5	Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	105
4.3	Ergebnisse der Inhaltsstoffuntersuchung.....	109

4.4	Statistische Auswertung der Ergebnisse.....	112
<b>5</b>	<b>Wirtschaftliche Bewertung der erprobten UV-C-Technik.....</b>	<b>115</b>
5.1	Wirtschaftliche Bewertung des UV-C-Gerätes in einer Freilandanlage .....	115
5.2	Wirtschaftliche Bewertung des UV-C-Gerätes in einer Hochtunnelanlage .....	118
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>121</b>
6.1	Wirkung von UV-C-Strahlung auf die Qualität von Erdbeeren .....	121
6.2	Eignung der UV-C-Technik unter Freilandbedingungen .....	123
6.3	Eignung der UV-C-Technik im Folientunnel.....	126
6.4	Beantwortung der Thesen.....	126
	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>128</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>129</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>131</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>136</b>
	Abbildungen .....	136
	Tabellen .....	136
	<b>Erklärung gemäß der Promotionsordnung des Fachbereichs 09 vom 07. Juli 2004 § 17 (2).....</b>	<b>138</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b>	Morphologischer Aufbau der Erdbeerpflanze .....	5
<b>Abb. 2:</b>	Morphologischer Aufbau der Blüte und der Frucht der Erdbeere .....	6
<b>Abb. 3:</b>	Schema der Fruchtentwicklung in Abhängigkeit von der Stellung der Früchte am Fruchtstand und deren Einfluss auf das mittlere Fruchtgewicht im Verkauf der Ernteperiode, Mittelwerte von 42 Sorten .....	7
<b>Abb. 4:</b>	Jährlicher Wachstumszyklus von fakultativen Kurztagsorten .....	12
<b>Abb. 5:</b>	Klassischer Erdbeer-Bodenanbau in Einzelreihe auf dem Tannenhof Weiterstadt mit Stroheinlage (Foto: Lisa Meinhardt).....	14
<b>Abb. 6:</b>	Einreihig bepflanzter Damm auf dem Tannenhof Weiterstadt mit schwarzer Mulchfolie (Foto: Lisa Meinhardt) .....	15
<b>Abb. 7:</b>	Schematischer Aufbau von Erdbeerdämmen .....	16
<b>Abb. 8:</b>	Zweireihig bepflanzte Erdbeer-Substratrinne auf dem Tannenhof Weiterstadt mit Tropfschlauch (Foto: Lisa Meinhardt) .....	17
<b>Abb. 9:</b>	Hochtunnel mit fünf Stellagereihen für remontierende Erdbeeren (Foto: Lisa Meinhardt).....	18
<b>Abb. 10:</b>	Minitunnel über Erdbeerreihen mit Frostberegnung (Foto: Lisa Meinhardt) .....	19
<b>Abb. 11:</b>	Hochtunnel über Erdbeersubstratrinne (Foto: Lisa Meinhardt) .....	21
<b>Abb. 12:</b>	Violett bis rot gefärbte Blattflecken infolge eines Befalls mit Echtem Mehltau ( <i>Sphaerotheca macularis</i> ).....	23
<b>Abb. 13:</b>	Grauer Sporenbelag bei Grauschimmelfäule ( <i>Botrytis cinerea</i> ).....	25
<b>Abb. 14:</b>	Erdbeerernte mit Pflückkarren und Eimer für faule Früchte (Foto: Lisa Meinhardt) .....	28
<b>Abb. 15:</b>	Aufstellung der Paletten im Kühlhaus an einer Gitterwand .....	30
<b>Abb. 16:</b>	Hummel aus der Zucht von Katz Biotech auf einer Erdbeerblüte im Gewächshaus (Foto Lisa Meinhardt).....	32
<b>Abb. 17:</b>	Anwendungshinweise zur Aufstellung des Katz-Hummel-Kastens ..	33
<b>Abb. 18:</b>	Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung von den Radiofrequenzen bis zu den Gammastrahlen in Einheiten der Frequenz und der Wellenlänge.....	34
<b>Abb. 19:</b>	Wellenlänge der optischen Strahlung .....	35
<b>Abb. 20:</b>	Inaktivierung der DNA durch UV-C-Strahlung .....	38
<b>Abb. 21:</b>	System zur Trinkwasseraufbereitung in Manukau, Neuseeland, Wasserfluss: 50.400 m <sup>3</sup> /h, UV-Leistung: mind. ~320 kW, Anzahl UV-Strahler: ~2.500 .....	43
<b>Abb. 22:</b>	Empfindlichkeit verschiedener Mikroorganismen gegenüber UV-C- Bestrahlung .....	44

<b>Abb. 23:</b> Rasenpflege durch UV-C-TurfCare-Lichtmodule in Kombination mit Toro Greensmaster 3250.....	47
<b>Abb. 24:</b> UV-Integrator UV Disc (Foto: Lisa Meinhardt) .....	50
<b>Abb. 25:</b> Messung mit dem UV-Integrator durch Ablegen des Gerätes auf dem Erdbeerdamm vor Überfahrt mit Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt) .....	50
<b>Abb. 26:</b> Gefährdungsbeurteilung zur UV-C-Bestrahlung von Erdbeeren .....	52
<b>Abb. 27:</b> Betriebsanweisung UV-C-Bestrahlungsanlage für Erdbeeren .....	53
<b>Abb. 28:</b> Piktogramme zur Verwendung von Schutzkleidung bei der Arbeit am UV-C-Gerät JUNA .....	54
<b>Abb. 29:</b> Räumlicher Standort der Städte Weiterstadt und Geisenheim .....	59
<b>Abb. 30:</b> Räumlicher Standort der Parzellen in Weiterstadt, 1 = Hausacker, 2 = Umspannwerk, 3 = Karl B42, 5 = Ducan.....	59
<b>Abb. 31:</b> Gewächshausanlage Geisenheim, der Pfeil markiert den Gewächshausblock 12c.....	60
<b>Abb. 32:</b> Parzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa, die ausgewählten Versuchsreihen sind blau umrandet .....	63
<b>Abb. 33:</b> Parzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa. Der gelbe Pfeil markiert Variante 1, der blaue Pfeil die Variante 2 und der rote Pfeil die Variante 3 (Foto: Lisa Meinhardt) .....	63
<b>Abb. 34:</b> Versuchsfahrt am 07.06.2016 auf der Erdbeerparzelle „Hausacker“, Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I mit Ceres I (Foto: Lisa Meinhardt) .....	63
<b>Abb. 35:</b> Luftbild der Erdbeerparzelle auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery; die ausgewählten Versuchsreihen sind blau umrandet .....	66
<b>Abb. 36:</b> Erdbeerreihen der Parzelle auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery (Foto Lisa Meinhardt).....	66
<b>Abb. 37 a (links) und b (rechts):</b> Bestrahlung der Erdbeerfrüchte am 25.05.2016 (Fotos: Lisa Meinhardt).....	67
<b>Abb. 38:</b> Luftbild von den Tunneln der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano. Die Pfeile markieren die Tunnel Nr. 11, 12 und 13, in denen die Versuche durchgeführt wurden. Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II .....	68
<b>Abb. 39:</b> Ein Tunnel der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano (Foto: Lisa Meinhardt). Die Versuche wurden in den Doppelreihen durchgeführt. Die mit den blauen Pfeilen markierten Randreihen wurden nicht behandelt. Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II .....	69
<b>Abb. 40:</b> Versuchsfahrt mit Ceres II auf der Erdbeerparzelle Karl B42 , Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II (Foto: Lisa Meinhardt)	

<b>Abb. 41:</b> Luftbild der Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery Das ausgewählte Versuchsfeld ist schwarz umrandet. Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	72
<b>Abb. 42:</b> Tunnel- Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery (Foto Lisa Meinhardt), von 8 Reihen wurden 6 (3 Doppelreihen) behandelt (1. Doppelreihe mit blauem Pfeil markiert), 2 Randreihen wurden nicht behandelt (schwarzer Pfeil). Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	73
<b>Abb. 43:</b> Versuchsaufbau in den Tunneln 2, 3 und 4 auf der Tunnel-Erdbeerfläche auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery. Die drei Doppelreihen in den Tunneln sind schematisch dargestellt und mit den Varianten bezeichnet .....	74
<b>Abb. 44:</b> Tische mit Erdbeerpflanzen und Wachstumsbeleuchtung im Glasgewächshaus am Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery im Jahr 2018 (Foto: Lisa Meinhardt), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	77
<b>Abb. 45:</b> Aufbauanleitung für Erdbeerpflanzen auf Gewächshaustisch im Glasgewächshaus am Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery im Jahr 2018, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	78
<b>Abb. 46:</b> Einstellung Gerät Juna am 10.01.2018 (Foto: Lisa Meinhardt).....	79
<b>Abb. 47:</b> Holzkiste mit Erdbeerpflanze und Messgerät in der Höhe von 15 cm über dem Topfrand der Erdbeerpflanze am 10.01.2018, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	81
<b>Abb. 48:</b> Standardisiertes Fotoverfahren (links: von der Seite, rechts von oben), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus .....	83
<b>Abb. 49:</b> Stahlrahmenkonstruktion für Ceres I (Foto: Lisa Meinhardt) .....	90
<b>Abb. 50:</b> Stahlrahmenkonstruktion ohne UV-C-Gerät während der Probefahrt in der Versuchsanlage (Foto: Lisa Meinhardt) .....	91
<b>Abb. 51:</b> UV-GREEN-Module Ausführung VA 1.4301 der Firma UV-Technik-Meyer zur UV-C-Behandlung von Oberflächen (Foto: Lisa Meinhardt)	92
<b>Abb. 52:</b> Die fertige Konstruktion von Ceres I mit auf dem Stahlrahmen verbautem Stromgenerator und den UV-C-Modulen (Foto: Lisa Meinhardt) .....	93
<b>Abb. 53:</b> Umbau des Stahlrahmens von Ceres I für Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt) .....	93
<b>Abb. 54:</b> Der erste Protoyp des Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt), Schaltschränke, Gehäuse und Lüfter sind auf den verstärkten Stahlrahmen gesetzt.....	94
<b>Abb. 55:</b> Seitenansicht des vor dem Traktor montierten Ceres II mit an der Ackerschiene befestigtem Stromgenerator SDMO Phenix 7300 T (Foto: Lisa Meinhardt).....	95

<b>Abb. 56:</b> Die fertige Konstruktion des Ceres II mit links und rechts an der Motorhaube befestigten Schaltschränken (Foto: Lisa Meinhardt)....	95
<b>Abb. 57:</b> Das UV-C-Modul von UV-C-Technik Meyer, ursprünglich für die Sportrasenpflege vorgesehen (Foto: Lisa Meinhardt).....	95
<b>Abb. 58:</b> Holzkasten mit Rollenband (Foto: Lisa Meinhardt) .....	95
<b>Abb. 59:</b> Erster Testlauf des Gerätes Juna durch Hans Störtländer und Patrick Meinhardt (Foto: Lisa Meinhardt).....	96
<b>Abb. 60:</b> Kalibrierung des Gerätes im Gewächshaus Geisenheim durch Hans Störtländer (Foto: Lisa Meinhardt) .....	96
<b>Abb. 61:</b> Erdbeerfrüchte bei der Bonitur am 25.5.2016, Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten (Foto: Lisa Meinhardt) .....	99
<b>Abb. 62:</b> Durchschnittsgewicht der geerntete Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, die senkrechten Striche bilden die Varianz ab, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	107
<b>Abb. 63:</b> Gesamtanzahl der Erdbeer-Ausläufer, Anzahl der Ausläufer an 34 Pflanzen pro Variante (102 Pflanzen bei 3 Varianten) der Sorte Clery, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	109
<b>Abb. 64:</b> Einfluss der UV-C-Behandlung auf die Anthocyan-Gehalte (in mg/kg TM) in Erdbeerfrüchten der Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	111

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b>	Beispiele künstlicher UV-Strahlenquellen nach Art der Strahlungserzeugung.....	39
<b>Tab. 2:</b>	Übersicht über UV-C-Strahler-Arten .....	40
<b>Tab. 3:</b>	Verschiedene Anwendungsbereiche der UV-C-Strahlung .....	41
<b>Tab. 4:</b>	Übersicht über die durchgeführten Versuche zur UV-C-Behandlung von Erdbeeren in den Jahren 2016 bis 2018 .....	61
<b>Tab. 5:</b>	Charakterisierung der Erdbeerparzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa, Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I .....	62
<b>Tab. 6:</b>	Charakterisierung der Erdbeerversuchsfläche auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery, Versuch 2: Nachernte UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten .....	65
<b>Tab. 7:</b>	Charakterisierung der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II .....	68
<b>Tab. 8:</b>	Tatsächliche Dosierung der UV-C-Strahlung mit Ceres II im Tunnel 12, Fahrgeschwindigkeit A2 = 1,63 km/h, und im Tunnel 13, Fahrgeschwindigkeit A1 = 1,21 km/h, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II .....	71
<b>Tab. 9:</b>	Charakterisierung der Tunnel-Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	73
<b>Tab. 10:</b>	Messungen der Dosierung der UV-C-Strahlung mit Ceres II in den Varianten 2 und 3, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	75
<b>Tab. 11:</b>	Mittelwerte der Messungen von UV-C-Strahlung mit Ceres II über alle Behandlungen auf dem Standort Ducan, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	76
<b>Tab. 12:</b>	Flächenerfassung Gewächshäuser Obstbau, Haus 12c, Quelle: Störtländer, 2017, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	77
<b>Tab. 13:</b>	Teilrandomisierter Blockaufbau mit 17 Wiederholungen pro Variante pro Tisch (2 = 90 mJ/cm <sup>2</sup> , 3 = 150 mJ/cm <sup>2</sup> , 1 = unbehandelte Kontrolle, X = Pflanze wurde nicht ausgewertet), jede Tabelle steht für einen Tisch, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	78
<b>Tab. 14:</b>	Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in Bestrahlungshöhe des Pflanztopfes in Variante 2, Test A, Bestrahlungszeit 20 sec, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	80
<b>Tab. 15:</b>	Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 2, Test B, Bestrahlungszeit 15 sec, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	81

<b>Tab. 16:</b>	Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in der Bestrahlungshöhe des Pflanztopfes in der Variante 3, Test C, Bestrahlungszeit 20 sec., Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	82
<b>Tab. 17:</b>	Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in der Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 3, Test D, Bestrahlungszeit 20 sec., Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	82
<b>Tab. 18:</b>	Mittelwerte des Bestrahlungsversuchs mit dem Gerät Juna in einer Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 2 (Zielgröße 130 mJ/cm <sup>2</sup> ) und Variante 3 (Zielgröße 170 mJ/cm <sup>2</sup> ), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	83
<b>Tab. 19:</b>	Einfluss der UV-C-Behandlung von Erdbeeren auf die Erntemenge und Menge des Ausschusses, Versuch 1, UV-C-Behandlungs-Feldversuch I.....	97
<b>Tab. 20:</b>	Einfluss der UV-C-Behandlungsdauer (einfache versus doppelte Überfahrt) auf den Kraftstoffverbrauch (die Minuten wurden in Dezimalzahlen angegeben), Versuch 1, UV-C-Behandlungs-Feldversuch I.....	98
<b>Tab. 21:</b>	Bestrahlungsdauer und Boniturergebnis, Bestrahlungsdatum 15.5.2016, Bonitierungsdatum 25.05.2016, Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten.....	98
<b>Tab. 22:</b>	Gesamterntemenge (in kg) der vermarktungsfähigen Erdbeerfrüchte der Sorte Murano, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II	100
<b>Tab. 23:</b>	Ergebnis der Blütenauszählung (Blüten mit weißen Kronblättern) am 23.8.2017, Erdbeersorte Murano, 4 Zählungen in 1 Reihe im Abstand von 5 Metern, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	101
<b>Tab. 24:</b>	Mittelwerte der Behandlungsdauer und des Energieverbrauches (Mittelwerte aus 5 Behandlungen), die Minuten sind in Dezimalzahlen umgerechnet, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	102
<b>Tab. 25:</b>	Einfluss der UV-C-Strahlung auf die Erntemenge an verkaufsfähiger Ware an Erdbeerfrüchten (in kg), Sorte Clery im Jahr 2018, Gesamterntemenge der einzelnen Versuchstunnel in kg (Pflanzen pro Tunnel: 3.312 Stück), Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III.....	102
<b>Tab. 26:</b>	Einfluss der UV-C-Strahlung auf die Erntemenge an nicht-verkaufsfähiger Ware an Erdbeerfrüchten (Ausschuss, in kg) der Sorte Clery im Jahr 2018, Gesamtausschuss der einzelnen Versuchstunnel in kg (Pflanzen pro Tunnel: 3.312 Stück), Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III.....	103
<b>Tab. 27:</b>	Einfluss unterschiedlicher UV-C-Bestrahlung auf die Behandlungsdauer und den Kraftstoff-Verbrauch auf dem Versuchsfeld im Jahr 2018 (die Behandlungsdauer ist in Dezimalminuten dargestellt), Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II.....	105

<b>Tab. 28:</b>	Einfluss der UV-C-Strahlungs-Dosis auf den Erdbeer-Ertrag und den vermarktungsfähigen Anteil der Früchte der Erdbeersorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Versuch 5: Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	105
<b>Tab. 29:</b>	Anzahl der geerntete Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	106
<b>Tab. 30:</b>	Durchschnittsgewicht der geernteten Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Angaben in g je Frucht, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	107
<b>Tab. 31:</b>	Einfluss der UV-C-Dosierung auf die Anzahl an nicht vermarktungsfähigen Früchten und den Botrytis-Befall bei Erdbeeren der Sorte Clery, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	108
<b>Tab. 32:</b>	Einfluss der UV-C-Behandlung auf die Länge der Erdbeerausläufer der Sorte Clery (Mittelwert der Länge pro Ausläufer), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus.....	108
<b>Tab. 33:</b>	Inhaltsstoffuntersuchung auf Brix, Gesamtsäure, Gesamtphenole und TEAC der Erdbeeren Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	110
<b>Tab. 34:</b>	Einfluss der UV-C-Strahlendosis auf die Gehalte an Anthocyanen in Erdbeeren, Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III .....	111
<b>Tab. 35:</b>	Ergebnisse der statistischen Auswertung zum Einfluss der UV-C-Strahlung auf den Erdbeer-Ertrag und den Ausschuss an Früchten auf der Basis der drei Versuche (Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III) .....	112
<b>Tab. 36:</b>	Ergebnisse der Varianzanalyse zu Versuch 4 (UV-C-Behandlungs-Feldversuch III) .....	113
<b>Tab. 37:</b>	Ergebnisse der statistischen Auswertung in Bezug auf die Gesamtzahl an Ausläufern im Versuch 5, UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus (n = 34), Anzahl der Ausläufer an 34 Pflanzen pro Variante (102 Pflanzen bei 3 Varianten) .....	114
<b>Tab. 38:</b>	Daten einer fiktiven Beispiel-Erdbeerenanlage im Freiland mit der Sorte Salsa .....	115
<b>Tab. 39:</b>	Berechnung der Kosten für Traktor und Fahrer bei der UV-C-Behandlung Freiland Salsa, Behandlung mit Ceres II, Feldgröße: 1ha (Darstellung der Stunden im Dezimalsystem), fiktive Beispiel-Erdbeerenanlage .....	116
<b>Tab. 40:</b>	Berechnung des Mehrertrags durch UV-C-Behandlung, fiktive Beispielanlage Freiland .....	116
<b>Tab. 41:</b>	Mehrerlös durch UV-C-Behandlung Beispielanlage Freiland.....	117

<b>Tab. 42:</b>	Möglicher Anschaffungswert UV-C-Gerät Freiland.....	117
<b>Tab. 43:</b>	Daten einer fiktiven Beispiel-Erdbeer-Anlage im Hochtunnel mit der Sorte Clery.....	118
<b>Tab. 44:</b>	Berechnung des Mehrertrags durch UV-C-Behandlung, fiktive Beispielanlage Hochtunnel, Sorte Clery .....	119
<b>Tab. 45:</b>	Mehrerlös durch UV-C-Behandlung, Beispielanlage Hochtunnel, Sorte Clery.....	119
<b>Tab. 46:</b>	Möglicher Anschaffungswert UV-C-Gerät Hochtunnel.....	120

## 1 Zielstellung und Hypothesen

Der Erdbeeranbau in Deutschland ist gegenwärtig durch eine deutliche Überproduktion sowie durch einen Mangel an Arbeitskräften (Erntehelfern) und eine abnehmende Verfügbarkeit von wirksamen Pflanzenschutzmitteln gekennzeichnet. Die schwierige Situation in der Produktion von Erdbeeren wird auch durch die Kommentare und Preisberichte der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle für Obst und Gemüse (AMI) unterstrichen, die in den Jahren 2017 bis 2019 auf deutliche Probleme der Erdbeerproduzenten mit unstabiler Ware verweisen, die häufig von pilzlichen Erregern befallen ist (AMI 2016). Unstabile Waren bei Erdbeeren sind auf dem Großmarkt unverkäuflich oder nur mit deutlichen Preiszugeständnissen abzusetzen. Darüber hinaus ist eine Zunahme der Arbeits- bzw. Lohnkosten zu verzeichnen. So hat der im Jahr 2019 gültige Mindestlohn in Deutschland von 9,20 € die Produktions- und Erntekosten im Vergleich zu den vergangenen Jahren deutlich ansteigen lassen. Es wird erwartet, dass sich diese Entwicklung auch in den kommenden Jahren fortsetzt.

Die Grundlage für einen wirtschaftlichen Anbau von Erdbeerkulturen ist daher ein gesunder und ertragsreicher Pflanzenbestand, der in guter Qualität geerntet werden kann. Dabei sollte der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln möglichst sparsam erfolgen bzw. eingeschränkt werden. Die Gründe dafür sind nicht nur in der Wirtschaftlichkeit der Erdbeerproduktion, sondern auch in der Nachhaltigkeit und im Ressourcenschutz zu sehen. Der Erdbeerproduzent benötigt aus den vorgenannten Gründen neue praktikable Methoden zur Abwehr und Bekämpfung von Schadorganismen (vor allem von Pilz-Pathogenen wie *Botrytis*), die zu Qualitätsverlusten und Ernteeinbußen führen könnten.

Das Ziel des Dissertationsvorhabens bestand deshalb darin, eine UV-C-Technik zu entwickeln, die unter Feldbedingungen im Erdbeer-Ertragsanbau einsetzbar ist. Der Ertrag und die Qualität der Erdbeeren sollten mit dieser Technik gesichert bzw. verbessert werden können. UV-C-Strahlung wird bereits in einigen Bereichen der Industrie zur Abtötung von Mikroorganismen eingesetzt (LUNG 2018). Auch in den Bereichen Weinbau und Sportrasenpflege wird aktuell an einem Einsatz von UV-C-Strahlung geforscht (BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER 2013). Aufgrund der spezifischen Anforderungen der Erdbeerpflanze (Pflanzenarchitektur, Empfindlichkeit der Früchte, Reihenkultur), können diese Techniken jedoch nicht übernommen und auf Erdbeeren übertragen werden. Aus diesen Gründen bestand die *Hauptzielstellung* der

Dissertation darin, eine UV-C-Technik für den Erdbeeranbau zu entwickeln und anzupassen, die unter Praxisbedingungen eingesetzt werden kann.

Darüber hinaus sollten mit einer selbstentwickelten UV-C-Technik für den Einsatz im großflächigen Erdbeerertragsanbau weitere Fragestellungen untersucht werden, die für den Erdbeeranbau relevant sind. Es konnten insgesamt fünf Probleme identifiziert werden, aus denen entsprechende Zielstellungen und Arbeitshypothesen abgeleitet wurden:

1. Der Befall von Erdbeerfrüchten mit Grauschimmel (*Botrytis cinerea*), ein saprophytisch lebender und weit verbreiteter Pilz, der neben Erdbeeren auch viele andere Pflanzenarten befallen kann (WILLIAMSON et al. 2007), sorgt für massive Ertragseinbußen im Erdbeeranbau. Eine Grauschimmelinfektion führt bei Erdbeeren zu hohen Verlusten an vermarktungsfähiger Ware. Das Fruchtgewebe der Erdbeeren zerfällt (Fäulnis) nach der Infektion durch den Pilz (NAUMANN und SEIPP 1989: 179). Die Ursache dieser Infektion können Konidien sein, die über Wind verbreitet werden, oder das Myzel des Pilzes, das im Boden oder in Pflanzenresten vorhanden ist und dort überdauert. Eine Infektion mit *Botrytis cinerea* findet vorzugsweise gegen Ende der Blüte statt. Aus diesem Grund sind die Wachstumsbedingungen zu diesem Zeitpunkt und danach von entscheidender Bedeutung für die Verbreitung des Pilzes und für das Ausmaß der Schädigung (JUNG 2012: 151).

UV-C-Strahlen wirken keimabtötend (antibakteriell, antiviral, fungizid) und können auch die Sporen bzw. das Myzel des Grauschimmel-Pilzes schädigen (NIGRO et al. 2000; SINGH et al. 2021). Neben Grauschimmel können auch andere Pathogene, z. B. *Sclerotinia minor* in Blattsalat (OUHIBI et al. 2014), durch UV-C bekämpft werden. Die vorliegenden Befunde zur UV-C-Wirkung bei anderen Pflanzen bieten einen Anlass und Ausgangspunkt, die UV-C-Technik auch bei Erdbeeren auszuprobieren. Es wird vermutet, dass eine UV-C-Behandlung bei Erdbeeren zum Zeitpunkt der Infektion (oder unmittelbar danach) eine Verminderung des Befalls mit Grauschimmel bewirken kann.

2. Durch UV-C-Strahlung kann der Pathogen-Befall der Pflanzen vermindert werden. Einige Studien haben gezeigt, dass dies auch zu einer Veränderung der Inhaltsstoffe führen kann. So wurde bei der UV-C-Behandlung der Samen von Mungbohnen und Erdnuss eine Erhöhung des Gehaltes an Kohlenhydraten im Erntegut beobachtet (SIDDIQUI et al. 2011). Ebenso haben vorliegende Studien zu Blattsalat (Romana-Salat)

eine Veränderung der Inhaltsstoffe nach UV-C-Behandlung beobachtet. In diesem Fall wurde eine Erhöhung des Chlorophyll- und des Karotinoid-Gehaltes der Blätter nachgewiesen (OUHIBI et al. 2014). Es kann vermutet werden, dass das Ausschalten der Pflanzenkeime durch UV-C-Strahlung dazu führt, dass diese keinen Einfluss auf den Inhaltsstoffabbau in der Pflanze mehr haben. Daraus wird gefolgert, dass die UV-C-Behandlung auch bei Erdbeeren zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe führen könnte.

3. In Versuchen mit Gemüsepaprika konnte beobachtet werden, dass die UV-C-Behandlung der Früchte zu einer Verminderung der Keimzahlen von *Escherichia coli* und *Salmonella typhimurium* führt (CHEON et al. 2015). Dieser für den Ertragsanbau positive Effekt wurde in Kombination mit moderater Hitzebehandlung noch verstärkt. Versuche mit Körnerleguminosen (Mungbohne, Erdnuss) haben gezeigt, dass auch die Samenbehandlung zu einer Verminderung des Befalls mit Schadpilzen (*Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium sp.*) führen kann. Diese führt in Bezug auf Wurzellänge, Blattflächen und Hülsenmasse auch zu einer Verbesserung des Wachstums der Pflanzen (SIDDIQUI et al. 2011). In anderen Studien konnte auch bei weiteren Gemüsepflanzen, z. B. bei der Nacherntebehandlung von Papaya-Früchten (CIA et al. 2007), eine Verringerung der Pilzinfektion nach UV-C-Behandlung festgestellt werden. Ein geringerer Pilzinfektionsdruck ermöglicht die Einsparung von Fungiziden. Wenn die UV-C-Behandlung die Infektion der Erdbeerpflanzen mit Bakterien, Pilzen oder Viren vermindert, könnte sich auch der Anteil an vermarktungsfähiger Ware erhöhen und der Anteil an Ausschuss vermindern. Daraus folgt die Annahme, dass mit der UV-C-Behandlung eine Erhöhung vermarktungsfähiger Erträge möglich ist.

4. Erdbeerpflanzen vermehren sich sowohl generativ als auch vegetativ. Die vegetative Vermehrung der Erdbeerpflanze erfolgt über Rankenbildung, die sogenannten Ausläufer. Die verstärkte Bildung von Ausläufern im Herbst steht in direkter Konkurrenz zur Blütenknospenbildung im Folgejahr. Die Mutterpflanze wird durch die Ausläuferbildung stark geschwächt. Im Ertragsanbau werden daher die Ausläufer mechanisch oder von Hand entfernt, um den Fruchtertrag zu erhöhen (NAUMANN und SEIPP 1989: 57). Es kann angenommen werden, dass die UV-C-Behandlung möglicherweise einen Einfluss auf die Ausläuferbildung von Erdbeeren hat. Ein reduziertes Ausläuferwachstum würde zu einer erheblichen Kostenersparnis im Erdbeerertragsanbau führen.

5. Die Erdbeerernte wird im Freiland und in Folientunneln überwiegend per Hand durch Erntehelfer ausgeführt. In der Literatur wird der Fruchtertrag eines Erdbeerbefeldes mit 15 t/ha und einem Zeitbedarf von 1.000 Akh/ha für die Ernte angegeben. Die Pflückleistung ist dabei von vielen Faktoren abhängig, unter anderem von der Qualität der Früchte (KELLER 2012a: 93). Nicht vermarktungsfähige Früchte, der sogenannte Ausschuss, müssen in ein separates Gefäß gepflückt und entsorgt werden. Wenn sich durch die UV-C-Behandlung die Fruchtqualität verbessern und der Ausschuss verringern lässt, werden Pflückkosten im Vergleich zum erhöhten Ertrag verringert. Dadurch wäre ein höherer Erlös für den Erdbeeranbauer zu erwarten.

In den vorangegangenen Erläuterungen wurden insgesamt fünf Problemfelder des Erdbeeranbaus identifiziert, die im Rahmen der Studie zur Eignung der UV-C-Behandlung näher untersucht werden sollten. Daraus leiten sich folgende Arbeitshypothesen ab:

*Hypothese 1:* Durch UV-C-Behandlung wird auch bei Erdbeeren der Befall durch Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*) reduziert.

*Hypothese 2:* Die UV-C-Behandlung führt zu Veränderungen der Inhaltsstoffe der Erdbeerfrüchte.

*Hypothese 3:* Durch UV-C-Behandlung wird der vermarktungsfähige Ertrag der Erdbeeren infolge einer Verminderung von Verlusten erhöht.

*Hypothese 4:* Durch UV-C-Strahlen reduziert sich die Zahl der Ausläufer der Pflanzen.

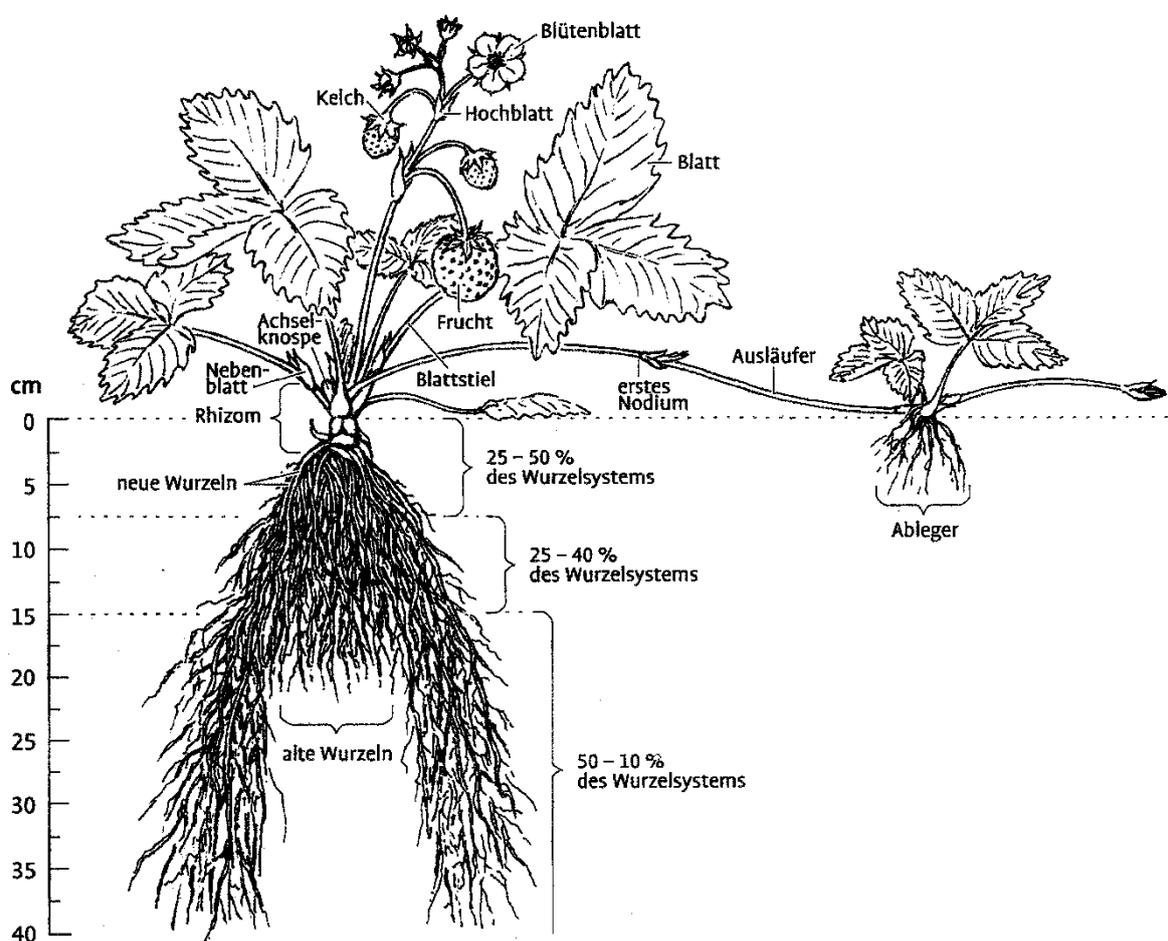
*Hypothese 5:* Durch UV-C-Behandlung ist ein höherer Erlös bei Erdbeeren zu erwarten.

## 2 Literaturteil

### 2.1 Botanische Charakterisierung und Kultivierung der Erdbeere (*Fragaria x ananassa* (Duchesne) Guedès)

#### 2.1.1 Botanische Grundlagen

Die Erdbeere (*Fragaria x ananassa* (Duchesne) Guedès) gehört zur Familie der *Rosaceae* und zur Gattung *Fragaria* (KRÜGER 2012a: 17). Erdbeeren sind ausdauernde, krautartige Rosettenpflanzen mit behaarten Blattstielen (NAUMANN und SEIPP 1989: 49).



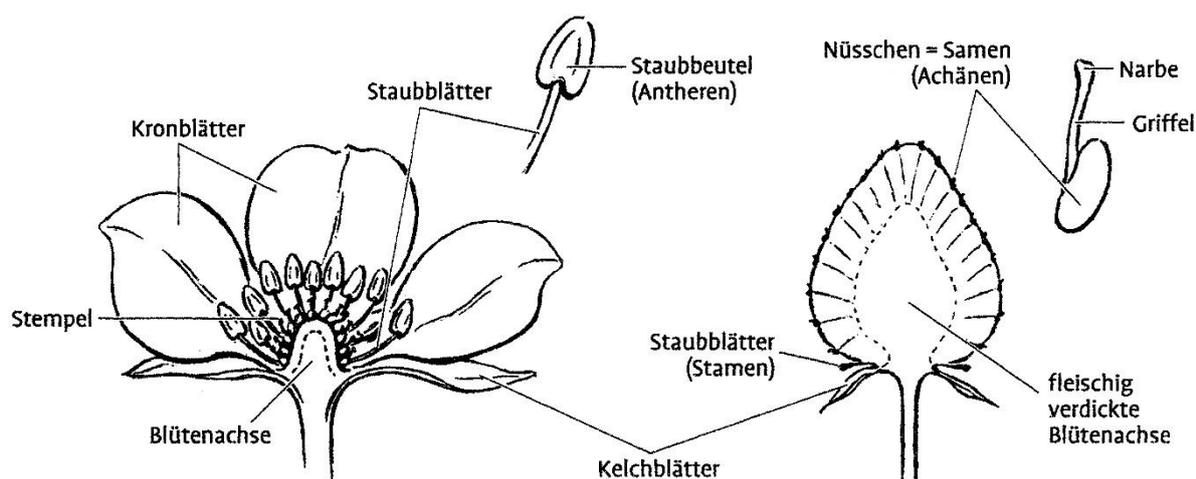
**Abb. 1:** Morphologischer Aufbau der Erdbeerpflanze

Quelle: Nach HANCOCK und HANCOCK 1999, verändert von KRÜGER 2012

In Abbildung 1 ist dargestellt, dass die Erdbeerpflanze aus einem zentralen, stark gestauchten Spross besteht, der aus dem Rhizom herauswächst (KRÜGER 2012a: 20). Dieser gestauchte Spross wird auch „Herz“ oder „Krone“ genannt (NAUMANN und SEIPP 1989: 49). Aus den Achselknospen der Pflanze entstammen Haupt- und Nebenblätter.

Die Blätter sind langstielig und dreiteilig, in einigen seltenen Fällen auch fünfteilig gefiedert und ordnen sich spiralförmig um den Spross an. Die Pflanze verholzt in Spross und Wurzel und kann so mehrere Jahre überdauern (KRÜGER 2012a: 20).

Nach NAUMANN und SEIPP (1989: 56) können sich aus jedem Spross, der Kontakt zum Boden hat, neue Wurzeln entwickeln, sogenannte Primärwurzeln. Voraussetzung dafür ist der Kontakt zu feuchtem Boden oder eine hohe Luftfeuchtigkeit. Diese Primärwurzel wächst zunächst bis zu einer Länge von 7 oder 8 cm, bis sie feine laterale Wurzeln ausbildet. Diese feinen, sehr empfindlichen Wurzeln sind unerlässlich für die schnelle Wasser- und Nährstoffaufnahme. Erdbeerwurzeln leben in Symbiose mit einer Mykorrhiza (NAUMANN und SEIPP 1989: 56). Dieser Pilz dringt in ihre Wurzelzellen ein und zehrt bei seiner Entwicklung zunächst von der Pflanze. Gegen Ende seines Lebenszyklus wird er von der Wirtszelle verdaut und aufgenommen, die Mineralstoffe des Pilzes kommen der Zelle zugute. Erdbeerpflanzen gedeihen besonders gut auf leicht durchwurzelbaren Böden, die Wurzeln dringen hierbei bis zu einem Meter tief senkrecht in die Erde ein. Der überwiegende Teil der Wurzeln liegt dabei in 15 bis 20 cm Tiefe. Die Pflanze bildet von März bis September ständig neue Wurzeln, deren Bildung nur in der Zeit der Fruchtentwicklung eingeschränkt ist. Reservestoffe werden von der Pflanze überwiegend im Rhizom und zum Teil auch in den Wurzeln eingelagert.

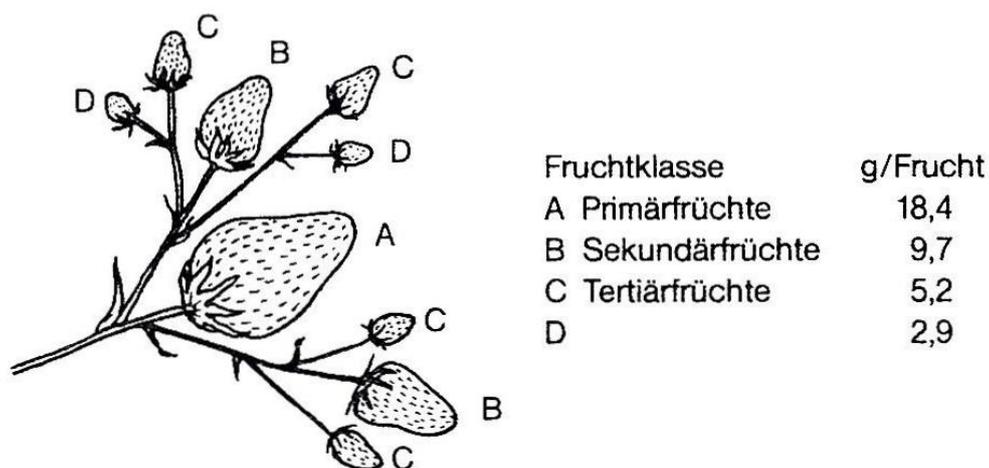


**Abb. 2:** Morphologischer Aufbau der Blüte und der Frucht der Erdbeere

Quelle: Nach NAUMANN und SEIPP 1989

An der Spitze des Hauptsprosses und der Seitenkrone wird in der generativen Phase der Blütenstand gebildet. Die Erdbeere trägt ihre Früchte in der Nähe des Bodens. Wie in Abbildung 2 dargestellt, ist die Erdbeerfrucht eine Scheinfrucht, die sich aus der

fleischig verdickten Blütenachse entwickelt. Die kleinen Nüsschen auf der Fruchthaut, die auch als Achänen bezeichnet werden, sind die eigentlichen Früchte. Der Blütenstand, die sogenannte Infloreszenz, der Erdbeere ist eine Trugdolde. Der Blütenboden ist von zehn Kelch- und fünf Blütenblättern umgeben. Die Kelchblätter und die Blütenblätter umschließen mit den Staubblättern die Blütenachse. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass die Stempel mit den Samenanlagen auf der Blütenachse liegen. Die Primärblüten oder „Königsblüten“ weisen eine höhere Anzahl an Samenanlagen auf als die nachfolgenden Blüten. Aus diesem Grund entstehen aus den Königsblüten die größten und aus den nachfolgenden Blüten immer kleinere Früchte. Zwischen Samenanzahl und Fruchtgröße besteht eine enge Korrelation. Die Befruchtung der weiblichen Blütenorgane ist entscheidend für die Entwicklung der Erdbeer-Scheinfrucht. Bei einer Schädigung der Blüten durch Frost, mangelnde Befruchtung durch fehlende Insekten oder andere Faktoren sterben die Samenanlagen ab. Die Samen produzieren das Phytohormon Auxin, das für das Wachstum der Blütenachse verantwortlich ist. Fehlender Samen bedeutet keine Wuchsanregung und die Früchte entwickeln sich deformiert. Eine optimal entwickelte Frucht zeichnet sich durch viele und gleichmäßig über die Fruchtoberfläche verteilte Samen aus (KRÜGER 2012a: 22–25).



**Abb. 3:** Schema der Fruchtentwicklung in Abhängigkeit von der Stellung der Früchte am Fruchtstand und deren Einfluss auf das mittlere Fruchtgewicht im Verkauf der Ernteperiode, Mittelwerte von 42 Sorten, Quelle: Nach NAUMANN et al. 1972

Nach der Phase der Blüteninduktion, die bei den meisten Sorten aufgrund der Licht- und Temperaturbedingungen Mitte September erfolgt, bilden sich zunächst die Anlagen für die Primärblüten heraus. Die Anlagen der Sekundär- und Tertiärfrüchte sind ab Oktober mit einem Mikroskop zu erkennen. Wenn die Pflanzen durch kalte Temperaturen in Winterruhe versetzt werden, wird der Prozess der Blüteninduktion temporär unterbrochen. Im Ertragsanbau werden nicht zu viele Fruchtanlagen neben den Primär- und Sekundärblüten gewünscht. Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, nimmt das Fruchtgewicht bei den Fruchtklassen von der Primärf Frucht zur Sekundärf Frucht ab. Primärf Früchte weisen im mittleren Fruchtgewicht bis zu doppelt so schwere Früchte auf. Sekundärf Früchte sind im Vergleich zu den Tertiärf Früchten nicht ganz doppelt so schwer. Eine hohe Anzahl kleiner Früchte bedeutet einen höheren Ernteaufwand; zudem werden kleine Früchte auf dem Markt als von minderer Qualität eingestuft (NAUMANN und SEIPP 1989: 58).

### 2.1.2 Herkunft der Kultursorten

Die Kulturerdbeere entstammt aus Kreuzungen der amerikanischen Chile-Erdbeere (*Fragaria chiloensis* (L.) Mill.) und der Virginischen Erdbeere (*Fragaria virginiana* Mill.). Diese Kreuzungen sind wie die Elternarten oktaploid ( $2n = 56$ ). In Deutschland und im mitteleuropäischen Raum ist die diploide ( $2n = 14$ ) Walderdbeere (*Fragaria vesca* L. var. *vesca*) heimisch. Neben verschiedenen tetra- und hexaploiden Wildarten ist die dekaploide *Fragaria x vescana* aus Kreuzungen der Wildform und der Gartenerdbeere entstanden (BUNDESSORTENAMT 2015: 8).

Die Walderdbeere (*Fragaria vesca* L. var. *vesca*) ist in Wäldern und Gärten mit Ausnahme des nördlichen Skandinaviens sowie Portugals fast über den gesamten europäischen Kontinent verbreitet. Weiterhin kommt die Walderdbeere in Eurasien, China, Japan, Nord- und Mittelamerika sowie im westlichen Südamerika vor. In Europa gibt es des Weiteren an Wildarten noch die diploide Knack-Erdbeere (*F. viridis* L.) und die hexaploide ( $2n = 6x = 42$ ) Muskateller-, Zimt- oder Muschis-Erdbeere (*F. moschata* L.) (KRÜGER 2012a: 17).

Bereits in der Antike nutzten die Menschen die Pflanzenteile und Früchte der Walderdbeere (*F. vesca* L. var. *vesca*) zu medizinischen Zwecken (BUNDESSORTENAMT 2015: 8). In der Literatur wird ab dem 14. Jahrhundert der planmäßige Anbau von Erdbeeren erwähnt (KRÜGER 2012a: 17). Nach der Entdeckung Nordamerikas im Jahr 1492 durch Christoph Kolumbus wurde über die dortigen Erdbeerarten mit größeren

Früchten, als bisher in Mitteleuropa bekannt waren, berichtet. Mit Beginn des 17. Jahrhunderts kam die Virginische Erdbeere (*F. virginiana* Mill.) nach Mitteleuropa und wurde hier kultiviert. Die Erdbeere, die zum heutigen Zeitpunkt im Ertragsanbau kultiviert wird, ist die Hybride *Fragaria x ananassa* (Duchsne). Sie entstand im 18. Jahrhundert aus einer spontanen Kreuzung der zwei oktoploiden Arten *Fragaria chiloensis* (L) Mill. und *F. virginiana* Mill. In England begann zu Beginn des 19. Jahrhunderts die erste systematische Züchtung von Erdbeeren. In Deutschland wird seit Mitte des 19. Jahrhunderts die Erdbeere im Ertragsanbau kultiviert (BUNDESSORTENAMT 2015: 8).

### 2.1.3 Sortenwahl

Im Erdbeeranbau in Deutschland richtet sich die Wahl der Erdbeersorte für den Ertragsanbau nach den Umweltbedingungen im Anbaugebiet sowie nach dem Vermarktungsweg des Betriebes. Der mögliche Erntezeitraum der Erdbeerfrüchte in Deutschland erstreckt sich im geschützten Anbau (Hochtunnel) ohne Heizung von Anfang April bis Anfang November. Im Freiland mit oder ohne Vlies bzw. Folien und Minitunneln muss der Erntezeitraum frostfrei sein. Erdbeerblüten erfrieren bei Temperaturen unter 1 °C; mit Frostschutzberegnung sowie den erwähnten Schutzmaßnahmen können Fröste während der Ernte- und Blütezeit abgemildert werden. Außerhalb dieses Zeitraums ist ohne Wachstumsbeleuchtung und Heizung im Normalfall keine Ernte möglich, da die Sonnenscheindauer zu gering ist (NAUMANN und SEIPP 1989: 60–65).

In Mitteleuropa werden ca. 20 Sorten im Erwerbsanbau angebaut. Es wird zwischen einmaltragenden, immertragenden und tagneutralen Sorten unterschieden. Die Sorten, die nur einmal Früchte tragen, werden als Kurztagessorten bezeichnet. Sie benötigen hohe Temperaturen und Langtagbedingungen und setzen nur unter Kurztagbedingungen im Herbst Blüten an. Kurztagessorten sind im Frühjahr des darauffolgenden Jahres erntebereit. In Deutschland blühen diese Pflanzen ohne künstliche Beleuchtung unter Schutzabdeckung von Anfang März bis Mitte Juni und fruchten dann bis in den Juli hinein. Immertragende Sorten, sogenannte „remontierende Sorten“, sind tagneutral, das bedeutet, sie bilden Ausläufer und Blüte gleichzeitig und blühen von Sommer bis Herbst (BUNDESSORTENAMT 2015: 9–11).

Wenn ein Betrieb vorrangig für den Lebensmitteleinzelhandel (LEH) produziert, sind Großfrüchtigkeit, eine gute Fruchtfestigkeit und gutes Nachernteverhalten die wichtigsten Auswahlkriterien. Für die Rentabilität einer Erdbeerkultur gilt: Je größer die Früchte sind, desto geringer sind die Erntekosten. Fruchtfestigkeit und lange Haltbarkeit

erleichtern die Distribution und erlauben auch längere Transportwege und eine längere Lagerung. Ein direktvermarktender Betrieb ist außer auf die aufgeführten Eigenschaften zudem auf einen guten Geschmack angewiesen. Weitere Vermarktungsformen wie „Erdbeerselbstpflücke“ und die Produktion für die verarbeitende Industrie sind im Ertragsanbau im Jahr 2019 kein wirtschaftlicher Betriebszweig mehr.

Die Frühzeitigkeit der Erdbeerkulturen ist in Deutschland für den zu erzielenden Preis entscheidend. Im sogenannten Süd-Nord-Gefälle setzt der Erntebeginn ab Anfang bis Mitte April im Hochtunnel ein. Im geschützten Anbau reifen Früchte grundsätzlich weicher heran als im Freiland. Aus diesem Grund muss im Tunnel auf eine Sorte mit hoher Fruchtfestigkeit geachtet werden (KRÜGER 2012b: 40).

Die wichtigsten Erdbeersorten mit ihren Eigenschaften zeigt Tabelle A1 im Anhang. Bei der Wahl einer Sorte ist für einen Erwerbsanbauer zunächst der geplante Vermarktungszeitraum ausschlaggebend. Die Sorte „Clery“ wird im Blühbeginn und im Beginn der Fruchtreife mit „früh“ bewertet. Die Sorte „Salsa“ zeichnet sich im Gegensatz dazu durch einen späten Blühbeginn und eine entsprechend späte Fruchtreife aus. Fruchtgröße und Festigkeit sind für den Vermarktungsweg ein wichtiges Entscheidungskriterium und damit bedeutende Faktoren. Erdbeeren, die für den Einzelhandel und nicht für die Direktvermarktung produziert werden, müssen die Handelsnormen erfüllen und sollten möglichst nicht zu schnell weich werden. Das Bewertungskriterium Geschmack sollte der Anbauer bei seiner Sortenwahl dahingehend beachten, dass er bei gleicher Eignung die Sorte mit dem besseren Geschmack wählt. Auch die Anfälligkeit für Wurzelkrankheiten, Mehltau und Botrytis ist ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Standortwahl und die Anbaumethode. Aus der Gesamtheit der Bewertungskriterien kann für den individuellen Standort, Vermarktungsweg und Vermarktungszeitraum die für den Betrieb passende Erdbeersorte bestimmt werden.

#### **2.1.4 Wachstumsphase und Vermehrung**

Die Vermehrung der Erdbeerpflanze ist sowohl generativ als auch vegetativ möglich. Die vegetative Vermehrung erfolgt durch die Ranken oder Stolonen genannten Ausläufer der Erdbeerpflanze. Die Entwicklung der Ausläufer wird durch ein Zusammenspiel zwischen Temperatursteigerung und Langtagbedingungen ausgelöst. Die Ausläufer bilden im gleichen Jahr sowohl Wurzeln als auch weitere Stolonen.

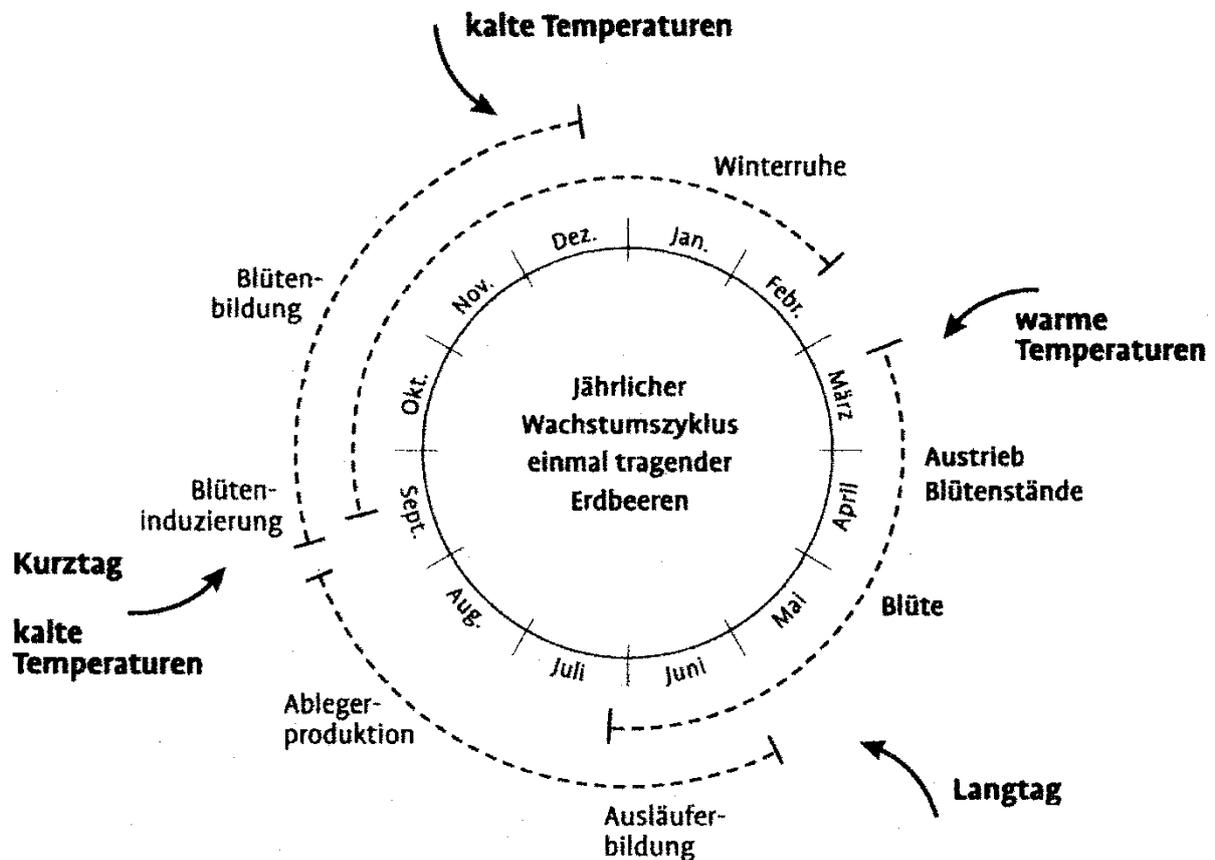
Wenn die Pflanze verstärkt Ausläufer bildet, steht dies in Konkurrenz zur Blütenknospenbildung für das Folgejahr. An jedem Ausläufer können sich bis zum Spätherbst bis zu 100 Jungpflanzen pro Mutterpflanze bilden. Die Mutterpflanze wird dadurch sehr geschwächt. Dies ist auch der Grund dafür, dass im Ertragsanbau die Stolonen entfernt werden, was den Ertrag im Folgejahr erhöht. In der Phase der Blüte und Fruchtentwicklung wird gleichzeitig von der Pflanze aus die einsetzende Ausläuferbildung des laufenden Jahres gehemmt. In der Erdbeervermehrung werden die Blüten entfernt, um eine maximale Anzahl an Ausläufern zu erzielen (NAUMANN und SEIPP 1989: 57).

Die Blütenbildung wird in drei Phasen eingeteilt: Blüteninduktion, Blüteninitiation und Blütenknospendifferenzierung. Bei der Blüteninduktion senden die Blätter unter entsprechenden Umweltbedingungen ein blüteninduzierendes Signal aus. Diese Phase beschreibt die Änderung vom vegetativen zum generativen Wachstum. Die Blüteninitiation, auch Blütenanlage genannt, ist ein morphologischer Wechsel am apikalen Meristem der Sprossspitze. In der Phase der Blütenknospendifferenzierung bilden sich nacheinander die verschiedenen Blütenorgane aus. Erdbeeren werden aufgrund ihrer Wachstums- und Blüheigenschaften in einmaltragende (engl. June-bearing strawberry) und remontierende (engl. everbearing strawberry) unterschieden. Remontierende Erdbeerpflanzen sind immertragende Sorten, die während der gesamten Wachstumsperiode blühen und Früchte tragen (KRÜGER 2012a: 22–25).

Nach NAUMANN und SEIPP (1989: 57) werden einmaltragende Sorten als fakultative Kurztagpflanzen, remontierende Erdbeersorten als Langtagpflanzen bezeichnet. Es gibt des Weiteren tagneutrale Pflanzen, die unabhängig von der Länge des Tages Blütenknospen induzieren. Diese Unterscheidung nach der Tageslänge ist NAUMANN und SEIPP (1989: 57) zufolge nicht ganz korrekt. So ist auch nach Versuchen nicht ganz klar, ob eine fotoperiodische Reaktion vorliegt oder ob die Zahl der gebildeten Blütenknospen nicht mit der Folge vermehrten Stoffgewinns bei verlängerter Belichtungsdauer zusammenhängt. Die Unterscheidung in fakultative Kurztagpflanzen und Langtagpflanzen sowie tagneutrale Pflanzen wird in der Literatur und in der Praxis im Allgemeinen so verwendet. Abbildung 4 zeigt den jährlichen Wachstumszyklus fakultativer Kurztagsorten.

Die Erdbeerpflanzen werden als Stecklinge im Juli oder August gepflanzt. In der Zeit nach der Pflanzung bis September bilden sich Stolonen; in Abbildung 4 wird dies als Phase der „Ablegerproduktion“ bezeichnet. Mit Beginn der Kurztagphase in den

mitteleuropäischen Breiten und mit kälteren Temperaturen beginnt die Blüteninduktion. Laut Abbildung 4 erstreckt sich diese Phase von Mitte bis Ende September. Es folgt die Phase der Blütenbildung bis Ende Dezember, parallel mit der Winterruhe.



**Abb. 4:** Jährlicher Wachstumszyklus von fakultativen Kurztagsarten

Quelle: Nach HANCOCK und HANCOCK 1999, verändert von KRÜGER 2012

Das Kältebedürfnis einer Erdbeerpflanze nach Eintritt in die Winterruhe beträgt je nach Sorte 600 bis 900 Kältestunden mit Temperaturen zwischen 0 und 7 °C. Die Winterruhe der Erdbeerpflanze wird durch kürzere Tage und niedrigere Temperaturen eingeleitet. Die Pflanze bildet mit Beginn der Winterruhe keine Blätter und Ausläufer mehr. Erdbeerpflanzen, die im Spätherbst oder im Winter gerodet und bei -2 °C im Kühlhaus gelagert werden, sind sogenannte „Frigopflanzen“. Bei ihnen wird das Kältebedürfnis künstlich erfüllt. Nach NAUMANN und SEIPP sind Pflanzen, denen die notwendigen Kältestunden im Winter fehlen, stärker im Wuchs und schwächer im Ertrag. Eine „Überkühlung“, also ein zu langer Verbleib der Pflanzen im Kühlraum, sollte dagegen nicht stattfinden, da der zu lange Kältereiz zu unfruchtbaren Pflanzen führt, die keine Früchte tragen und stark wuchern sowie Ausläufer bilden. Wird das Kältebedürfnis der Pflanze erfüllt, gewinnt sie ihre Austriebsbereitschaft wieder zurück.

Die Bildung einer neuen Laubkrone und von Ausläufern beginnt, wenn nach dem Ende der Winterruhe wieder Wachstumsbedingungen herrschen. Die Blütenknospendifferenzierung findet noch während der vorherigen Wachstumsphase statt. Die Zahl der Blütenstände und Blüten ändert sich in der Winterruhe nicht (NAUMANN und SEIPP 1989: 60–65).

### **2.1.5 Standortansprüche und Anbausysteme im Ertragsanbau**

Bei der Wahl des Anbausystems im Ertragsanbau spielen für den Erdbeerproduzenten mehrere Faktoren eine Rolle. Unter der Voraussetzung eines geeigneten Klimas ist der primäre Entscheidungsfaktor für ein spezielles Anbausystem der Vermarktungsweg der Ware, da unterschiedliche Anbausysteme auch immer den Erntezeitpunkt beeinflussen. Ist eine kombinierte Erdbeerdirektvermarktung mit der Spargelsaison der Vermarktungsweg, wird eine möglichst frühe, kleine Erntemenge im April mit einer Erntespitze im Mai zu den Feiertagen und langen Wochenenden und eine ausreichende Mengenversorgung im Juni bis Ende der Spargelsaison benötigt. Des Weiteren spielen die Flächenverfügbarkeiten und die Bodengegebenheiten eine wichtige Rolle. Grundsätzlich wird zuerst unterschieden, ob die Erdbeerpflanzen in den am Standort verfügbaren Boden, den sogenannten gewachsenen Boden, eingepflanzt werden oder ob Rinnen oder Gefäße mit Substrat befüllt werden.

Die Erdbeerpflanze stellt an den Boden den Anspruch auf einen guten Wasser-Luft-Haushalt. Die Hauptmasse der Wurzeln befindet sich in der oberen Bodenschicht bis 20 cm Tiefe. Ein luftiger Boden ermöglicht ein durchwurzelt Bodenvolumen von bis zu 100 cm Tiefe. Eine so tief verwurzelte Erdbeerpflanze profitiert von einer ausgeglichenen Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Staunässe führt bei Erdbeeren schnell zu Ertragsdepressionen; bindige Böden mit hohem Tonanteil sowie Parabraunerde aus Löß sind daher nur geeignet, wenn einer zu starken Verdichtung der Böden vorgebeugt werden kann. Im Erdbeeranbau sind Verschiebungen der Pflanz-, Spritz- und Bearbeitungstermine meist nicht möglich, daher muss in der Anbauplanung abgewogen werden, ob eine Pflanzung an einem solchen Standort keinem zu hohen Risiko ausgesetzt ist. Humose und lehmige Sandböden, die sich gut für den Frühanbau eignen, erfordern von Beginn an eine gut durchdachte Bewässerungsstrategie, da hier den Pflanzen wenig Wasser zur Verfügung steht. Sehr schwere Böden mit hohem Tonanteil, oft sind dies Marschböden, speichern Wasser häufig so, dass es nicht für die Pflanzen verfügbar ist. Auf solchen Standorten ist aufgrund der langsamen

Erwärmung im Frühjahr auch bei Frühsorten ein späterer Erntetermin zu erwarten (NAUMANN und SEIPP 1989: 120).

Eignen sich die Bodenart und die äußeren Umstände für den gewünschten frühen oder späten Erntetermin, muss darüber hinaus die Frage möglicher Bodenkrankheiten der Erdbeere berücksichtigt werden. Im Bodenanbau wird in der Praxis zwischen dem klassischen Bodenanbau in der Einzel- oder Doppelreihe und dem Anbau in ein- oder zweireihigen Minidämmen unterschieden. In Abbildung 5 ist der klassische Bodenanbau in der Einzelreihe dargestellt. In diesem Fall wurden Reihenabstände von 0,80 bis 1,00 m und Pflanzabstände von 0,25 bis 0,35 m gewählt. Die Pflanzenanzahl in diesem Anbausystem liegt zwischen 28.500 bis 50.000 Pflanzen pro Hektar (DIEREND 2012a: 61)



**Abb. 5:** Klassischer Erdbeer-Bodenanbau in Einzelreihe auf dem Tannenhof Weiterstadt mit Stroheinlage (Foto: Lisa Meinhardt)

Der Bodenanbau in der Doppelreihe wird in der Praxis mit Spurbreiten von 1,80 bis 2,00 m und einem Zwischenraum in den Doppelreihen von 0,80 bis 1,00 m sowie einem Pflanzabstand von 0,30 m durchgeführt. Es werden je nach gewählten Abständen 35.500 bis 47.000 Pflanzen im Doppelreihensystem pro Hektar gepflanzt (DIEREND 2012a: 61).

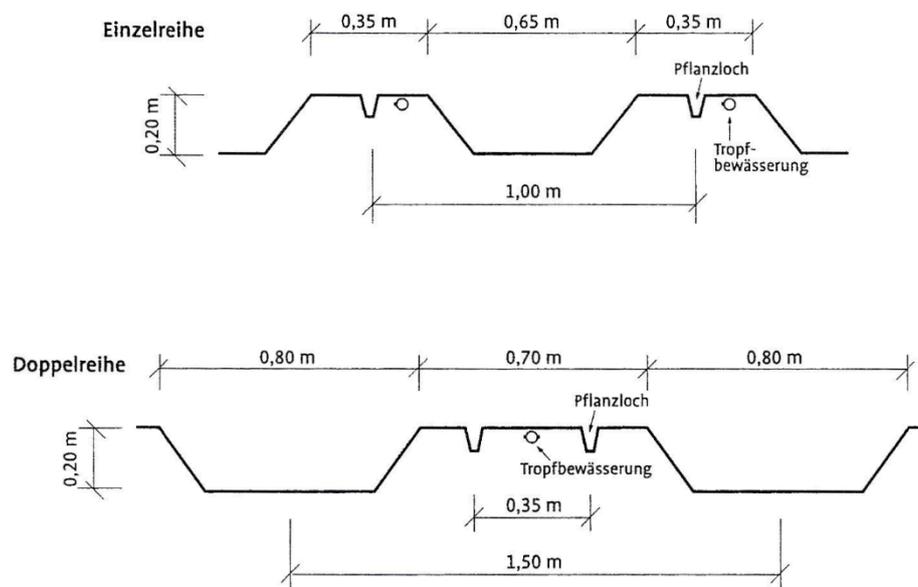
In den Anbaugeländen der USA und in Südeuropa wird der Anbau auf gewachsenen Böden mit Dammsystemen schon seit mehr als 30 Jahren praktiziert. Der Damm ist zwar teurer in der Erstellung, bietet aber aus pflanzenbaulicher Sicht deutliche Vorteile. Der mit Mulchfolie abgedeckte Damm verhindert das Aufkeimen von Unkräutern in der gelockerten Erde des Damms, in die ein Tropfbewässerungsschlauch eingearbeitet wird. Hier finden die Erdbeerwurzeln nahezu ideale Wachstumsbedingungen. Eine fachgerecht erstellte Dammkultur schützt die Erdbeerpflanze vor Staunässe, der Boden erwärmt sich schneller, und der Erdbeerpflücker kann die Früchte besser sehen und ernten. Die Erdbeerfrüchte liegen nicht auf dem Boden, sondern hängen leicht herunter; dies trägt zur Fruchtgesundheit bei, da die Teile, mit denen die Erdbeere auf einem Medium aufliegt, ein potentiell Risiko für Fruchtfäule bergen. In Abbildung 6 ist der Dammaufbau mit einem einreihig bepflanzten Damm dargestellt.



**Abb. 6:** Einreihig bepflanzter Damm auf dem Tannenhof Weiterstadt mit schwarzer Mulchfolie (Foto: Lisa Meinhardt)

Der Reihenabstand von einreihig bepflanzten Dämmen beträgt 0,80 bis 1,20 m, der Pflanzabstand zwischen den Erdbeerpflanzen variiert zwischen 0,20 und 0,30 m. An der Basis sind die Dämme 0,30 bis 0,40 m breit und 0,20 m hoch. Ein zentraler Punkt ist das Gefälle im Damm und in der Anlage, um den Wasserabfluss zu gewährleisten (LINNEMANNSTÖNS 2012a: 104). In der Praxis werden Erdbeeranlagen mit einreihig bepflanzten Dämmen auch als „Minidammkulturen“ bezeichnet. Bei der Dammerstellung mit einer speziell dafür hergestellten Maschine wird der Tropfschlauch ca. 5 cm tief im

Boden verlegt und der Damm darüber geformt und mit einer schwarzen Stretchfolie bedeckt. Diese Folie wird seitlich im Damm mit Erde eingegraben. Die schwarze Folie kann seit dem Jahr 2019 von einigen Herstellern auf Maisstärkebasis hergestellt werden und ist nach wenigen Jahren kompostierbar. Doppelreihig bepflanzte Dämme werden in einem Reihenabstand von 1,40 bis 1,50 m geformt. An der Basis sind die Dämme zwischen 0,70 und 0,80 m breit. Das Prinzip der Dammerstellung ist dasselbe wie bei den Einzelreihen, nur werden hier bei leichten Böden zwei Tropfschläuche pro Damm verlegt. Die Dammhöhe beträgt 0,20 m und die Pflanzabstände werden mit 0,30 bis 0,40 m angegeben (LINNEMANNSTÖNS 2012a: 104). Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung von Erdbeerdämmen in Einzel- sowie in Doppelreihe. Die Abstände und Höhen der Dämme und Pflanzen können in der fachlichen Praxis abweichen.



**Abb. 7:** Schematischer Aufbau von Erdbeerdämmen

Quelle: LINNEMANNSTÖNS 2012

Wenn die negativen Faktoren, wie Nachbauprobleme durch Bodenkrankheiten oder ungeeignete Böden, den Bodenbau ausschließen, kann der Anbau in einer substratgefüllten Kulturrinne eine Alternative bieten. Die Erstellungstechnik ist ähnlich wie bei den oben beschriebenen Erdbeerdämmen. Es wird zunächst ein Damm geformt, der im Gegensatz zu der oben beschriebenen Methode eine U-förmige Aussparung an der Oberseite hat. Dieser Damm wird mit „Maipacks“ bedeckt, einem schwarzen, wasserdurchlässigen PP-Bändchengewebe, das unten am Boden befestigt wird. Der Abstand zwischen den Reihen beträgt 1,30 bis 1,40 m und die Dammhöhe wird in der fachlichen

Praxis auf 0,40 bis 0,50 m festgelegt. Das Substrat wird in einer Menge von 14 bis 22 Litern Substrat pro laufenden Meter in die Rinne eingefüllt. Die Substratzusammensetzungen unterscheiden sich je nach Verwendung; Substrate, die nur einjährig verwendet werden, haben einen Torfanteil, bei Substraten, die über mehrere Jahre eingesetzt werden, wird mit einem Kokosanteil gearbeitet. Die Pflanzdichte beträgt in einer solchen Rinnen-Substratkultur, wie Abbildung 8 zeigt, zehn Pflanzen pro Meter, die im Verband gepflanzt werden. Wie zu erkennen ist, wird der Tropfschlauch hier oben auf das Substrat gelegt, da die Rinnen mehrere Jahre verwendet und die Erdbeerpflanzen jedes Jahr durch neues Pflanzgut ersetzt werden. Dieser jährliche Austausch des Pflanzguts ermöglicht gesündere Pflanzen, einen geringeren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und einen höheren Ertrag.



**Abb. 8:** Zweireihig bepflanzte Erdbeer-Substratrinne auf dem Tannenhof Weiterstadt mit Tropfschlauch (Foto: Lisa Meinhardt)

Der Anbau auf Stellagen ist eine Weiterentwicklung des Substratanbaus in Erdrinnen. Um höhere Pflückleistungen zu erreichen, werden die Erdbeerpflanzen in einer Stel­lage auf eine Stahlrinne in Höhe von 1,30 m über dem Boden gepflanzt. Ziel dieses Anbausystems ist es, die Erdbeerfrüchte auf eine Höhe von 1,10 m und damit in die ideale Pflückhöhe zu bringen. Erdbeerstellagesysteme werden auf Pfählen aufgebaut, die eine Stahlunterkonstruktion tragen, auf welche die Konstruktion der Rinnen auf­gebaut wird. Die Kulturbehälter für die Erdbeerpflanzen werden in diese Rinnen gestellt und mit Tross- und Blattunterstützungsgestellen versehen. Diese

Unterstützungsgestelle dienen dazu, die Blätter und Früchte zu stützen und in der idealen Form für die Ernte zu halten. Abbildung 9 zeigt einen Hochtunnel mit fünf Stellagereihen für remontierende Erdbeeren. Es ist zu erkennen, dass die Bewässerung über einen Schlauch erfolgt, der unter der Rinne entlang verläuft und über einzelne sogenannte „Spaghetti-Tropfer“ die Pflanzen mit Wasser versorgt. Dieses System, bei dem jede Pflanze einen einzelnen Tropfer erhält, ermöglicht die exakte Wassersteuerung pro Pflanze. Der Erdbeeranbau auf Stellagen setzt eine solche präzise Wassersteuerung voraus, da der Pflanze weniger durchwurzelbares Medium zur Verfügung steht als in der Substratrinne, im Damm oder im gewachsenen Erdboden. Angesichts des geringen Platzes für die Wurzeln in der Stellage besteht die Gefahr der Austrocknung und der Unterversorgung der Pflanze (LINNEMANNSTÖNS 2012b: 133).



**Abb. 9:** Hochtunnel mit fünf Stellagereihen für remontierende Erdbeeren (Foto: Lisa Meinhart)

Ein Frostschutz der Anlagen durch eine Abdeckung mit Vlies, das eine Stärke von 17 bis 22 g/m<sup>2</sup> aufweist, wird im Ertragsanbau auch in Freilandkulturen häufig eingesetzt. Es gibt auch die Möglichkeit, ebenerdige Kulturen mit Strohabdeckungen zu schützen. Hierfür werden bei LINNEMANNSTÖNS (2012a: 98) 60 bis 70 Rundballen pro Hektar empfohlen. Der Grund hierfür ist, dass Winterfröste starke Schäden an den Pflanzen

hervorrufen können und es sogar zu einem Totalausfall kommen kann. Wenn die Erdbeerbestände vollständig mit Schnee bedeckt sind, tolerieren die Pflanzen auch Temperaturen von bis zu  $-25\text{ °C}$ . Besonders tiefe Temperaturen ohne Schnee, sogenannte Barfröste, bergen in Verbindung mit Ostwind die Gefahr von Frosttrockenheit. Es kommt bei den Pflanzen zu einer Verbräunung des Rhizoms, die mit dem Absterben der Pflanze oder massiven Wuchs- und Ertragsdepressionen im Erntejahr verbunden ist. Die Vliesabdeckung wird mit Beginn der Winterruhe der Pflanzen aufgezogen und im Frühjahr bei ansteigenden Temperaturen wieder entfernt. Die Strohabdeckung kann hingegen im Frühjahr erst später entfernt werden, wenn eine Verzögerung der Erdbeerkultur geplant ist (LINNEMANNSTÖNS 2012a: 98). Im frühen Erntebereich gibt es die Möglichkeit, mit Minitunneln und Hochtunneln die Erdbeerpflanzen vor der Winterkälte zu schützen und das Wachstum durch höhere Temperaturen unter den Abdeckungen früher anzuregen. Bei der Abdeckung mit Minitunneln werden im Abstand von 3 m Federstahlstäbe etwa 30 cm tief in die Erde gesteckt. Über diese Bügel wird eine Polyethylen- oder Eva-Folie gespannt. Die Minitunnel werden am unteren Bereich in Folientaschen mit Sand beschwert und an den Reihenden mit Sandsäcken gesichert. Abbildung 10 zeigt eine Erdbeerkultur unter Minitunneln unter Frostberegnung.



**Abb. 10:** Minitunnel über Erdbeerreihen mit Frostberegnung (Foto: Lisa Meinhardt)

Frostschutzberegnung ist die bei Weitem wirksamste Methode, wenn in der Zeit der Erdbeerblüte Nachtfröste drohen. Hierbei wird eine Überkopfbewässerungsanlage in

den Kulturen installiert, die eingeschaltet wird, wenn in 50 cm Höhe die Lufttemperatur die 0-°C-Grenze unterschreitet (NAUMANN und SEIPP 1989: 160). In der Praxis kommen digitale „Frostwächter“ zum Einsatz, die bei einem voreingestellten Temperaturminimum einen Anruf auf dem Mobiltelefon auslösen. Dieser „Frostalarm“ ermöglicht das Anschalten der Frostberegnung zum richtigen Zeitpunkt, ohne dass sich eine Person auf dem Feld aufhalten muss, um die Temperatur zu kontrollieren. Nachdem die Beregnung eingeschaltet ist, bildet sich ein Eismantel auf der Pflanze. Der Prozess des Gefrierens des Wassers setzt Erstarrungswärme frei, die bei NAUMANN und SEIPP mit 335 J/g angegeben wird. Wenn ununterbrochen Wasser auf die Pflanze gegeben wird, kann die Gewebetemperatur von 0 °C praktisch nicht unterschritten werden, da rein rechnerisch bei der Bildung von 1 g Eis 80 g Pflanzensubstanz um 1 °C erwärmt werden. Der Einsatz von Frostberegnung bietet Schutz bei bis zu –6 °C; herrscht Windstille, können die Erdbeerblüten bei bis zu –7 °C geschützt werden. Die benötigte Wassermenge bei einer Frostnacht von zwölf Stunden wird mit 360 m<sup>3</sup> pro Hektar angegeben. Eine konsequente, gleichmäßige Wasserverteilung ist die Grundvoraussetzung für die sichere Wirkungsweise des Frostschutzes (NAUMANN und SEIPP 1989: 160).

Der Erdbeeranbau im Hochtunnel im festen oder im Wandersystem hat in den letzten Jahren in Deutschland immer mehr an Bedeutung gewonnen. Das System bietet die Möglichkeit, die Witterungsrisiken zu reduzieren und den Erntezeitraum besser zu steuern. Zudem ist eine Erdbeerernte bei starkem Niederschlag möglich, was zur besseren und sicheren Verfügbarkeit der Früchte für die Vermarktung beiträgt (LINNEMANNSTÖNS 2012b: 124). Das Hochtunnelwandersystem besteht aus weniger stabilen Tunneln, die über Erdbeerkulturen gestellt werden, die im gewachsenen Boden oder auf Minidämmen kultiviert werden. Der Tunnel „wandert“ dann mit den Erdbeerkulturen im Rahmen der Fruchtfolge über die Erdbeerflächen des Betriebes. Die Tunnelkonstruktionen werden bei LINNEMANNSTÖNS mit einer Breite von 5,50 bis 8,50 m und einer Höhe von 2,30 bis 3,90 m beschrieben. Das Grundgerüst besteht aus verzinkten Rohren mit einem Durchmesser von 32 bis 40 mm sowie einer Wandstärke von 1,5 bis 2,2 mm. Die gebogenen Rohre werden mit einem Abstand von 2 m auf Erdankern befestigt und mit einer 180 bis 200 µm starken Polyethylenfolie bespannt. Eine zusätzliche Befestigung mit Schnüren sorgt für die nötige Stabilität und Windsicherheit (LINNEMANNSTÖNS 2012b: 125).

Über Substrat- oder Rinnenkulturen werden stationäre Hochtunnel errichtet, die mit zusätzlichen Querstreben stabilisiert sind. Diese Konstruktionen sind darauf

ausgerichtet, mehrjährig genutzt zu werden. In Abbildung 11 ist eine solche Konstruktion eines stationären Hochtunnels dargestellt. Der Tunnel ist 9,60 m breit und in der Spitze 4 m hoch. Die Konstruktion erstreckt sich über sechs Erdbeersubstratrinnen mit einer Spurbreite von 1,45 m.



**Abb. 11:** Hochtunnel über Erdbeersubstratrinne (Foto: Lisa Meinhardt)

### **2.1.6 Pilzliche und tierische Schaderreger der Erdbeere**

Der Pflanzenschutz im Erdbeeranbau ist aufgrund der weichen Konsistenz der Erdbeerfrucht ein zentrales Thema. Die weichen Früchte sind anfällig für zahlreiche Krankheiten und müssen innerhalb weniger Tage vermarktet werden. Erdbeerkrankheiten werden nach NAUMANN und SEIPP (1989: 161) durch Pilze, Mycoplasmen, Viren, tierische Schädiger und abiotische Faktoren ausgelöst. Bakterielle Schaderreger sind im Erdbeeranbau nicht von Bedeutung, da sie selten und in kleinem Rahmen auftreten. Die abiotischen Faktoren sind erwähnenswert, da durch nichtparasitäre Ursachen, beispielsweise durch Witterung, Wind, Wassermangel oder Wasserüberschuss, Schäden durch den falschen Einsatz von Pflanzenschutz- oder Düngemittel oder andere Anbaufehler, die Pflanzen geschwächt werden. Geschwächte Pflanzen sind anfälliger für Krankheitserreger aller Art. Aus diesem Grund müssen zunächst optimale

Anbaubedingungen geschaffen werden, mit denen der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bereits deutlich reduziert werden kann (NAUMANN und SEIPP 1989: 161).

#### **2.1.6.1 Pilzliche Krankheiten**

Die Schadpilze werden nach Blattkrankheiten, Frucht- sowie Wurzel- und Rhizomfäulen unterschieden. Die wirtschaftlich bedeutendsten pilzlichen Blattkrankheiten sind der Echte Mehltau (*Spaerotheca macularis* syn. *Podosphaera aphanis*), die Rotfleckkrankheit (*Diplocarpon eraliana* Ell. und Ev.), die Weißfleckkrankheit (*Mycosphaerella fragaria* Tul. Lindau), die Alternaria-Blattfleckkrankheit (*Alternaria alternata* Keissler f. spec. Dingley) und die Gnomonia-Blattfleckkrankheit (*Gnomonia comari* Karsten) (JUNG 2012: 155).

Der Echter-Mehltau-Pilz (*Spaerotheca macularis* syn. *Podosphaera aphanis*) überwintert als Myzel oder Ascosporen auf den Blättern. Die Vermehrung beginnt im Frühjahr bei Temperaturen über 10 °C durch die Bildung von Konidiensporen. Diese werden durch Wind verbreitet. Bei einem Temperaturoptimum von 20 bis 25 °C und hoher Luftfeuchtigkeit können die Sporen auf jungen Blättern etwa in zwei Tagen auskeimen. Kalte und feuchte Witterung sowie starke Trockenheit hemmen die Sporenbildung. Das Schadbild des Erdbeermehltaus äußert sich durch Blätter, die nach oben gerollt sind und rötlich verfärbte Blattränder aufweisen (Abb. 12). Die Blattoberfläche sieht weißlich belegt aus, was durch die Myzel-Ausbreitung ausgelöst wird. Wenn der Pilz die Erdbeerkultur frühzeitig im Jahr befällt, kann auch die Frucht betroffen sein. Mit Mehltau befallene Früchte sehen aus, als wären sie von Schimmel befallen oder mit feinem Sand überzogen (NAUMANN und SEIPP 1989: 176).



**Abb. 12:** Violett bis rot gefärbte Blattflecken infolge eines Befalls mit Echtem Mehltau (*Sphaerotheca macularis*)

Quelle: JUNG 2012

Es gibt einige Erdbeersorten, die besonders anfällig für Mehltau sind; dazu gehören die Sorten Clery, Figaro, Lambada, Mae und Suzana. Die Sorten Florika und Malwina sind hingegen weniger anfällig für Mehltau (BUNDESSORTENAMT 2015: 13–14). Die Mehltaubekämpfung findet über maximale Hygiene in der Kultur statt. Das bedeutet, dass abgestorbene Pflanzenteile entfernt werden und die Kultur unter der Vliesabdeckung und besonders im Tunnel regelmäßig gelüftet wird. Zur Bekämpfung des Schadpilzes können chemische Pflanzenschutzmittel wie Switch (Wirkstoffe: Anilino-pyrimidine und Phenylpyrrole) sowie Teldor (Wirkstoff: Hydroxylanilide) in der Praxis eingesetzt werden (JUNG 2012: 151).

Die Rotfleckenkrankheit (*Diplocarpon eraliana* Ell. und Ev.) befällt Laub, Kelchblätter und Früchte der Erdbeere. Der Pilz überwintert auf abgestorbenem Laub und verursacht kleine Flecken, die sich bei fortschreitendem Befall innen braun verfärben. In mehrjährigen Erdbeerbeständen ist die Rotfleckenkrankheit ein größeres Problem als in einjährigen Beständen, wo sie selten stark schädigend auftritt (NAUMANN und SEIPP 1989: 176).

Die Weißfleckenkrankheit (*Mycosphaerella fragaria* Tul. Lindau) befällt ältere Erdbeerblätter mit kleinen braunvioletten Flecken. Wenn sich die Infektion ausbreitet, sieht das abgestorbene Gewebe der Pflanze weiß aus. Auch andere Pflanzenteile der Erdbeere können befallen werden, was sich über einen schwarzen Fleck äußert (NAUMANN und SEIPP 1989: 177).

Die Alternaria-Blattfleckenkrankheit (*Alternaria alternata* Keissler f. spec. Dingley) ist ein Saprophyt, der in absterbenden Pflanzenteilen vorkommt. Auf den Erdbeerblättern zeigt sich ein runder bis ovaler violettbrauner Fleck, bei dem das Gewebe von der Mitte her abstirbt. Wenn die Blattflecken ineinander übergehen, stirbt das gesamte Gewebe bis hin zu ganzen Blatt- und Blütenstielen sowie Fruchtständen ab (NAUMANN und SEIPP 1989: 177). Der Pilz hat sein Temperaturoptimum bei 20 bis 25 °C, kann aber auch bei 10 °C noch auftreten und ist aus diesem Grund nicht nur im Sommer, sondern auch im Spätherbst noch ein Problem.

Die Gnomonia-Blattfleckenkrankheit (*Gnomonia comari* Karsten) verursacht Blattkrankheiten und Gnomonia-Fruchtfäule (*Gnomonia comari* Karsten syn. *G. fructiola* Arnnaud) (NAUMANN und SEIPP 1989: 180). Das Schadbild der Gnomonia-Blattfleckenkrankheit ist ein dunkelbrauner Fleck, bei fortschreitendem Befall gehen viele Flecken ineinander über und das gesamte Blatt stirbt ab. Wenn die Infektion den Stiel erfasst, wird die Wasserversorgung unterbrochen und Laub und Fruchtstände können sich nicht weiterentwickeln. Die Früchte, die bereits annähernd reif sind, werden gummiartig und im Inneren glasig. Die Bekämpfung der Gnomonia-Blattfleckenkrankheit muss vorbeugend erfolgen, da der sichtbare Schaden nicht mehr bekämpft werden kann und die Ernte unverkäuflich ist (NAUMANN und SEIPP 1989: 179).

Zu den durch Pilze hervorgerufenen Fruchtfäulen gehören der Grauschimmel (*Botrytis cinerea*), die Gnomonia-Fruchtfäule (*Gnomonia comari* Karsten syn. *G. fructiola* Arnnaud), die Ledererdbeerfäule (*Phytophthora cactorum*) und die Anthraknose-Fruchtfäule (*Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*) (JUNG 2012: 151).



**Abb. 13:** Grauer Sporenbelaag bei Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*)

Quelle: JUNG 2012

Die wirtschaftlich bedeutendste Fruchtfäule ist der Grauschimmel (*Botrytis cinerea* Persoon), der die Erdbeere wie in Abbildung 13 dargestellt befällt. Es handelt sich hierbei um keinen wirtsspezifischen Pilz. Grauschimmel befällt annähernd alle abgestorbenen oder absterbenden Teile von Pflanzen. Bei Erdbeeren betrifft er auch lebendes Pflanzengewebe. Besonders die Erdbeerblüte ist durch den Befall der alternden Blütenorgane betroffen. Der Pilz überwintert als Saprophyt auf Pflanzenresten und nutzt die im Frühjahr bei der Bildung neuer Erdbeerblätter entstehende Luftfeuchte für die Sporenbildung. Bei einer Lufttemperatur von 15 bis 20 °C und hoher Luftfeuchtigkeit herrschen optimale Bedingungen für die Keimung (NAUMANN und SEIPP 1989: 179). Während der Ernte müssen befallene Früchte regelmäßig herausgepflückt werden. Das Einlegen von Stroh in die Kulturen ist eine weitere Hygienemaßnahme, um die Pflanze vor weiteren Infektionen zu schützen (JUNG 2012: 151).

Die Ledererdbeerfäule (*Phytophthora cactorum*) wird durch den Phytophthora-Pilz ausgelöst, der als Oosporen bis zu zehn Jahre im Boden überleben kann. Die Erdbeerfrucht wird infiziert, indem die Spore durch starken Regen oder Staunässe an die Blüte oder die Frucht kommt. Die optimale Temperatur für den Erreger liegt bei 20 bis 25 °C. Der Erreger ist zudem für die Rhizomfäule an Erdbeerpflanzen verantwortlich. Es können sowohl Blüten als auch Früchte befallen werden. Dabei entstehen hellbraune Flecken und das Pflanzengewebe nimmt eine gummi- oder lederartige Konsistenz an. Die Früchte schmecken bitter und sind nicht zu vermarkten (JUNG 2012: 152).

Die Anthraknose-Fruchtfäule (*Colletotrichum gloeosporioides*, *Colletotrichum acutatum*) tritt hauptsächlich bei schwülwarmem Wetter auf. Der Wärme und Feuchtigkeit liebende Pilz infiziert bei optimalen Temperaturen von 22 bis 28 °C über Konidien. Es können grüne oder bereits rot gefärbte Früchte befallen werden. Dabei treten zunächst hellbraune und später schwarze kreisrunde Flecken auf. Innerhalb einiger Tage vergrößern sich diese Flecken und die Frucht mumifiziert. Das Problem ist, dass der Befall auch erst nach der Ernte sichtbar werden kann (JUNG 2012: 151).

Die Erdbeerwurzel und das Rhizom können von verschiedenen pilzlichen Erregern befallen werden. Dazu zählen die Rhizomfäule (*Phytophthora cactorum*), die rote Wurzelfäule (*Phytophthora fragariae* var. *fragariae*) und die Verticillium-Welke (*Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*).

Die Rhizomfäule (*Phytophthora cactorum* (Lebert und Cohn) Schroeter) wird durch den gleichen Erreger wie die Ledererdbeerfäule ausgelöst. Die Pflanzen sterben etwa vier Wochen nach der Pflanzung oder im Frühjahr nach der Blüte ab, nachdem sich einzelne Blätter braun gefärbt haben. Die Welke tritt sehr plötzlich auf, da die vom Pilz befallenen Gewebezonen keinen Wassertransport mehr ermöglichen. Im späteren Stadium der Welke sind die betroffenen Wurzeln bräunlich verfärbt und verfault. Die Rhizomfäule ist besonders auf Erdbeerflächen ein Problem, die langjährig genutzt werden und stark verdichtet sind. Die Bildung von Staunässe auf den Böden fördert die Entwicklung der Rhizomfäule zusätzlich (NAUMANN und SEIPP 1989: 182–183).

Die rote Wurzelfäule (*Phytophthora fragariae* Hickman) ist ein auf die Erdbeere spezialisierter Pilz, der über die infizierte Jungpflanze vermehrt wird. Die infizierten Pflanzen bleiben kurz und unterentwickelt, ältere Blätter sterben ab und die Herzblätter sind blau-grün gefärbt. Die Früchte entwickeln sich unvollkommen und sind nicht vermarktungsfähig. Der Zentralzylinder der Wurzel ist rot verfärbt und die Wurzelspitzen sind

braun. Die begeißelten Zoosporen des Pilzes sind im Wasser und damit auf staunassen Böden besonders beweglich und breiten sich auf diesem Wege aus. In den absterbenden Wurzeln bilden sich Oosporen, die bis zu 15 Jahre in den Böden überdauern können. Infizierte Anbauflächen sind daher zu meiden. Mithilfe des ELISA-Tests kann der Befall mit roter Wurzelfäule an Jungpflanzen nachgewiesen werden, bevor Symptome sichtbar sind (NAUMANN und SEIPP 1989: 185).

Die Verticillium-Welke (*Verticillium albo-atrum* Reinke und Berthold) kann viele verschiedenen Pflanzen befallen und bildet in absterbenden Pflanzen Mikrosklerodien. Diese können bis zu 15 Jahre im Boden überdauern und werden besonders von Kartoffeln als Vorkultur der Erdbeerflächen gefördert. Das Schadbild sind ein nesterweise auftretendes Welken der Pflanzen auf den Erdbeerflächen und trockene, welke Blätter; die jungen Blätter sind gestaucht. Im Rhizom lässt sich eine Braunverfärbung des Gefäßbündelringes erkennen. Auch die Verticillium-Welke wird über Jungpflanzen übertragen. Gesundes Pflanzgut und befallsfreie Anbauflächen sind der beste Schutz für den Erdbeerbestand (NAUMANN und SEIPP 1989: 186).

#### **2.1.6.2 Tierische Schaderreger**

Die wichtigsten tierischen Schaderreger sind in Tabelle A2 im Anhang aufgeführt. Bei einigen Schädlingen wie den verschiedenen Rüsselkäferarten sind die Schadbilder und die Behandlungen gleich und daher sind die entsprechende Verweise auf die anderen Arten aufgeführt.

#### **2.1.7 Ernte und Lagerung**

Die Erdbeerernte erfolgt vereinzelt in technisierten Glashäusern bereits mit selektiven Pflückrobotern, wird aber in allen anderen Kulturverfahren überwiegend per Hand durch Erntehelfer ausgeführt. Bei KELLER (2012a: 93) wird der Fruchtertrag eines Erdbeerbefeldes mit 15 t/ha angegeben. Wird eine durchschnittliche Pflückleistung von 15 kg/h zugrunde gelegt, resultiert daraus ein Zeitbedarf von 1.000 Akh/ha für das Pflücken eines Hektars Erdbeeren. Die Pflückleistung der Erntehelfer ist dabei vom Ertrag, von der Fruchtgröße, der Zahl der gleichzeitig reifen Früchte, der freien Erreichbarkeit der Frucht und vom Ernteverfahren abhängig (KELLER 2012a: 93).



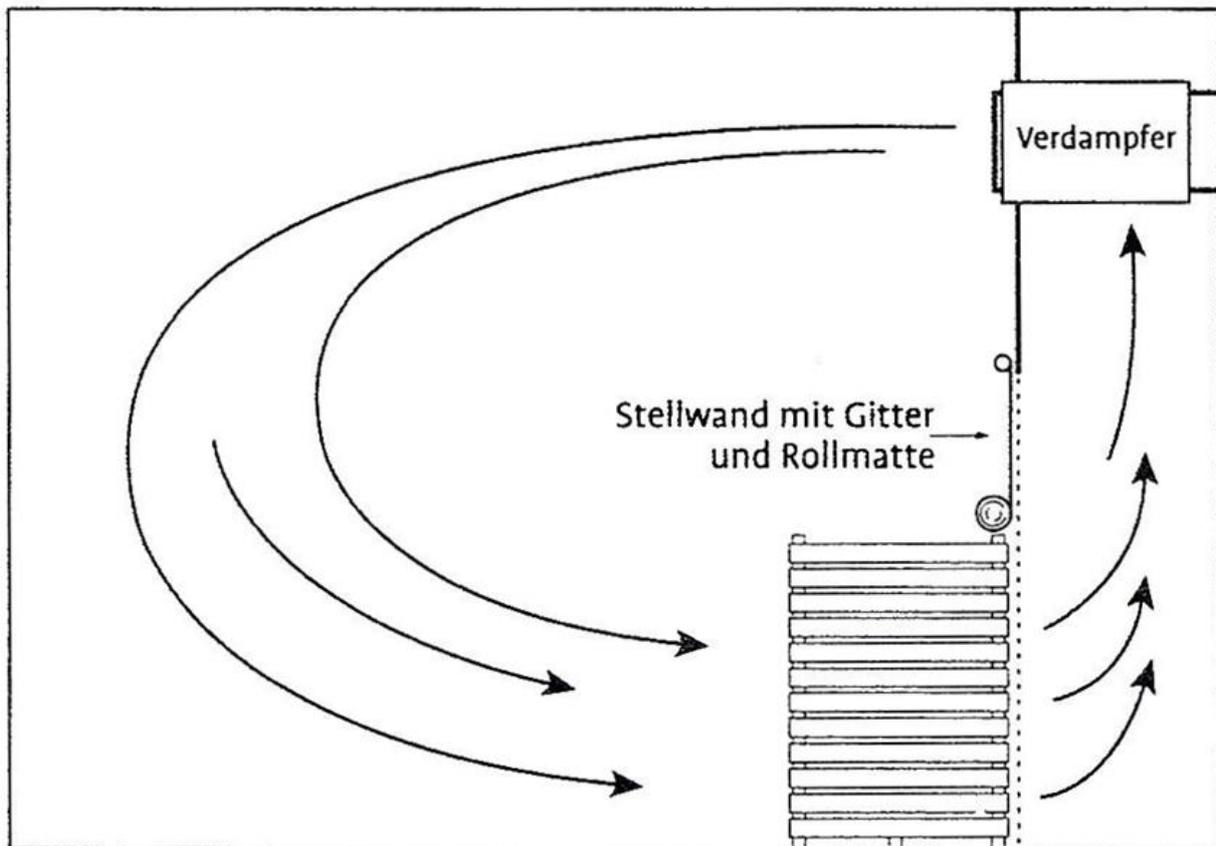
**Abb. 14:** Erdbeerernte mit Pflückkarren und Eimer für faule Früchte (Foto: Lisa Meinhardt)

Wie in Abbildung 14 dargestellt, ist das Pflückverfahren mithilfe kleiner Pflückkarren und das direkte Ernten in die fertige Verkaufsverpackung im Jahr 2019 die gängige Praxis. Ständige Kontrollen durch Vorarbeiter sind notwendig, um die Qualität der Früchte sicherzustellen. Nicht marktfähige und faule Früchte werden in ein separates Gefäß gepflückt und aus dem Erdbeerbestand transportiert und entsorgt. Die Europäische Verordnung (EG) Nr. 1221/2008, gültig seit dem 1.7.2009, regelt die Vermarktungsnormen. Erdbeeren müssen hiernach nicht mit dem Sortennamen gekennzeichnet sein. In der Handelsklasse Extra beträgt der Fruchtdurchmesser mindestens 25 mm und in Klasse I und II mindestens 18 mm. Je nach Vermarktungsweg und Sorteneigenschaft werden die Früchte etwas heller, fester und unreifer bis hin zu dunkler Farbe und in optimaler Essreife gepflückt. Eine helle und festere Frucht ist noch einige Tage transportfähig und kann an den Großhandel geliefert werden. Eine reife Frucht in der optimalen Essreife hat nur ein kurzes Zeitfenster, um vermarktet und verzehrt zu werden. Sie kommt daher nur für die Direktvermarktung infrage (KELLER 2012a: 95–96).

Die Lagerung der geernteten Erdbeeren ist ein entscheidender Punkt für die Erhaltung der Qualität. Ein schonendes Pflückverfahren mit möglichst wenigen Druckstellen und

Verletzungen sowie die Temperaturen, bei denen die Beeren gepflückt werden, sind entscheidend für den weiteren Erfolg der Lagerung. Nach Sonnenaufgang erwärmen sich die Erdbeerfrüchte aufgrund ihres Wassergehalts zunächst langsamer als die umgebende Luft. Im Laufe des Vormittags absorbiert eine rote Erdbeere die direkte Sonneneinstrahlung sehr schnell und wärmt sich stark auf. Aus diesem Grund ist eine Ernte in den kühleren frühen Morgenstunden optimal (NAUMANN und SEIPP 1989: 220).

Eine Lagertemperatur im Kühlhaus von 2 °C gilt für Erdbeeren als optimal. Um das Risiko eines Fäulnisbefalls zu senken, ist eine schnelle Abkühlung der Erdbeerfrucht auf 2 °C am effektivsten. Des Weiteren wird für Erdbeeren eine Lageratmosphäre mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt empfohlen. Diese Atmosphäre hemmt das Pilzwachstum und zudem die Reifung um bis zu 20 %. Der Nachteil einer Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts im Lager ist gelegentlich eine negative Auswirkung auf den Geschmack (KELLER 2012b: 143–144). Wenn die Erdbeerfrüchte mit einer Temperatur von 2 °C in Räume mit höheren Temperaturen kommen, wird der Taupunkt unterschritten und die Früchte beschlagen. Eine beschlagene, feuchte Frucht sieht optisch nicht ansprechend aus. Aus diesem Grund muss die Temperatur vor dem Vermarktungszeitpunkt langsam erhöht werden, um die Wasserdampfkondensation an der Frucht zu verhindern. Ein Problem bei der Kühlung der Erdbeere ist die Austrocknung der Erdbeerfrucht und der Kelchblätter. Die Austrocknung schreitet schneller voran, wenn der Kühlvorgang länger dauert und die Temperatur sowie die Luftfeuchte niedriger sind. Bei KELLER (2012b: 145) wird angegeben, dass die Abkühlzeit drei Stunden nicht unterschreiten sollte. Um eine schnelle Wärmeableitung von der Frucht in die Umgebungsluft zu gewährleisten, muss ein künstlicher Luftzug erzeugt werden. In modernen Kühlhäusern wird eine Gitterwand so vor dem Verdampfer aufgestellt, dass die Luft durch die Erdbeeren zurück in den Verdampfer strömt. In Abbildung 15 ist ein solcher Aufbau schematisch dargestellt. Die Luftströmungen werden mit Pfeilen angezeigt. In dem Verdampfer befindet sich ein Ventilator, der die Luftbewegung anregt (KELLER 2012b: 145).



**Abb. 15:** Aufstellung der Paletten im Kühlhaus an einer Gitterwand

Quelle: KELLER 2012

Die Luftgeschwindigkeit über dem Erntegut muss 1,5 bis 3 m/s betragen, um die Abkühlzeit von drei Stunden einzuhalten. Für 1 t Erdbeeren, die in 5-kg-Holzsteigen mit jeweils zehn handelsüblichen Schalen zu je 500 g verpackt sind, werden Luftleistungen von 10.000 bis 20.000 m<sup>3</sup>/h zur Kühlung des Erntegutes innerhalb von drei Stunden benötigt. Der Kältebedarf ist zu Beginn der Kühlung sehr hoch und nimmt im Lauf der Kühlzeit exponentiell ab. Damit der hohe Kältebedarf gedeckt werden kann, gibt es grundsätzlich drei verschiedene Kältetechnikbauweisen. Zur Erdbeerschnellabkühlung wird in der Praxis in den meisten Fällen das kalifornische Modell genutzt. Bei diesem wird die Spitze des Kältebedarfs dadurch gebrochen, dass ständig zu kühlende Ware in das Kühlhaus hineingebracht wird, während fertig gekühlte Ware heraustransportiert wird. Dabei sollten die Teilchargen, die herein- und herausgefahren werden, möglichst klein sein. Auf diese Weise überlappen sich die Kältebedarfskurven der einzelnen Partien und der absolute Kältebedarf nähert sich dem durchschnittlichen an (KELLER 2012b: 146–149). Die „nasse Durchstromkühlung“ funktioniert auf der Basis eines mit Kühlschlangen durchzogenen Eiswasserbeckens. Um die Kältebedarfsspitzen zu brechen, wird ein Kälteverrat in Form von Eis geschaffen, der das

durchströmende Wasser ständig auf einer Temperatur von 0 bis 0,5 °C hält. Mit dem Eiswasser kann die Kühlluft nicht kälter als 0,5 °C werden und ein Erfrieren des Erntegutes wird verhindert. Dieses System kommt aufgrund hoher Investitionskosten und eingeschränkter Nutzbarkeit in der Praxis selten vor. Das System der Solekühlung basiert auf dem Wirkprinzip der Zumischung von Salz und Alkohol, um die Sole auf Temperaturen von unter 0 °C zu bringen. Bei der Solekühlung wird mit einem Primärkältekreislauf die Sole durch Kältemittel gekühlt. Die Sole kühlt in einem Sekundärkreislauf die Luftkühler. Mit Mischventilen kann die Temperatur so gesteuert werden, dass eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Kühlrippe entsteht. Aus diesem Grund kondensiert weniger Wasserdampf am Verdampfer und der gekühlte Raum hat keine so geringe Luftfeuchte, womit die Austrocknungsgefahr niedriger ist (KELLER 2012b: 146–149).

### **2.1.8 Bestäubung durch Erdhummeln (*Bombus terrestris*) aus Zuchtbetrieben**

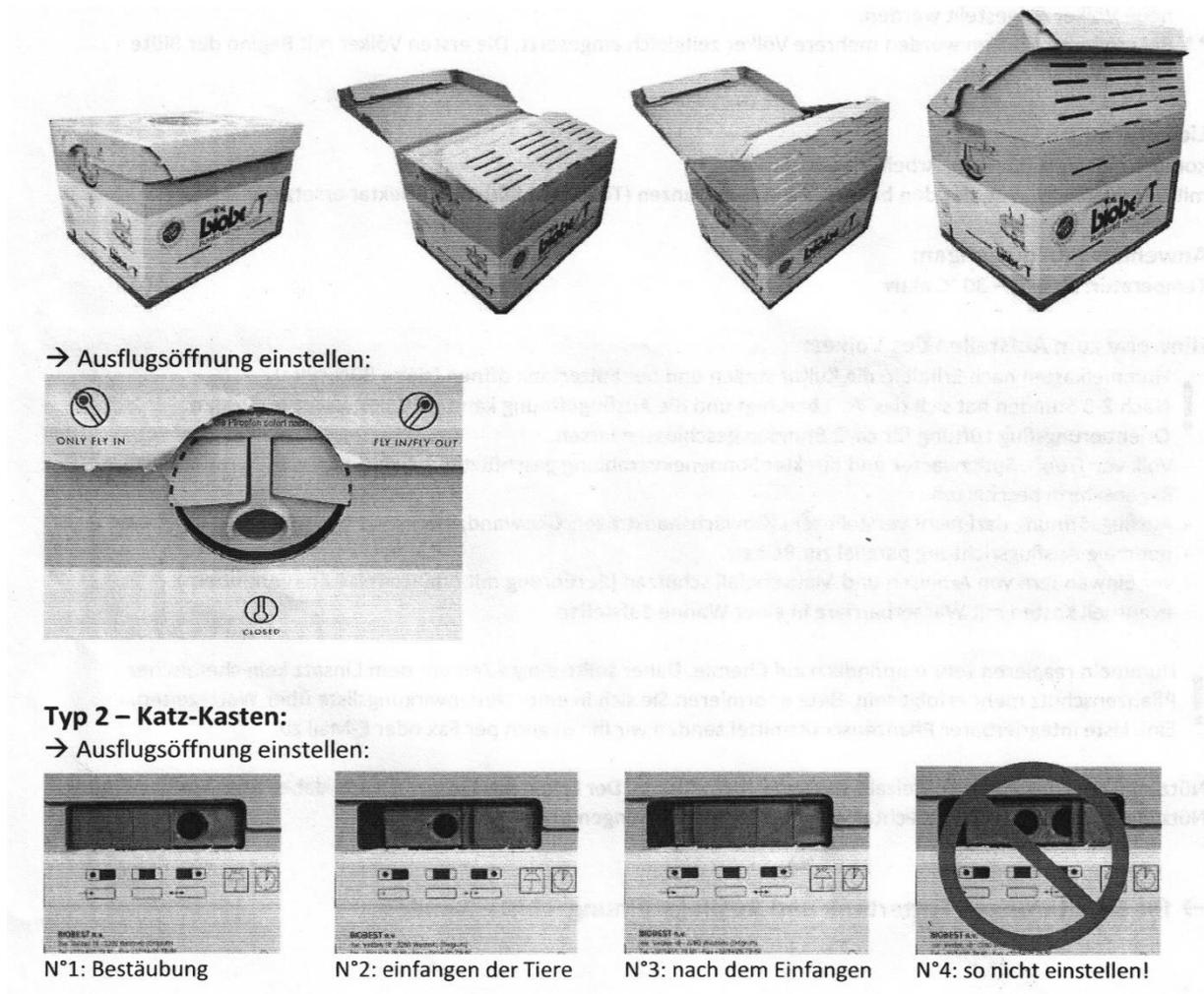
In geschlossenen Systemen und auch im geschützten Erwerbsanbau von Erdbeeren werden für einen zufriedenstellenden Fruchtansatz „Dunkle Erdhummeln“ (*Bombus terrestris*) zur Bestäubung eingesetzt (siehe Abb. 16). *Bombus terrestris* zählt zu den größten und am weitesten verbreiteten Hummelarten auf dem europäischen Kontinent. Diese Hummelart hat einen schwarzen Körper und zeichnet sich durch zwei gelbe Querbänder sowie eine weiße Hinterleibsspitze aus (BELLMANN 2005). Zu Beginn des Frühjahrs besteht das Volk aus ca. 50 Hummeln, die Größe wächst dann im Laufe des Jahres auf 500 Tiere an. *Bombus terrestris* hat sich als die bevorzugte Befruchtungshilfe im Erdbeerertragsanbau durchgesetzt, weil diese Hummeln ihre Flügel von der Flugmuskulatur abkoppeln können. Mit diesem Mechanismus erhöhen sie ihre Körpertemperatur, sie produzieren mit den Muskeln Wärme, ohne die Flügel zu nutzen (BBC 2005). Aus diesem Grund sind sie auch bei niedrigeren Temperaturen flugfähig und können so Blüten bestäuben, wenn andere Insekten aufgrund der Kälte dazu nicht in der Lage sind.



**Abb. 16:** Hummel aus der Zucht von Katz Biotech auf einer Erdbeerblüte im Gewächshaus (Foto Lisa Meinhardt)

Wenn sich die ersten Blüten zu öffnen beginnen, ist der richtige Zeitpunkt gekommen, ein Hummelvolk an die Erdbeerkulturen zu stellen. Die Hummelvölker werden von verschiedenen Lieferanten als komplettes Volk (Königin, Arbeiterin, Brut) in einem Hummelkasten mit Nährlösungsvorrat geliefert. Die Tiere sind bei Temperaturen von 6 bis 30 °C aktiv. Die Hummelkästen werden mit herkömmlichen Paketdiensten nach Bestellung versendet und meist innerhalb von 24 Stunden geliefert. Nach Erhalt ist der Hummelkasten zunächst an seinen endgültigen Standplatz in der Kultur zu transportieren und sollte dort einige Stunden ruhig stehen, damit sich die Tiere von den Strapazen der Fahrt erholen. Der Futtertank, der während der Fahrt geschlossen ist, um einen Flüssigkeitsverlust zu vermeiden, ist zu öffnen, sobald der Hummelkasten nicht mehr bewegt wird (KATZ BIOTECH AG 2018).

Nach zwei bis drei Stunden, wenn das Volk zur Ruhe gekommen ist, kann die Ausflugsöffnung geöffnet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass Lüftungen und Türen zunächst möglichst geschlossen bleiben, damit die Tiere den sogenannten Orientierungsflug durchführen können. Der Hummelkasten sollte an einem trockenen Ort und vor Sonnenlicht geschützt aufgestellt werden. Die Ausflugsöffnung der Hummelkiste darf zu keiner Zeit versperrt sein, die optimale Ausflugsrichtung für die Hummeln ist parallel zur Erdbeerreihe.



**Abb. 17:** Anwendungshinweise zur Aufstellung des Katz-Hummel-Kastens

Quelle: Katz Biotech AG 2018

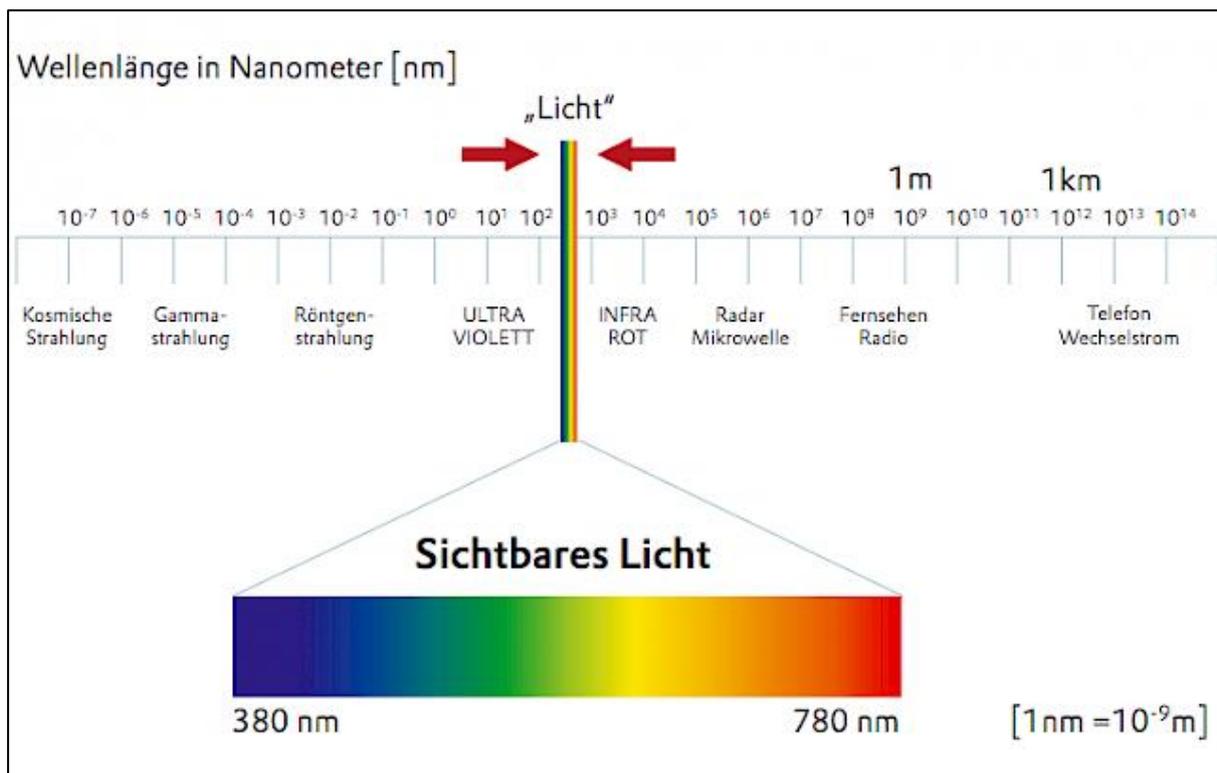
Das Hummelvolk muss in seinem Kasten vor dem Einwandern von Ameisen und Mäusebefall geschützt werden. Zu diesem Zweck kann der Kasten mit einer Wasserbarriere um das Volk herum in einer Wanne aufgestellt werden; die Berührung von Pflanzenblättern mit der Kiste ist zu vermeiden. Bei der Anwendung von chemischem Pflanzenschutz müssen einige Sicherheitsvorkehrungen zum Schutz der Tiere beachtet werden. Die Wartezeiten der angewendeten Mittel sind unbedingt einzuhalten, bevor die Tiere zum Einsatz kommen. Müssen während des Einsatzes der Tiere Pflanzenschutzanwendungen durchgeführt werden, ist der Hummelkasten nach Sonnenuntergang zu schließen. Mit einsetzender Dunkelheit findet das Volk sich in seinem Hummelkasten ein und verbringt dort die Nacht. Mit geöffnetem Futtertank können die Tiere dort auch einige Tage verbleiben, sollte ein Pflanzenschutzmittel angewendet werden, das für die Hummeln schädlich ist.

Der Zeitraum der Erdbeerblüte ist nicht sehr lang, die angelieferte Anzahl der Tiere muss so kalkuliert werden, dass sie zur Bestäubung ausreichend ist. Das Volk vermehrt sich in den folgenden Wochen, wird dann aber im Ertragsanbau meist nicht mehr benötigt. Die Hummelkästen werden in Betriebe mit anderen Kulturen, zum Beispiel zu Obstanlagen, gebracht oder an einem geschützten Platz an Heckenstreifen oder Waldrändern aufgestellt und die verlassenen Kästen im Herbst eingesammelt (KATZ BIOTECH AG 2018).

## 2.2 Wirkung und technische Anwendung der UV-C-Strahlung

### 2.2.1 Begriffsbestimmung UV-Strahlung

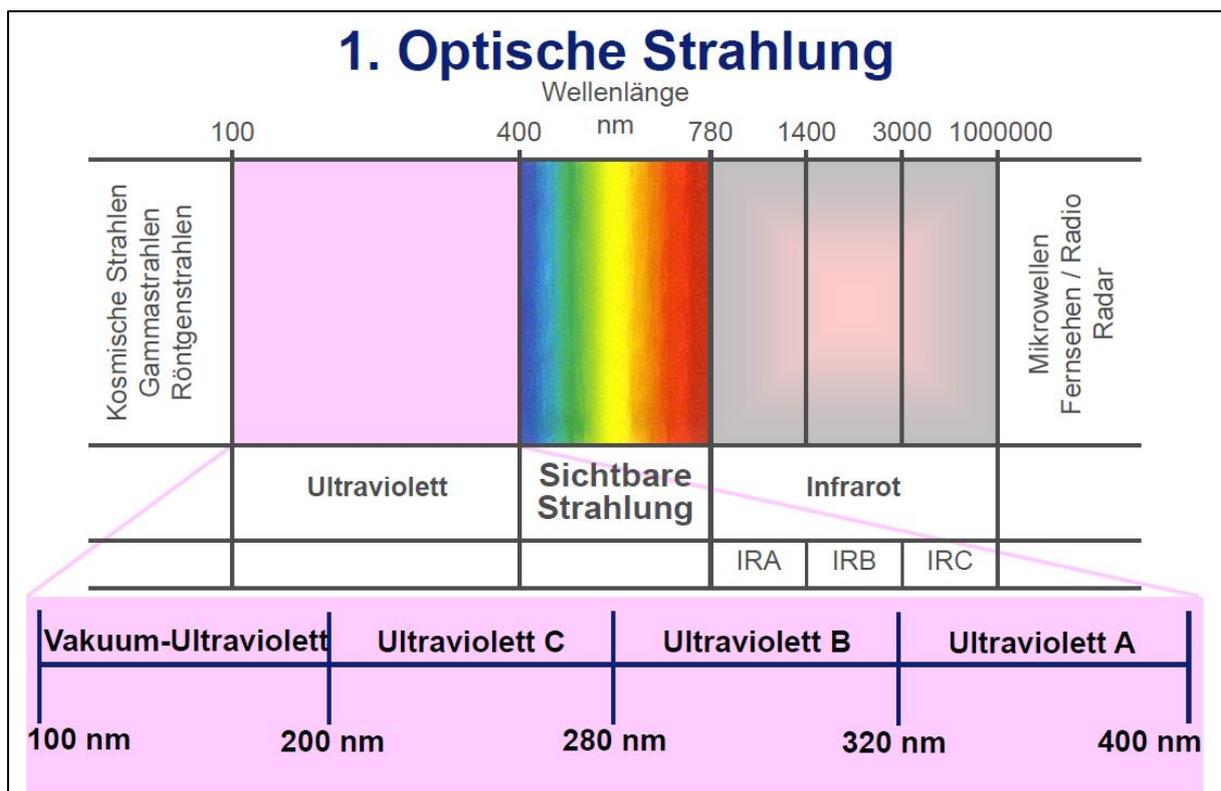
Elektromagnetische Strahlung tritt in unterschiedlicher Wellenlänge auf. Sie wird in unterschiedliche Frequenzbereiche aufgeteilt: Radiofrequenzen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, den Spektralbereich der ultravioletten Strahlung (UV-Strahlung) sowie Röntgen- und Gammastrahlung (Abb. 18). Die Energie der Strahlung steigt mit zunehmender Frequenz (HAKEN UND WOLF 1997).



**Abb. 18:** Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung von den Radiofrequenzen bis zu den Gammastrahlen in Einheiten der Frequenz und der Wellenlänge

Quelle: BARTENBACH et al. 2018

Diese Strahlungsbereiche sind zum großen Teil mit den menschlichen Sinnen nicht zu erfassen. In Abbildung 18 ist der Bereich aufgeführt, der für das menschliche Auge sichtbar ist. Der Mensch kann nur die Strahlungsenergie wahrnehmen, die er zum Beispiel als Licht oder Wärme sehen und oder fühlen kann. Die UV-Strahlung ist eine kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die für das menschliche Auge nicht mehr zu erkennen ist. Entdeckt wurde sie 1801 von dem Physiker Johann Wilhelm Ritter. Da der Mensch kurzwellige Strahlung als violette Licht empfindet, wird die Bezeichnung „ultraviolett“ im Sinne von „jenseits von Violett“ genutzt (STERILAIR 2018).



**Abb. 19:** Wellenlänge der optischen Strahlung

Quelle: JÜSTEL 2017

Abbildung 19 zeigt das Spektrum der optischen Strahlung sowie die verschiedenen UV-Strahlungen nach ihrer unterschiedlichen Energiedichte; es wird in UV-A-, UV-B- und UV-C-Strahlung unterteilt. Optische Strahlung wird in Nanometer (nm) angegeben ( $1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ). Diese Einheit gibt die Wellenlänge der optischen Strahlung an, die 100 nm bis 1 mm beträgt. Das Wellenlängenspektrum der UV-Strahlen umfasst 100 nm bis 400 nm. Optische Strahlung unterhalb einer Wellenlänge von 180 nm kann nur im Vakuum nachgewiesen werden, da die Luft diese kurzen Wellen annähernd vollständig absorbiert. Die auf eine Flächeneinheit auftreffende Strahlungsleistung, die

Bestrahlungsstärke ( $E$ ), wird in  $W \cdot m^{-2}$  angegeben. Die Bestrahlungsdosis ( $H$ ) in  $W \cdot s \cdot m^{-2}$  oder  $J \cdot m^{-2}$  ist das Produkt aus Bestrahlungsstärke und Einwirkungsdauer (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019).

Als UV-A-Strahlung wird die elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 320 bis 400 nm bezeichnet. Das Tageslicht auf der Erde besteht zu ca. 95 % aus diesem langwelligen Teil der UV-Strahlung. Die langwelligen UV-A-Strahlen sind für den Kurzzeiteffekt der Sonnenbräune auf der menschlichen Haut verantwortlich und können vorzeitige Hautalterung und Hautkrebs verursachen (JÜSTEL 2017).

Elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 280 bis 325 nm wird UV-B-Strahlung genannt. Sie macht ca. 5 % der Tageslicht-UV-Strahlung aus. Dieses mittelwellige Strahlungsspektrum des UV-Bereichs bewirkt den Langzeiteffekt der Bräunung auf der menschlichen Haut nach zwei bis drei Tagen. Eine übermäßige Dosis für den Menschen bewirkt Hautrötung und Sonnenbrand. UV-B-Strahlung ist für die Prävitamin-D3-Bildung in der Haut des menschlichen Körpers verantwortlich. Das von der Haut gebildete Vitamin D3 wirkt unter anderem positiv auf die Regulation der Immunfunktionen des Blutdrucks und der Insulinproduktion (JÜSTEL 2017).

Die kurzwelligen UV-C-Strahlen sind der energiereichste Bereich der UV-Strahlung. Es handelt sich bei ihr um elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von 100 bis 280 nm (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019). UV-C-Strahlen kommen auf der Erde nicht natürlich vor, von der Sonne ausgehende UV-C-Strahlung kann die Ozonschicht der Erde nicht durchdringen. Eine Strahlung in diesem Wellenlängenbereich kann auf der Erde nur technisch erzeugt werden. UV-C-Strahlung durchdringt keine festen Materialien, gewöhnliches Fensterglas oder transparente Kunststoffe sind zum Schutz vor UV-C-Strahlung ausreichend. Die Materialien Glas und transparente Kunststoffe sind durchlässig gegenüber UV-A-Strahlung, UV-B-Strahlung kann normales Fensterglas bereits nicht mehr durchdringen (STERILAIR 2018). Aufgrund der Fotoenergien von UV-C-Strahlung kann es je nach Dosis in der DNS von Lebewesen zu Strangbrüchen kommen. Technisch erzeugte UV-C-Strahlung eignet sich daher zur Abtötung von Bakterien, Entkeimung und Sterilisation von Oberflächen (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019).

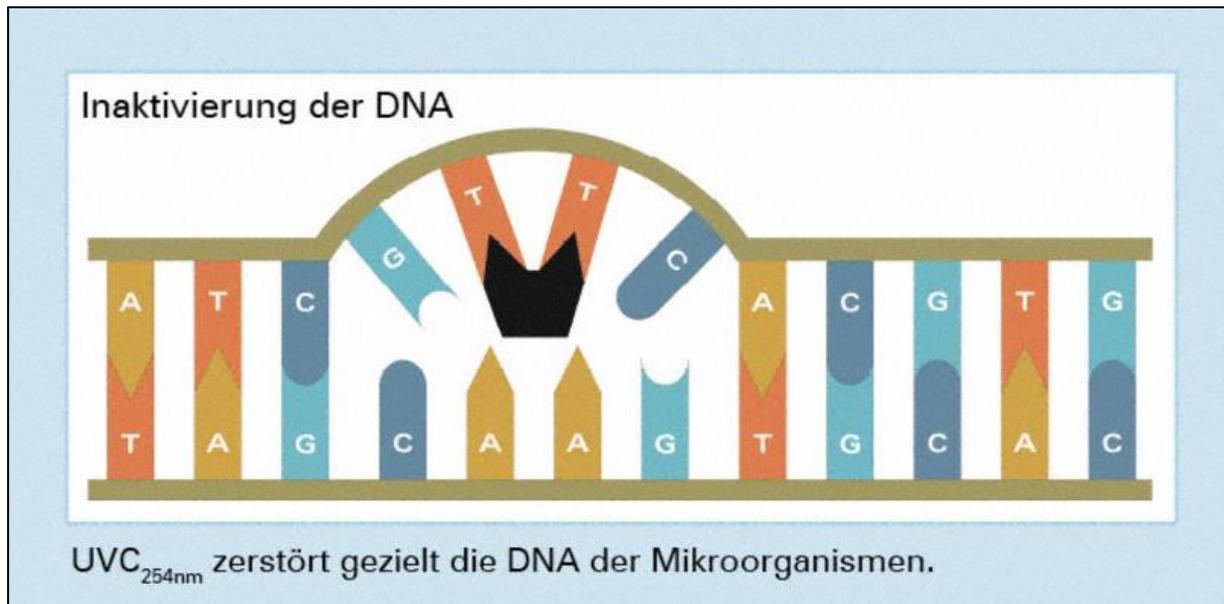
## 2.2.2 Wirkung von UV-C-Strahlung auf Organismen

Das Bunsen-Roscoe-Gesetz beschreibt die Wirkung der UV-Strahlung auf den menschlichen Körper. Ihm zufolge ist die Strahlendosis, die auf einen Menschen einwirkt, das Produkt aus Bestrahlungsstärke und Bestrahlungszeit. Dies bedeutet, dass bei einer Verdoppelung der Strahlungsenergie die halbe Zeit ausreicht, um die halbe Dosis zu applizieren. Der von der EU in der EU Directive 2006-25-EG festgelegte Grenzwert für UV-C-Strahlung mit  $6 \text{ mJ/cm}^2$  bzw.  $60 \text{ J/m}^2$  täglicher Bestrahlungsdosis (bei 254 nm) darf in Kontakt mit Menschen oder Tieren nicht überschritten werden. Die Eindringtiefe der UV-C-Strahlung in die Haut ist gegenüber der von UV-A- oder UV-B-Strahlung nur sehr gering. UV-C-Strahlen sind für tierische und menschliche Hautzellen bei geringer Bestrahlungsdosis nicht gefährlich, da die Haut über eine Hornschicht mit abgestorbenen, kernlosen Zellen verfügt, welche die kurzwellige UV-C-Strahlung in starkem Maße absorbiert (STERILAIR 2018). In höheren Dosen kann die Strahlung an der Haut und am Auge Schäden verursachen. Es besteht im Auge die Gefahr einer Entzündung der Hornhaut und der Bindehaut (Photokeratitis). Die Haut kann durch eine zu hohe UV-C-Strahlungsdosis unter einem UV-Erythem leiden, einer Entzündungsreaktion mit Hautrötungen. Eine einfache Schutzbrille und Schutzhandschuhe reichen als Schutz aus (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019).

Eine weitere Gesundheitsgefährdung für den Menschen geht von UV-C-Strahlung durch die Bildung von Ozon ( $\text{O}_3$ ) aus. Ozon ist ein stark reaktives Molekül, das mit allen biologischen Systemen reagieren kann. Es ist ein anorganisches, stark explosives Gas, das ausschließlich über die Schleimhäute des Atemtrakts und der Augen aufgenommen wird. Eine erhöhte Ozonaufnahme kann zu einer Reizung der Schleimhäute, einer Störung der Leistungsfähigkeit und zu Lungenschädigungen sowie Kopfschmerzen und Schwindelgefühl führen (IFA 2019). Bei der technischen Erzeugung von UV-C-Strahlung kommt es auch zur Bildung von Strahlung im Wellenbereich von 185 nm. Diese Strahlung ist sehr energiereich, sie bewirkt die Spaltung eines Sauerstoffmoleküls in zwei Atome. Die beiden einzelnen Atome vereinigen sich jeweils mit einem weiteren Sauerstoffmolekül ( $\text{O} + \text{O}_2$ ) zu Ozon ( $\text{O}_3$ ). Bei der technischen Erzeugung von UV-C-Strahlung werden daher immer auch kleine Mengen von Ozon gebildet. Ein gut belüfteter Raum ist ausreichend zum Schutz des Anwenders (CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007).

Künstliche UV-C-Strahlung ist bei ausreichender Achtsamkeit für den Menschen nicht schädlich, auf Mikroorganismen hat sie jedoch eine tödliche Wirkung. Die Forscher

Arthur Downes und Thomas P. Blunt entdeckten im Jahr 1878, dass starke Sonnenbestrahlung die Vermehrung von Mikroorganismen aufhalten kann (DOWNES und BLUNT 1878/79). Zu diesem Zeitpunkt gab es noch keine schlüssige Erklärung dafür. James Watson und Francis Crick konnten in den 1950er-Jahren den strukturellen Aufbau der DNS (Desoxyribonukleinsäure) als Doppelhelix nachweisen. Dies ermöglichte das Verständnis für den Zusammenhang der UV-Strahlung und der bakteriziden Wirkung (WATSON und CRICK 1953).



**Abb. 20:** Inaktivierung der DNA durch UV-C-Strahlung

Quelle: Sterilair 2018

Die kurzwellige und energiereiche UV-C-Strahlung, die im natürlichen Sonnenlicht auf der Erde nicht vorkommt, hat eine stark schädigende Wirkung auf das Thymin in der DNS. Die Strahlungseinwirkung impliziert einen fotochemischen Prozess, bei dem in der Nukleinsäure eine Dimerisierung der Thymin-Bausteine angeregt wird. Dimerisierung bedeutet, dass zwei benachbarte Informationsträger der Doppelhelix-Struktur verkleben. Abbildung 20 macht deutlich, welche Teile der DNA dabei zerstört werden; die beschädigten Teile sind schwarz dargestellt. Die Zelle wird dadurch so geschädigt, dass eine Replikation nicht mehr möglich ist. Diese Schädigung kann sowohl bei Mikroorganismen als auch bei pflanzlichen und tierischen Zellen auftreten. UV-C-Strahlung wird wie oben beschrieben bei Menschen und Tieren durch die Hornhaut bereits absorbiert. Aus diesem Grund findet eine Zellschädigung von lebenden Zellen meist nicht statt. Ein in seiner Struktur einfach aufgebauter Mikroorganismus wie Viren oder Bakterien, sogenannte prokaryotische Zellen, sind durch kurzwellige UV-C-Strahlung

leicht zu zerstören. Hefen und Pilzzellen, die zu den eukaryotischen Zellen zählen, sowie durch eine pigmentierte Zellwand und Zytoplasma geschützte Pilzsporen sind wesentlich schwerer zu zerstören (LUNG 2018). Zusammengefasst lässt sich zur Wirkung von UV-C-Strahlung auf Organismen daraus ableiten, dass sie in erhöhter Dosis grundsätzlich zum Absterben von menschlichen, tierischen und pflanzlichen Zellen sowie von Mikroorganismen führt. Vor einer Anwendung der UV-C-Strahlung muss aus diesem Grund die letale Dosis für den entsprechenden Zelltyp bekannt sein, wenn dieser nicht zerstört werden soll.

### 2.2.3 Technische Erzeugung von UV-C-Strahlen

Die technische Erzeugung einer UV-Strahlenquelle kann auf verschiedene Weise erfolgen. Tabelle 1 listet künstliche UV-Strahlenquellen nach Art der Strahlungserzeugung auf. Es gibt die Möglichkeit, UV-Strahlung durch thermische Anregung von Atomen und Molekülen in Feststoffen zu erzeugen; ein Beispiel hierfür ist die Halogenglühlampe. Des Weiteren kann UV-Strahlung durch Feststoffe unter Zuführung großer Energiemengen erzeugt werden, wie zum Beispiel beim Lichtbogenschweißen. Eine weitere Möglichkeit ist eine Elektronenstoßreaktion in Gasen oder Dämpfen (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019).

**Tab. 1:** Beispiele künstlicher UV-Strahlenquellen nach Art der Strahlungserzeugung  
Quelle: Fachverband für Strahlenschutz 2019

<b>Strahlenquelle</b>	<b>Anregung</b>
Halogenglühlampe	thermisch
HG-Niederdruck, Edelgasentladung	elektrisch
HG-Hochdruck, Metallhalogenid, Kohlenbogen, Lichtbogenschweißen, Plasmabrenner, Xenonlampe	thermisch und elektrisch
Leuchtstofflampe	elektrisch, Lumineszenz
LED im UV-Bereich	elektrisch

Die technische Erzeugung von UV-C-Strahlung setzt einige spezielle technische Anforderungen voraus. Die Strahlerröhre muss aus Quarzglas sein, was die Anschaffung kostspielig macht. Die häufigste Methode zur Produktion von UV-C-Strahlung ist die Quecksilberdampfentladung. Dabei wird flüssiges Quecksilber (HG) in einem

Reaktionsraum verdampft. Der Reaktionsraum befindet sich in eine Quarzröhre, in der eine Anode und eine Kathode eingebaut sind, um eine Spannung zu erzeugen. Der Reaktionsraum muss mit Edelgas gefüllt sein, erforderlich ist zudem eine Wärmezufuhr (STERILAIR 2018). Als Edelgas wird meist Argon (Ar) verwendet, da es äußerst reaktionsträge ist. Die Quecksilberatome werden durch die Energiezufuhr angeregt; fallen sie dann auf ihr stabiles Energieniveau zurück, geben sie die Energie als UV-C-Strahlung nach außen wieder ab. Quarzglas ist notwendig, da die UV-C-Strahlung von anderen Materialien wie Kunststoff und Fensterglas fast vollständig absorbiert wird. Je nach Fertigung kann die Quecksilberdampfampe unterschiedliche Strahlungsniveaus emittieren. Das Spektrum der Wellenlängen lässt sich durch die Art des Drucks in den Quecksilberstrahlern einstellen. Quecksilberstrahler werden in Niederdruck- und Mitteldruckstrahler unterschieden. Wie Tabelle 2 zeigt, unterscheiden sie sich zunächst in der unterschiedlichen Höhe des Drucks, der im Strahler herrscht (CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007).

**Tab. 2:** Übersicht über UV-C-Strahler-Arten

Quelle: Verändert nach CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007

Bezeichnung	Druck in mbar	Temperatur in °C	Wellenlänge in nm	Emissionsleistung in W/cm
Quecksilber-Niederdruckstrahler	0,01	50	254	0,1
Hochleistungs-Niederdruckstrahler	0,01	90	254	0,3–0,5
Quecksilber-Mitteldruckstrahler	1.000	900	200–300	5–10

Des Weiteren weichen sie in Druck und Temperatur voneinander ab. Die Entscheidung für eine Strahler-Art zu einem bestimmten Zweck richtet sich nach der benötigten Wellenlänge und den geforderten Gegebenheiten. Bei der Bestrahlung von Pflanzen ist es zum Beispiel von Vorteil, wenn keine zu hohen Temperaturen herrschen, um die Pflanze nicht thermisch zu schädigen. Zur Messung der UV-C-Strahlung wird ein Radiometer benötigt. In ihm wandeln Fotodioden die eintreffende Strahlung proportional in ein elektrisches Signal um. Die gemessene Bestrahlungsstärke  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  wird angezeigt (STERILAIR 2018).

## 2.2.4 UV-C-Geräte in der Anwendung

Für alle Anwendungsbereiche der UV-C-Strahlung ist die Radiometrie, die Messung von elektromagnetischer Strahlung mit einem Messgerät, dem Radiometer, maßgebend. Ein Radiometer besteht aus Fotodioden, welche die ankommende Strahlung in ein elektrisches Signal umwandeln können. Radiometer werden für bestimmte Messspektren gebaut; für UV-C-Strahlung liegt dieses Spektrum bei 240 bis 260 nm. Die gemessene Intensität wird in der Maßeinheit  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  angezeigt. Die Bestrahlungsdosis ergibt sich aus dem Produkt von Bestrahlungsstärke und Bestrahlungszeit (STERILAIR 2018).

### 2.2.4.1 Industrielle Anwendungsbereiche

Der Fachverband für Strahlenschutz berichtet, dass der Einsatz von ultravioletter Strahlung (UV-Strahlung) in der Industrie in den letzten Jahren ständig zugenommen hat. Der Spektralbereich der UV-C-Strahlung wird im industriellen Bereich zur Desinfektion von Luft, Wasser und Flächen eingesetzt (FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ 2019).

Wie bereits ausgeführt, entsteht bei der Erzeugung von UV-C-Strahlung über Quecksilberstrahler unter Einfluss von kurzweiliger Strahlung Ozon. Im Bereich der Aufbereitung von Trinkwasser, Prozesswasser, Luft und festen Medien verschiedenster Nutzungsarten wird das so erzeugte Ozon aufgrund seiner Reaktivität zur Desinfektion eingesetzt (LUNG 2018). In Tabelle 3 sind verschiedene Industriezweige und die damit im Zusammenhang stehenden Medien und Anwendungsbereiche ausgeführt.

**Tab. 3:** Verschiedene Anwendungsbereiche der UV-C-Strahlung

Quelle: LUNG 2018

Industriezweig	Medium	Anwendungsbereich
Brauereien, Hotels, Getränkehersteller	Trinkwasser	Entkeimung von flüssigen Medien zur Lebensmittelsicherheit
Kommunen, öffentliche Wasserversorgung	Trinkwasser	Trinkwasseraufbereitung, Tiefbrunnenentnahme
Aquakulturen, Schwimmbäder	Trinkwasser	Algenbekämpfung von Fischteichen, Desinfektion

Abwasserentkeimung in Kläranlagen	Abwasser	Aufbereitung von Abwasser
Laboratorien, Forschungseinrichtungen, Behörden, Krankenhäuser und pharmazeutische Industrie	Kühlwasser, Prozesswasser, Trinkwasser	Aufbereitung von Wasser zur anschließenden Ableitung in die Umwelt
Laboratorien, Forschungseinrichtungen, Krankenhäuser und pharmazeutische Industrie, Produktions- und Lagerbereiche in der Lebensmittelindustrie, Müllsortieranlagen	Luft	Luft- und Raumentkeimung, Beseitigung von starken Gerüchen
Krankenhäuser-Sterilräume, Sterilbänke	Luft	Luft- und Raumentkeimung
Produktschleusen in der Medizintechnik und in der Medizin- und Lebensmittelindustrie	Lebensmittelabpackung, Packstoffe vor Befüllung (z. B. Joghurtbecher, sämtliche abfüllbaren Behältnisse in der Medizintechnik und Lebensmittelindustrie)	Entkeimung von Packstoffen vor Befüllung, Entkeimung von Behältern und Gebrauchsgegenständen

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass ein großer Teil der industriellen Anwendungen die Entkeimung flüssiger Medien betrifft. Für diesen Anwendungsbereich gibt es verschiedene Strahler, deren Bauart sich nach der Menge des zu sterilisierenden Wassers richtet. Die Menge und Verweildauer des Wassers unter den Strahlern muss zu einer sicheren Entkeimung genau angepasst werden und wird daher mit UV-Sensoren und Magnetventilen gesteuert. Für die Entkeimung von Trinkwasser muss eine Bestrahlung von 400 Joule pro m<sup>2</sup> eingehalten werden, um die Keimzahl um 99,99 % zu reduzieren. Die Bestrahlungsstärke soll für diesen Effekt im Bereich 240 bis 290 nm liegen (CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007). In Abbildung 21 ist ein System zur Trinkwasseraufbereitung zu sehen. Das strömende Trinkwasser wird über 2.500 UV-C-Strahler geleitet.



**Abb. 21:** System zur Trinkwasseraufbereitung in Manukau, Neuseeland, Wasserfluss: 50.400 m<sup>3</sup>/h, UV-Leistung: mind. ~320 kW, Anzahl UV-Strahler: ~2.500

Quelle: JÜSTEL 2017

Die Entkeimung von Luft für die in Tabelle 3 aufgeführten Anwendungen muss zwangsläufig mit ozonfreien UV-C-Systemen erfolgen. Da es sich um Atemluft handelt, darf die maximale Arbeitsplatzkonzentration, der sogenannte MAK-Wert für Ozon von 0,1 ppm, nicht überschritten werden. Bei der Luft-Entkeimung mit UV-C-Strahlung kann mit Blick auf Bakterien und Viren eine maximale Abtötungsrate von 99,99 % erreicht werden (CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007).

Bakterien/Pilze	Organismen Gruppe	Bakterienarten der Gruppe
	Vegetative Bakterien	<i>Staphylococcus aureus</i>
		<i>Streptococcus progenis</i>
		<i>Escherichia coli</i>
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
		<i>Serratia marcescens</i>
	Mycobacteria	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
		<i>Mycobacterium bovis</i>
		<i>Mycobacterium leprae</i>
	Bakterien Sporen	<i>Bacillus anthracis</i>
		<i>Bacillus cereus</i>
		<i>Bacillus subtilis</i>
	Pilz-Sporen	<i>Aspergillus versicolor</i>
		<i>Penicillium chrysogenum</i>
		<i>Strachybotrys chartarum</i>
	Weniger empfindlich	

**Abb. 22:** Empfindlichkeit verschiedener Mikroorganismen gegenüber UV-C-Bestrahlung  
Quelle: LUNG 2018

Abbildung 22 zeigt, welche Arten von Mikroorganismen empfindlich und welche weniger empfindlich auf UV-C-Strahlung reagieren. Pilzsporen und Bakteriensporen sind weniger empfindlich als Mycobacteria und vegetative Bakterien. Luftfiltersysteme mit UV-C-Technologie können keine Reinraumbedingungen schaffen, sind aber anders als viele herkömmliche Filter auch Viren-inaktivierend. Maßgeblich für ein gutes Entkeimungsergebnis ist, dass die Dimensionen der UV-C-Strahler mit der vorüberströmenden Luft zusammenpassen (CARBONIT-FILTERTECHNIK 2007).

Die Wirkweise der UV-C-Entkeimung bei Packstoffen und Gebrauchsgegenständen sowie Produktionsmaschinen wird in der Industrie besonders in den Bereichen der Lebensmittelindustrie angewendet. UV-C-Entkeimungsanlagen werden zum Beispiel zur Oberflächendesinfektion in fleischverarbeitenden Betrieben verwendet. Des Weiteren dient die Technik auch zur Entkeimung von Joghurtbechern und Siegelfolien oder in der Medizinindustrie. Der Vorteil liegt in der natürlichen Entkeimung ohne chemische Zusätze und ohne Produktrückstände. Mit der Weiterentwicklung dieser Technik zu

sparsameren und günstigeren UV-C-Strahlern werden die Anwendungsgebiete noch vielfältiger werden. In Hygienebereichen jeder Art und in Haushalten wären weitere Anwendungen denkbar.

#### 2.2.4.2 Weinbau

Der notwendige intensive Fungizideinsatz im Weinbau begründet zahlreiche Forschungsarbeiten, die nach Alternativen zu herkömmlichen chemischen Mitteln suchen. Die Probleme, die ein hoher Pflanzenschutzmitteleinsatz mit sich bringt, sind vor allem Rückstände im fertigen Produkt, Resistenzbildungen und Rückstände in der Umwelt der Weinberge. In Forschungsarbeiten an der Hochschule Geisenheim wurde UV-C-Strahlung gegen die wirtschaftlich bedeutendsten Rebkrankheiten, bei denen Fungizide in großen Mengen angewandt werden, eingesetzt (BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER 2013). In Laborversuchen wurde die Wirksamkeit der UV-C-Strahlung gegen die Rebkrankheiten Falscher Mehltau (*Plasmopara viticola*) und Echter Mehltau (*Erysiphe necator*) sowie Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*) und Schwarzfäule (*Guignardia bidwellii*) an Trauben untersucht. Das Geisenheimer Forscherteam sieht in der Behandlung mit UV-C-Strahlung in den Weinbergen die Möglichkeit, im kritischen Zeitraum zwischen der letzten möglichen Pflanzenschutzbehandlung und dem Lesetermin die Trauben möglichst gesund zu halten. Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist aufgrund der gesetzlichen Wartezeiten und möglicher Rückstände kurz vor der Ernte nicht mehr möglich. Die Laborversuche zu den Dosis-Wirkungs-Relationen mit den oben genannten Erregern wurden durchgeführt, um eine Grundlage für den Bau eines UV-C-Bestrahlungsgerätes zu schaffen, mit dem Weinreben im Gewächshaus bestrahlt werden können.

Dabei zeigte sich zum Beispiel an den Konidien von *Botrytis* bei der UV-C-Bestrahlung mit  $\leq 80 \text{ mJ/cm}^2$  eine Absterberate von etwa 50 %, während die bestrahlten, aber noch lebenden Konidien zunächst nicht in der Lage waren, einen Keimschlauch zu bilden. Es lag hier eine Entwicklungsverzögerung, aber keine letale Schädigung des Pilzes vor. Die Bestrahlung eines bereits angewachsenen Pilzgeflechts zeigte bei den Laborversuchen, dass der Pilzfaden von *Botrytis cinerea* nicht letal zu schädigen war, sondern lediglich eine Entwicklungsverzögerung erreicht werden konnte (BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER 2013). Im Gewächshaus wurden mit den so ermittelten Bestrahlungsdosen infizierte Topfreben bestrahlt. Die Untersuchung von BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER (2013) ergab, dass im UV-C-Strahlen-Dosierbereich zwischen

80 und 160 mJ/cm<sup>2</sup> eine gute Schnittmenge zwischen der biologischen Wirksamkeit gegen die Erreger und einer möglichst geringen Schädigung der Pflanze liegt. Es konnte auch ermittelt werden, dass verschiedene Pflanzenteile unterschiedlich empfindlich auf die Bestrahlung reagieren. Junge Weinblätter, die sich gerade entfaltet hatten, waren empfindlicher gegenüber stärkerer UV-C-Strahlung. Die älteren Blätter der Weinrebe wiesen erst bei starker Überdosierung von mehr als 640 mJ/cm<sup>2</sup> Schädigungen auf.

Bei dem Prototyp für den Weinbau, der in Geisenheim für den Einsatz in der Praxis entwickelt wurde, sind die UV-C-Strahler senkrecht montiert. Das Gerät wird mit einem Schmalspurtraktor zwischen den Reben hindurchgefahren, ein Gebläse sorgt für die Verwirbelung der Blätter, um Abschattungen zu verhindern. Bei den Versuchen im Freiland von BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER (2013) mit einer maximalen Bestrahlungsdosis von 160 mJ/cm<sup>2</sup> ergaben sich keine Hinweise auf Nebenwirkungen an den Reben oder beim Inhaltsstoffspektrum der Trauben. Das Ergebnis des Versuchs zeigt für *Plasmopara viticola*, dass der Befall der Trauben durch die UV-C-Behandlung reduziert werden konnte. Allerdings ist laut BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER (2013) mit dem aktuellen Stand der Technik und des Gerätes die UV-C-Bestrahlung von Reben kein vollwertiger Ersatz für eine Fungizidbehandlung mit chemischem Pflanzenschutz, dafür reicht die Reduktion der Befallstärke nicht aus. Es sind weitere technische Verbesserungen notwendig, um das Gerät praxistauglich anwenden zu können.

#### **2.2.4.3 Sportrasenpflege**

Im Bereich der Sportrasenpflege wird UV-C-Strahlung in ersten Praxisversuchen gegen Schadpilze eingesetzt. Sportrasen ist einer sehr hohen Belastung ausgesetzt und besonders bei Staunässe und mechanischer Verletzung sehr empfindlich. Bei den notwendigen Pflegemaßnahmen und der Nutzung des Sportrasens werden die Gräser geschwächt und haben dadurch eine erhöhte Anfälligkeit für Pilzinfektionen. Angesichts des direkten Kontakts der Sportler mit dem Rasen wird in der Sportrasenpflege der Einsatz von chemischem Pflanzenschutz sehr kritisch gesehen. Beim aktuellen Stand der Technik stehen zur Abwehr von Schadpilzen keine physikalischen und biotechnischen Maßnahmen zur Verfügung. Die aktuell zugelassenen Fungizide zur Anwendung auf Sportrasenflächen verlieren zum Teil ihre Zulassung und sind teilweise aufgrund von Resistenzbildungen nicht mehr wirksam. Dieses Problem trifft nach LUNG

in besonderem Maße auf Deutschland zu. Die Hersteller scheuen die hohen Kosten der langen Zulassungsverfahren. Aufgrund der Anwendung auf Flächen, die für die Allgemeinheit bestimmt sind, fallen in Deutschland hierfür hohe Kosten an. In anderen Ländern bestehen diese Probleme laut LUNG nicht oder nur eingeschränkt. Die Praktiker in der Sportrasenpflege setzen daher mit Blick auf eine Bekämpfung von Schadpilzen ohne chemische Stoffe berechnete Hoffnungen in die UV-C-Technik (LUNG 2018).

Ein Problem beim Einsatz der UV-C-Strahlung gegen Schadpilze in der Sportrasenpflege ist laut LUNG (2018), dass nur Schadorganismen, die direkt von dem UV-C-Licht getroffen werden, bekämpft werden können. Auf der Blattunterseite befindliche Schadpilze werden nicht erfasst. Das bedeutet, dass nur ektoparasitische Schaderreger, bei denen das Myzel auf der Blattoberfläche ausgebildet wird, mit UV-C-Bestrahlung bekämpft werden können. Befindet sich das Myzel im Pflanzengewebe, wie es bei endoparasitischen Schaderregern der Fall ist, kann der Erreger nicht direkt getroffen werden. Die UV-C-Strahlung dringt in einer für die Pflanze nicht letalen Dosis nicht bis in das Pflanzengewebe vor. Der Erreger muss bekämpft werden, solange er sich noch auf der Blattoberfläche befindet und bevor er ins Pflanzengewebe eindringt. Nach LUNG (2018) sind die endoparasitischen Schaderreger nur zu erreichen, wenn täglich bestrahlt wird.



**Abb. 23:** Rasenpflege durch UV-C-TurfCare-Lichtmodule in Kombination mit Toro Greensmaster 3250

Quelle: SCHMITT 2018

Es gibt einige Firmen, die im Bereich der Sportrasenpflege bereits Geräte entwickelt und im Einsatz haben. Die Firma UVC TurfCare GmbH hat ein UV-C-Modul gebaut, das bereits in der Praxis erprobt wird und in Abbildung 23 zu sehen ist. Laut LUNG (2018) und TURFCARE (2018) zeigen die ersten praktischen Versuche, dass die Wirksamkeit der UV-C-Strahler stark von der Temperatur abhängt. Der Hersteller gibt an, dass die Strahler in einem Temperaturbereich von 90 bis 110 °C arbeiten sollten, sonst sei die Strahlungsintensität zu gering. Nach LUNG konnten Erfolge bei der Bekämpfung erzielt werden, wenn die Sportrasenflächen täglich bestrahlt wurden.

Einen weiteren Fortschritt in der Schaderregerbekämpfung mit UV-C-Strahlung konnte die Firma UV-C TurfCare GmbH mit einem in der Schweiz entwickelten Lampentyp erzielen, der bei Temperaturen von 5 bis 30 °C seine optimale Leistung erbringt. Im Jahr 2016 konnte UV-C-TurfCare auf einem Golfplatz zufällig die Entdeckung machen, dass die Flächen, die in der Zeit von Mitte März bis Mitte April mit den neuen Lampen bestrahlt wurden, das ganze Jahr über kaum von Schadpilzen befallen wurden. Andere Flächen auf der Anlage, die zu einem anderen Zeitpunkt behandelt wurden, zeigten Befall mit Schadpilzen. LUNG folgert daraus, dass im Frühjahr eine induzierte Resistenz durch die Bestrahlung ausgelöst wurde. Im weiteren Verlauf wurde im Herbst des Jahres 2017 eine Rasenfläche bis zu viermal in der Woche bestrahlt. Auch in diesen Versuchen zeigte sich eine Reduktion von Schadpilzerregern.

LUNG sieht daher in der UV-C-Technik eine interessante Bekämpfungsstrategie gegen Schaderreger in der Sportrasenpflege. Die Forschung in diesem Bereich ist jedoch noch nicht so weit, dass alle aufkommenden Fragen geklärt und die wichtigsten Probleme gelöst werden konnten. Er sieht die UV-C-Bestrahlung in Kombination mit anderen täglichen Pflegemaßnahmen als sinnvoll an, um zusätzliche Überfahrten über die Anlagen zu vermeiden. Die Firma UV-C-TurfCare GmbH hat für diesen Zweck eine UV-C-Lampe in Kombination mit einer Bügeleinheit entwickelt; damit werden zwei Arbeitsgänge in einer Fahrt kombiniert. Es wird sich zeigen, welche Fortschritte die Technik in diesem Bereich machen wird (LUNG 2018).

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Technische Mittel zur Versuchsdurchführung**

##### **3.1.1 Verwendete Zugmaschine**

Als Zugmaschine wurde für alle Versuchsfahrten ein John-Deere-Traktor Modell 5055E ausgewählt. Im Jahr 2016 fanden die Versuche mit diesem Modell mit Fahrerkabine, in den Jahren 2017 und 2018 mit dem offenen Modell, ohne Fahrerkabine, statt. Der Traktor verfügt über eine Spurbreite von 2 m und eine schmale Bereifung mit einem Durchmesser von 290 mm. Der Motor ist ein 3-Zylinder-PowerTech M mit 2,9 l Hubraum, Turbolader und Ladeluftkühler (40,5 kW/55 PS). Zusätzlich verfügt das John-Deere-Modell über einen engen Wenderadius (3,6 m). Das Modell mit der offenen Fahrerplattform, das ab 2017 eingesetzt wurde, verfügt über einen umklappbaren Überrollbügel. Die Zugmaschine wurde zunächst aufgrund der passenden Spurbreite und des niedrigen Eigengewichts ausgewählt. Wenn die Maschine auf dem Feld weniger Gewicht hat, kommt es zu einer geringeren Verdichtung der Fahrspuren. Die kleine und kompakte Bauweise ermöglicht das unkomplizierte Drehen am Reihende, ohne dass ein großes Vorgewende notwendig ist. Die offene Bauweise ohne Fahrerkabine ist übersichtlich und die Anbaugeräte können vom Fahrer gut eingesehen werden.

Der John Deere 5055E verfügt in dieser Version über neun Vorwärts- und drei Rückwärtsgänge mit Kriechganguntersetzung und drei zusätzlichen Gängen für Geschwindigkeiten von 0,5 bis 3 km/h bei Nenndrehzahl. Das Modell ist mit einem Synchronschaltgetriebe und einer Zweischeibenkupplung ausgestattet. Der Schalthebel mit H-Schaltbild ermöglicht ein schnelles und einfaches Schalten vom zweiten in den Rückwärtsgang und umgekehrt. Es besteht die Möglichkeit, zwischen Allrad- oder Hinteradantrieb zu wählen; auf dem Feld wurde bei den Versuchsfahrten mit Allrad gefahren. Der Traktor verfügt über eine selbstnachstellende und selbstausgleichende hydraulische Scheibenbremse mit Ölkühlung. Eine solche Bremse ermöglicht ein schnelles und sicheres Bremsmanöver im Bedarfsfall. Das Tankvolumen des John Deere 5055E beträgt 68 Liter (JOHN DEERE 2012)

##### **3.1.2 Angewandte Messtechnik**

Die UV-C-Strahlung wurde bei allen Versuchen in dieser Arbeit mit dem UV-Integrator UV Disc (Art. No A002400) der Firma UV-Technik Meyer GmbH gemessen (siehe

Abb. 24). Der UV-Integrator ist ein Radiometer und besteht aus Fotodioden, welche die ankommende Strahlung in ein elektrisches Signal umwandeln; das Datenblatt des Herstellers zur UV Disc findet sich im Anhang in Abbildung A1. Das Gerät erfasst die UV-C-Spektren 230–280 nm. Der Messbereich beträgt 0 bis 5.000 mW/cm<sup>2</sup>, der Anzeigebereich erfasst 0 bis 999,999 mJ/cm<sup>2</sup>. 1 Joule (J) entspricht 1 Ws/cm<sup>2</sup> und somit 1 mJ 1 mJ/cm<sup>2</sup>. Zur Messung bei den Feldversuchen muss der UV-Integrator angeschaltet und auf dem Erdbeerdamm platziert werden (siehe Abb. 25). Nach der Überfahrt mit dem Gerät kann der Messwert abgelesen werden (UV-TECHNIK-MEYER, 2018).



**Abb. 24:** UV-Integrator UV Disc (Foto: Lisa Meinhardt)

**Abb. 25:** Messung mit dem UV-Integrator durch Ablegen des Gerätes auf dem Erdbeerdamm vor Überfahrt mit Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt)

### 3.2 Arbeitssicherheit bei Arbeiten mit UV-C

Bei der Arbeit mit UV-C-Strahlung ist der betroffene Mitarbeiter besonderen Risiken ausgesetzt. Die Europäische Union hat in der Richtlinie 2006/25/EG Mindestvorschriften für den Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch die physikalische Einwirkung künstlicher optischer Strahlung festgelegt. Die Richtlinien wurden erlassen, um die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten. Ziel ist es, bei der Planung von Arbeitsbereichen dafür zu sorgen, dass der Arbeitnehmer möglichst keiner Gefahr ausgesetzt wird. Um die entsprechenden Vorgaben der Europäischen Union zu erfüllen, führte während der Konstruktionsphase der UV-C-Geräte Herr Hans Störtländer von der Geisenheim University eine Gefährdungsbeurteilung durch (siehe Abb. 26).

Mit der Gefahrenbeurteilung werden Gefahren und Risiken bewertet. Daraus resultierende Schutzziele, Maßnahmen und Verantwortlichkeiten werden festgelegt (siehe Abb. 26). Jeder Mitarbeiter, der mit dem UV-C-Gerät in Kontakt kommt, muss entsprechend in der Arbeitssicherheit unterwiesen werden. Der ungeschützte Kontakt mit UV-C-Strahlung muss unterbleiben. Die von der EU festgelegten Grenzwerte von  $6 \text{ mJ/cm}^2$  bei einer täglichen Bestrahlungsdosis mit einer Wellenlänge von  $254 \text{ nm}$  dürfen nicht überschritten werden (EU 2006). Das größte Risiko bei der Benutzung besteht darin, dass der Nutzer in die eingeschaltete Lampe schaut; über diese Gefahr muss ausdrücklich aufgeklärt werden. Wird das UV-C-Gerät in Betrieb genommen, müssen alle Mitarbeiter geeignete Handschuhe und Schutzbrille tragen (siehe Abb. 26).

Gesundheitliche Risiken im Zusammenhang mit UV-C-Strahlung sollen durch Unterweisung und Schutzmaßnahmen möglichst vermieden werden. Die Personen, die mit den Geräten umgehen, müssen besonders vor folgenden Gefahren geschützt werden: Beim Betrieb von Hochleistungs-UV-Strahlern wird unter Einwirkung von Sauerstoff das Gas Ozon erzeugt. Atmet der Mensch das Gas Ozon ein, kann es zu einer Reizung der Atemwege kommen. Bei dauerhaftem Kontakt der Atemwege mit Ozon erhöht sich das Risiko für Lungenkrebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die optische Strahlung kann eine Schädigung der Augen bis hin zur Erblindung hervorrufen. Ebenso ist bei einer erhöhten Einwirkung eine Schädigung der Haut bis hin zu Verbrennungen oder zu einer Induktion von Hautkrebs möglich.



Betrieb/Betriebsteil: Institut für Technik  
 Arbeitsbereich:\* UV-Bestrahlung von Erdbeeren  
 Tätigkeit:\* Arbeiten mit der UV-Bestrahlungsanlage für Erdbeeren

Seite: 1 von 2

1 Nr.	2 Mögliche Gefährdungen / Belastungen	3 Risiko			4 Schutzziele / Maßnahmen	5 Realisierung		3b Restrisiko			6 Wirksamkeit	
		gering 	mittel 	hoch 		bis wann	wer	gering 	mittel 	hoch 	wirksam/ Datum	wer
1	Nicht ionisierende Strahlung UV-Strahlung				1.Hautschäden und Augenschäden durch UV-C-Strahlung abschätzen	Bis zur Erstnutzung	Prof. Schwarz				01.12.2017	Prof. Schwarz
2	Arbeitsplatzbezogene Unterweisungen Erstunterweisungen; Wiederkehrende Unterweisungen; Fehlende Dokumentation.				1. Arbeitsplatzspezifische Unterweisung durch Vorgesetzte.	Bis zur Erstnutzung	Störtländer				14.12.2017	Störtländer
3	Arbeitsplatzbezogene Betriebsanweisungen Betriebsanweisungen für: Einrichtungen, Maschinen, Anlagen, Geräte, Förderzeuge, Aktualisierung, Bekanntmachung, in für die Beschäftigten verständlichen Form und Sprache.				1.Betriebsanweisungen gem. UVV für Maschinen und diverse Apparate gem. BG-Regelwerk; SOP (Standard Operating Procedures); 2.Sicherheitsunterweisungen; Schulungspläne; Protokolle mit Teilnahmenachweis; 3. Gefahrenkennzeichnung an der Anlage	Bis zur Erstnutzung	Störtländer				12.12.2017	Störtländer
4	Benutzen persönlicher Schutzausrüstung Benutzung der persönlichen Schutzausrüstung; Eignung; Wirksamkeit; Akzeptanz; Bewegungseinschränkung; Pflege; PSA gegen Absturz				1. Arbeitskleidung wird dem MA zur Verfügung gestellt. 2. Am Gerät besteht die Pflicht, eine Schutzbrille zu tragen. 3. Geeigneten Handschutz ist vorgesehen 4. Augen- und Gesichtsschutz benutzen. 5. Kleidung die den ganzen Körper bedeckt ist zu tragen	Bis zur Erstnutzung	Störtländer				14.12.2017	Störtländer

\* Im jeweiligen Fall Zutreffendes bitte angeben.

Arbeitsblatt C2 mit Restrisikobewertung: Gefährdungsbeurteilung – Dokumentation  
 Dieses Formular kann heruntergeladen werden unter: [www.bgr.de/downloadcenter](http://www.bgr.de/downloadcenter).



Betrieb/Betriebsteil: Institut für Technik  
 Arbeitsbereich:\* UV-Bestrahlung von Erdbeeren  
 Tätigkeit:\* Arbeiten mit der UV-Bestrahlungsanlage für Erdbeeren

Seite: 2 von 2

					6. Festes, geschlossenes und trittsicheres Schuhwerk tragen.							
5	Absturz (Leitern, Gerüste, usw.) Zusammenbruch oder Umkippen des Standobjektes; Abrutschen oder Abgleiten vom Standobjekt;				1. Bei arbeiten oberhalb des Greifbereichs, Leitern und Tritte benutzen. 2. Leitern und Tritte sind vor Nutzung und jährlich zu prüfen. 3. BA für Leitern und Tritte erstellen. 4. Standfestigkeit der Anlage ist vor Arbeitsbeginn zu prüfen	Bis zur Erstnutzung	Störtländer				14.12.2017	Störtländer
6	Unkontrolliert bewegte Teile Kippende Teile (Rollband); Rollende oder gleitende Teile (Gemüseboxen); Herabfallende Teile (Werkzeuge), sich lösende Teile;				1. Stabilität von Arbeitsflächen gewährleisten. 2. Sicherheitsschuhe tragen. 3. Geräte, Apparaturteile und Werkzeuge sicher aufstellen oder ablegen. 4. Prüffristen von Arbeitsmitteln einhalten	Bis zur Erstnutzung	Störtländer				14.12.2017	Störtländer
Trotz dieser Gefährdungsbeurteilung können immer noch Gefährdungen auftreten, die für mich beim Erstellen der GBU nicht ersichtlich waren. Treten weitere (bisher nicht beschriebene) Gefahren auf ist in diesem Fall die GBU unverzüglich anzupassen. Die Gefährdungsbeurteilung wird vervollständigt durch die für die jeweiligen Arbeiten bzw. Arbeitsbereiche erstellen Arbeitsanweisungen und Betriebsanweisungen sowie durch die Protokolle durch die regelmäßig durchgeführten Begehungen der Fachkraft für Arbeitssicherheit, welche ggf. Abweichungen zu dem hier dargestellten Sollzustand aufzeigen.												

Störtländer 12.12.2017 gesehen:  
 Ersteller Datum Unterschrift Vorgesetzter

\* Im jeweiligen Fall Zutreffendes bitte angeben.

Arbeitsblatt C2 mit Restrisikobewertung: Gefährdungsbeurteilung – Dokumentation  
 Dieses Formular kann heruntergeladen werden unter: [www.bgr.de/downloadcenter](http://www.bgr.de/downloadcenter).

**Abb. 26:** Gefährdungsbeurteilung zur UV-C-Bestrahlung von Erdbeeren  
 Quelle: Störtländer 2017

Aufgrund der Gefahrenbeurteilung wurde eine Betriebsanweisung für die UV-C-Bestrahlungsanlagen erstellt (siehe Abb. 27). Diese Betriebsanweisungen werden im direkten Arbeitsbereich der Personen an den Geräten angebracht und sorgen so für eine maximale Kommunikation im Sinne des Anwenderschutzes.

Nummer: 201701 Datum: 12.12.2017 Verantwortlich: <i>Prof. Dr. H.P. Schwarz</i>		<b>Betriebsanweisung</b>	 Hochschule Geisenheim University
Arbeitsplatz, Tätigkeitsbereich: <b>UV Bestrahlungsanlage für Erdbeeren</b>			
<b>1. Anwendungsbereich</b>			
Diese Betriebsanweisung gilt für Arbeiten mit UV-Licht			
<b>2. Gefahren für Mensch und Umwelt</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-Strahlung reizt und schädigt die Augen (Gefahr der Erblindung)</li> <li>• UV-Strahlung reizt und schädigt die Haut (Gefahr der Verbrennung und/oder Induktion von Hautkrebs)</li> <li>• Hochleistungs-UV-Strahler erzeugen beim Betrieb unter Einwirkung von Sauerstoff Ozon</li> </ul>			
<b>3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln</b>			
Bedienung nur durch unterwiesene Personen, Mindestalter 18 Jahre. Jugendliche über 16 Jahre nur innerhalb der Ausbildung und unter ständiger Aufsicht Persönliche Schutzausrüstung tragen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Schutzbrille</b></li> <li>• <b>Handschuhe</b></li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UV-Lampen dürfen nur mit dem dazugehörigen Vorschaltgerät (Transformator) verwendet werden.</li> <li>• UV-Lampen, bes. Hochleistungslampen, werden sehr warm und müssen daher mit einer effektiven Kühlung betrieben werden.</li> <li>• Bei Arbeiten mit brennender Lampe Schutzbrille tragen! Die Schutzbrille muss abgestimmt sein auf Leistung und Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle.</li> <li>• Nicht in die brennende Lampe schauen! Belichtungsapparaturen abdecken, lichtdichte Ummantelung (nicht brennbar) verwenden, z. B. Alufolie</li> <li>• Keine ungeschützten Körperteile exponieren</li> <li>• Bei ozonentwickelnden Hochleistungslampen muß im Abzug oder mit einer wirksamen Quellenabsaugung gearbeitet werden.</li> <li>• Auf ungewöhnliche Betriebserscheinungen achten, ggf. sofort abschalten und Vorgesetzten informieren</li> </ul>			
<b>4. Verhalten bei Störungen</b>			
Gerät abschalten, Netzstecker ziehen, Vorgesetzten informieren, Wiederinbetriebnahme verhindern			
<b>5. Erste Hilfe</b>			
	Gerät ausschalten, evtl. Not-Aus Schalter benutzen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Verblitzen der Augen diese durch breite Binde ruhigstellen, Verletzten in die Augenklinik bringen lassen.</li> <li>• Erste-Hilfe leisten, dabei auf Eigenschutz achten</li> <li>• Ersthelfer (siehe gesonderter Aushang) verständigen,</li> <li>• Notruf absetzen Telefon 112</li> <li>• Rettungspersonal einweisen</li> </ul>		
<b>6. Instandhaltung; Entsorgung</b>			
Defekte Quecksilberlampen sind Sondermüll, sie sind als Quecksilberabfall der zuständigen Stelle zu übergeben.			
Datum: 12.12.2017		Unterschrift Vorgesetzter:	

**Abb. 27:** Betriebsanweisung UV-C-Bestrahlungsanlage für Erdbeeren

Quelle: Störtländer 2017

Bei der Konstruktion der UV-C-Geräte UV-C-Juna und UV-C-Ceres wurde darauf geachtet, dass die Belichtungsapparaturen abgedeckt und durch lichtdichtende

Ummantelungen geschützt werden. Es muss sichergestellt sein, dass die Ummantelungen schwer entflammbar sind. Hochleistungs-UV-C-Lampen werden sehr schnell warm, eine leistungsstarke Kühlung ist unbedingt anzubringen. UV-Lampen dürfen grundsätzlich nur mit einem dazugehörigen Vorschaltgerät, einem Transformator, betrieben werden. Bei der Konstruktion der UV-C-Geräte Juna und Ceres I sowie Ceres II wurde auf maximale Anwendersicherheit geachtet. Bei Juna wurde das UV-C-Modul mit einem Kasten ummantelt, die Erdbeerpflanze wurde zur Bestrahlung mit einem Stab auf einer Rollenbahn in den Kasten geschoben. Bei sachgemäßer Benutzung kommt der bedienende Mitarbeiter mit dem UV-C-Modul nicht in Kontakt. In einer Arbeitseinweisung wurde jeder Anwender darüber informiert, dass es nicht erlaubt ist, beim Betrieb des Gerätes in den Kasten hineinzufassen oder den Kopf in das Gerät zu stecken. Piktogramme an den Geräten (siehe Abb. 28) weisen den Anwender auf die Pflicht hin, geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen.



**Abb. 28:** Piktogramme zur Verwendung von Schutzkleidung bei der Arbeit am UV-C-Gerät JUNA

Quelle: Störtländer 2017

Im Fall eines unbeabsichtigten Kontakts eines Menschen mit dem UV-C-Modul oder der Strahlung muss das Gerät sofort mit dem Notschalter ausgeschaltet und der Netzstecker gezogen werden. Bei ungewöhnlichen Betriebserscheinungen, Geräuschen

oder Geruchs- oder Rauchentwicklung ist ebenfalls der Notschalter zu betätigen und der Netzstecker zu ziehen. Im Fall einer Nutzung von Ozon entwickelnden Hochleistungslampen in geschlossenen Räumen muss eine Absaugvorrichtung für das Gas vorhanden sein. Im Fall der luftigen Räumlichkeiten in Geisenheim und der Nutzung im Freien wird keine Absaugvorrichtung benötigt.

### **3.3 Durchgeführte Kulturmaßnahmen**

#### **3.3.1 Substrat und Kulturgefäße**

Die Versuche auf den Flächen des Tannenhofs Meinhardt in Weiterstadt wurden an Erdbeerpflanzen auf gewachsenem Boden durchgeführt. Es handelt sich um Sandboden mit einem Humusgehalt von 1,6 %. Weitere Daten des Bodens können der Bodenanalyse in Abbildung A2 im Anhang entnommen werden. Dieser Sandboden dient als Grundlage für die Formung des Minidamms, der mit schwarzer Mulchfolie bespannt ist.

Für den Versuch auf der Gewächshaus-Fläche in Geisenheim wurde das „HC5 Fibre30 BVB Premium RHP“-Substrat der Firma BVB Substrat verwendet. Es handelt sich um eine Mischung aus 70 % reinem Kokostorf mit 30 % Kokostorf-Kokosfasern-Mischung. Die Rohstoffe sind beide gemäß den RHP-Richtlinien mit Kalzium behandelt und gespült; im Anhang findet sich das Datenblatt des Substrats in Abbildung A3. Die verwendeten rechteckigen schwarzen Pflanztöpfe aus Kunststoff haben ein Füllvolumen von 3,7 l und eine Höhe von 220 mm. Die Maße der Stellfläche sind 95 x 95 mm, das Maß am Topfkragen beträgt 145 x 145 mm.

#### **3.3.2 Erdbeerpflanzgut**

Für die Versuchsfelder auf dem Tannenhof wurden bei den Erdbeerpflanzen der Sorte Salsa Frigopflanzgut und bei den Clery- und Murano-Pflanzen Topfgrünpflanzgut verwendet. Für die Sorte Salsa wurde die Pflanzgutvariante Frigopflanze gewählt, da es sich um eine starkwüchsige Hohertragssorte handelt. Frigopflanzgut hat den Vorteil, dass es günstig ist und im Pflanzjahr früh (ab Anfang Mai) zur Verfügung steht. Dies erleichtert die arbeitswirtschaftliche Einteilung der Mitarbeiter, die die Pflanzungen durchführen. Durch den früheren Pflanztermin können die Pflanzen sich besser entwickeln, und in der Anwachsphase auf dem Feld ist es noch nicht so sommerlich heiß und trocken wie zum Liefertermin der Topfgrünpflanzen ab Anfang August. Salsa ist

eine robuste Sorte, die eine geringe Anfälligkeit für Botrytis aufweist, für Wurzelkrankheiten dagegen ist sie anfällig.

Die Sorte Clery wird hauptsächlich als Topfgrünpflanze gepflanzt. Dies ist notwendig, da die Sorte sehr wärmeliebend ist und die Entwicklung der feinen Haarwurzeln am Jungpflanzen-Produktionsort im Süden Europas stattfindet. Die Pflanzen können sich somit schnell entwickeln, was einen späteren Pflanzzeitpunkt bis Mitte September bedeutet. Die Sorte Clery bringt keine besonders hohen Erträge, zeichnet sich aber durch den frühesten Erntebeginn (Ende April im Rhein-Main-Gebiet) aller Sorten aus. Clerypflanzen haben eine hohe Toleranz gegenüber wurzelbürtigen Krankheiten, die Anfälligkeit für Botrytis ist dagegen höher als bei anderen Sorten. Die remontierende Sorte Murano neigt aufgrund ihrer Genetik dazu, kaum Stolonen zu bilden. Daher werden die wenigen Stolonen beim Jungpflanzenaufzüchter als Topfgrünpflanzen kultiviert, um einen möglichst hohen Jungpflanzenertrag zu erzielen. Die Sorte Murano zeichnet sich durch einen hervorragenden Geschmack aus, die Kulturführung gestaltet sich aufgrund der hohen Anfälligkeit für Botrytis und Mehltau als schwierig.

### **3.3.3 Bewässerung**

Alle Versuchsflächen des Tannenhofs sind mit einem Tropfbewässerungssystem ausgestattet. Die PVC-Tropfschläuche sind mit dickwandigen Tropfern versehen. Der Durchmesser der Tropfer beträgt 0,2 mm, der Schlauchdurchmesser 16 mm, der Tropfabstand 250 mm und die Tropfleistung 1,07 l pro Minute. Die Bewässerungssteuerung erfolgt mithilfe eines Tensiometers. Der Einschaltzeitpunkt des Tensiometers liegt bei einem Saugdruck von  $-160$  hPa. Wird der Saugdruck überschritten, wird die Tropfbewässerung für 30 min angeschaltet, was einer Wassergabe von  $42,8 \text{ m}^3$  pro Hektar in der Stunde oder  $4,3 \text{ l pro m}^2$  pro Stunde entspricht. Durch den Tropfschlauch wird nur die Wurzelzone bewässert. Im Anhang sind in den Abbildungen A4, A5 und A6 die vom Boden- und Beregnungsverband Weiterstadt veröffentlichten Wasseranalysen des Bewässerungswassers aus den Jahren 2016, 2017 und 2018 zu finden.

Im Gewächshaus Geisenheim erfolgte die Bewässerung mit einer vergleichbaren Kopfstation. Der Versuch wurde nicht an einer Reihenkultur, sondern an einer Einzelpflanzkultur durchgeführt. Aus diesem Grund wurden die herkömmlichen Tropfschläuche für Reihenkulturen durch Einzeltropfer ersetzt. Der Tropfschlauch bestand hierbei aus einem PE-Tropfschlauch mit 1 mm Wandstärke, an den einzelne Pfeiltropfer

angeschlossen waren. Die Wasseranalyse des Beregnungswassers in der Gewächshausanlage in Geisenheim ist in Tabelle A3 im Anhang zu finden.

### 3.3.4 Düngung

Die Düngung erfolgte bei allen Versuchsanlagen auf dem Tannenhof mit Fertigungsdüngung. Hierbei wird der wasserlösliche Dünger zusammen mit der Wassergabe ausgebracht. In einem Düngetank werden in dem Verfahren 25 kg Dünger pro Hektar in Wasser gelöst. Bei der nächsten Wassergabe wird Dünger in das Bewässerungssystem eingespült. In den Tabellen A4, A5, A6 und A7 Anhang sind die Düngemaßnahmen und der entsprechende Dünger für die unterschiedlichen Felder aufgeführt.

In der Gewächshausanlage in Geisenheim wurde durch eine Venturi-Steuerung ein konstanter EC-Wert von 2 mS gehalten. Dieser EC-Wert setzt sich zusammen aus einem Basiswert des Beregnungswassers von 0,6 mS sowie einer Düngegabe von 1 ‰, was eine Erhöhung um 1,4 mS bewirkt. Der EC-Wert der fertigen Düngegelösung beträgt somit 2 mS. Dies wurde sichergestellt, indem eine Gesamtprobe aller Bewässerungsgänge als Mischprobe genommen wurde. In Geisenheim wurde ausschließlich Ferty MEGA 2 (Datenblatt siehe Abb. A7 im Anhang) als Dünger verwendet.

### 3.3.5 Pflanzenschutz

Der Pflanzenschutz auf den Versuchsanlagen wurde mit der in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Zugmaschine, einem John-Deere-Traktor, durchgeführt. Die Erdbeerspritze der Marke „Müller“ ist mit einer Drei-Düsen-Gabel, einem Lechler-Air-Injektor sowie einer luftunterstützten Doppelflachstrahldüse des Modells „IDKT120-06“ ausgestattet. Die Wasserfüllmenge des Spritzentanks beträgt 1.000 l Wasser, die entsprechenden Pflanzenschutzmittel werden laut Herstellerangaben dazugemischt. In den Tabellen A8, A9, A10 und A11 im Anhang sind die Pflanzenschutzmittelaufzeichnungen für die unterschiedlichen Felder aufgeführt.

Im Gewächshaus Geisenheim wurde eine Pflanzenschutzmittelbehandlung gegen die Gemeine Spinnmilbe (*Tetranychus urticae*) mit dem Wirkstoff Bifenazate (Handelsname Floramite 240 SC) durchgeführt. Um die Behandlung vornehmen zu können, wurde nach Einbruch der Dunkelheit der Hummelkasten verschlossen und die Pflanzenschutzmittelspritzung am nächsten Tag durchgeführt. Die Aufwandmenge beträgt

0,4 l pro ha in 1.000 l Wasser. Die Behandlung wurde mit einer Rückenspritze der Firma Mesto durchgeführt.

### **3.3.6 Bestäubung**

Wie bereits in Kapitel 2.1.8 ausgeführt, werden im geschützten Erwerbsanbau von Erdbeeren *Bombus terrestris* aus kommerziellen Zuchten zur Bestäubung eingesetzt. Es wurde am 02.02.2018 sowie am 17.01.2018 jeweils ein Hummel-Minivolk von der Firma Katz Biotech AG geliefert. Die Hummelvölker wurden umgehend entsprechend den von der Firma vorgegebenen Anwendungshinweisen ausgestellt und konnten die Bestäubung in der Anlage vornehmen. In Abbildung A8 im Anhang sind die Lieferscheine sowie die Anwendungshinweise der Firma Katz Biotech AG zu finden.

### **3.4 Witterungsdaten und Klimaführung**

Die Wetterdaten für die Versuche auf den Anlagen des Tannenhofs in Weiterstadt wurden den Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes entnommen. Laut dessen Aussage lassen sich knapp 80 % der Varianz der Ernteerträge in Deutschland mit dem Wetter erklären (DEUTSCHER WETTERDIENST 2019). Durch die Kultivierung der Erdbeerpflanzen unter einem Hochtunnel können einige Wettereinflüsse abgemildert werden. Die Aufzeichnung der Wetterdaten sind trotz des schützenden Hochtunnels ein wichtiger Bestandteil der Versuchsdurchführung. Sie stammen von der Station 1420 des Deutschen Wetterdienstes, die in Frankfurt am Main aufgestellt ist, und können für die Versuchszeiträume Tabelle A12 im Anhang entnommen werden.

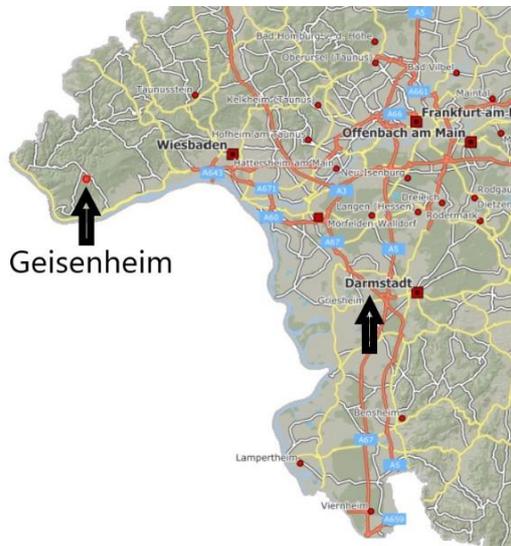
In der Gewächshausanlage in Geisenheim wurden die Daten mithilfe eines Klimacomputers aufgezeichnet, der gleichzeitig die Klimasteuerung übernimmt. Die große Menge an Klimadaten, die während des Versuchs anfielen, ist im Anhang im Ordner „Klimaführung Geisenheim“ einzusehen.

### **3.5 Beschreibung der durchgeführten Versuche**

#### **3.5.1 Versuchsstandorte**

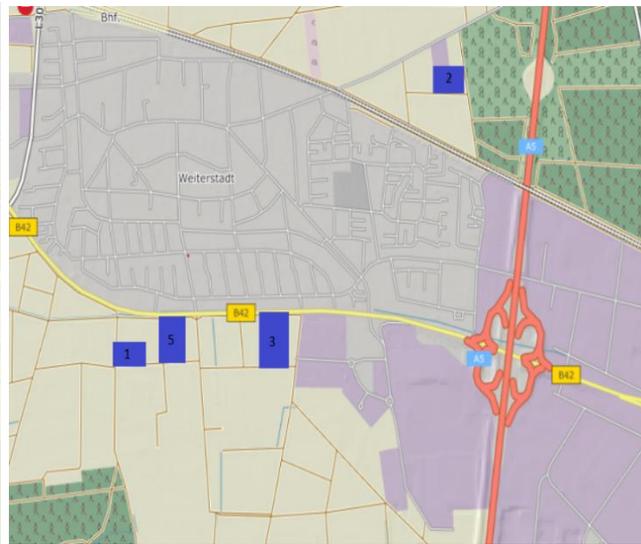
Zur Überprüfung der in Kapitel 1 aufgestellten Thesen standen in den Jahren 2016 bis 2018 verschiedene Erdbeerparzellen zur Verfügung. Auf dem Betrieb Tannenhof in Weiterstadt wurden die UV-C-Versuche im Freiland und in den Tunnelanlagen durchgeführt. Die Gewächshausanlage in Geisenheim konnte von Dezember 2017 bis März

2018 für den UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanze ebenfalls genutzt werden. In Abbildung 29 sind in einem Kartenausschnitt die Städte Geisenheim und Weiterstadt mit Pfeilen markiert.



**Abb. 29:** Räumlicher Standort der Städte Weiterstadt und Geisenheim

Quelle: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation 2019, Maßstab 1 : 500.000



**Abb. 30:** Räumlicher Standort der Parzellen in Weiterstadt, 1 = Hausacker, 2 = Umspannwerk, 3 = Karl B42, 5 = Ducan

Quelle: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation 2019, Maßstab 1 : 25.000

In der Gemarkung Weiterstadt wurden die Versuche auf den Erdbeerflächen des Spargel- und Obstbaubetriebs Tannenhof durchgeführt. Abbildung 30 stellt den räumlichen Zusammenhang der Versuchsflächen dar. Abbildung 31 zeigt die Gewächshausanlage der Geisenheim University und markiert den Gewächshausblock 12c, der für den Exaktversuch „UV-C-Erdbeere“ zur Verfügung stand.



**Abb. 31:** Gewächshausanlage Geisenheim, der Pfeil markiert den Gewächshausblock 12c  
Quelle: Google Maps, Maßstab 1 : 1.000

Nach der Entwicklung und Fertigstellung eines UV-C-Versuchsgerätes wurden in den Jahren 2016 bis 2019 insgesamt fünf Versuche zur UV-C-Behandlung von Erdbeeren durchgeführt (s. Tab. 4) Es wurden zwei Freilandversuche (Nr. 1 und 2) und zwei Tunnel-Versuche (Nr. 3 und 4) auf dem Tannenhof sowie ein Gewächshausversuch (Nr. 5) in Geisenheim durchgeführt (siehe Tab.4)

**Tab. 4:** Übersicht über die durchgeführten Versuche zur UV-C-Behandlung von Erdbeeren in den Jahren 2016 bis 2018

Nr.	Ort	Umwelt	Sorte	Gerät	Varianten	Prüfmerkmale	Zahl der Messungen
1	<b>UV-C-Behandlungs-Feldversuch I</b>						
	Hausacker	FL	Salsa	Ceres I	1: Kontrolle 2: 55 mJ/cm <sup>2</sup> 3: 2 x 55 mJ/cm <sup>2</sup>	Fruchtertrag Ausschuss	3
	<b>Design:</b> Streifenversuch unter Produktionsbedingungen, 3 Varianten, keine Wiederholungen, keine Randomisierung						
2	<b>Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten</b>						
	Umspannwerk	FL	Clery	UV-C-Modul von Juna I	1: Kontrolle 2: 10 Sekunden 3: 20 Sekunden 4: 60 Sekunden 5: 180 Sekunden	Haltbarkeit im Kühlraum	1
	<b>Design:</b> Behandlung von Einzel Früchten, 5 Varianten, 10 Wiederholungen (= Früchte), randomisiert						
3	<b>UV-C-Behandlungs-Feldversuch II</b>						
	Karl	Tu	Murano	Ceres II	1: Kontrolle 2: 80 mJ/cm <sup>2</sup> 3: 110 mJ/cm <sup>2</sup>	Fruchtertrag Ausschuss Blütenzahl/lfd. m	5
	<b>Design:</b> Streifenversuch unter Produktionsbedingungen, 3 Varianten, keine Wiederholungen, keine Randomisierung						
4	<b>UV-C-Behandlungs-Feldversuch III</b>						
	Ducan	Tu	Clery	Ceres II	1: Kontrolle 2: 100 mJ/cm <sup>2</sup> 3: 160 mJ/cm <sup>2</sup>	Fruchtertrag Ausschuss Gesamtphenole Brix Gesamtsäure TEAC	4
	<b>Design:</b> Randomisierter Streifenversuch, 3 Wiederholungen						
5	<b>UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus</b>						
	Geisenheim	GH	Clery	Juna I	1: Kontrolle 2: 130 mJ/cm <sup>2</sup> 3: 170 mJ/cm <sup>2</sup>	Fruchtertrag Ausschuss Früchte-Zahl Einzelfrucht-Masse Botrytis-Befall Länge Ausläufer	4
	<b>Design:</b> Behandlung von Einzelpflanzen, 3 Varianten, 34 Wiederholungen, teilrandomisiert, homogene/reproduzierbare Gewächshausbedingungen						

**Legende:** FL: Freiland, Tu: Tunnel, GH: Gewächshaus aus Glas, Fruchtertrag in kg je Pflanze

### 3.5.2 Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I

Die Erdbeerparzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa wurde im Mai und Juni 2016 als erste Erdbeeranlage in der Versuchsreihe mit dem UV-C-

Gerät Ceres I behandelt. Es handelt sich um eine Erdbeeranlage auf Minidämmen im gewachsenen Boden mit Stroheinlage zwischen den Reihen. Angebaut wird eine einjährige Erdbeerertragskultur der Sorte Salsa. Die Anlage wurde im Juli 2015 bepflanzt und vom 02.06.2016 bis zum 30.06.2016 geerntet. In Tabelle 5 sind alle Daten zur Lage, Abmessung und zum Pflanzgut zu finden.

**Tab. 5:** Charakterisierung der Erdbeerparzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa, Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I

<b>Parameter</b>	<b>Angaben</b>
Ernte	ab 2.6.2016
Kulturform	Minidamm im Freiland
Geografische Lage	(GMM) 49.898517, 8.583055
Fläche/ Pflanzdichte	13454 m <sup>2</sup> / 3,3 Pflanzen pro m <sup>2</sup>
Länge der Ackerfläche	187,4 / 200,6 (194) m
Breite der Ackerfläche	71,5 / 67,2 (69,35) m
Ackerschlagkarteinummer	1117
Bodenart	Sand
Pflanzen pro Reihe / Reihenanzahl	627 Stück / 70 Stück
EG-Pflanzenpassnummer	NL 500-1427-01-20080
Pflanzgutlieferant	Van Alphen, Niederlande
Pflanzdatum / Gesamtanzahl Pflanzen	22.07.2015 / 43.890 Stück
Reihenlänge / Spurbreite	190 m / 1,10/0,9 m
Dammhöhe / Dammbreite oben / Dammbreite unten	0,22 m / 0,18 m / 0,4 m

Die Erdbeeranlage wurde zum Einstellen der Spur des Ceres I und zur Erfassung der Strahlungs dosis des UV-C-Moduls zunächst an einigen Reihen überfahren, die nicht ausgewertet wurden. Es wurden auf dem in Abbildung 32 markierten Teil der Fläche drei Doppelreihen mit UV-C-Strahlung behandelt und die Erntemengen dieser Doppelreihen miteinander verglichen (siehe Abbildung 33).



**Abb. 32:** Parzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa, die ausgewählten Versuchsreihen sind blau umrandet

Quelle: HVBG 2019, Maßstab  
1 : 2.500



**Abb. 33:** Parzelle auf dem Standort Hausacker mit der Erdbeersorte Salsa. Der gelbe Pfeil markiert Variante 1, der blaue Pfeil die Variante 2 und der rote Pfeil die Variante 3 (Foto: Lisa Meinhardt)

Die ausgewählte Erdbeerkultur der Sorte „Salsa“ wurde im Freiland vor und während der Ernte mit UV-C-Strahlung behandelt. Für diesen Versuch wurde das UV-C-Gerät Ceres I entwickelt (siehe Abb. 34).



**Abb. 34:** Versuchsfahrt am 07.06.2016 auf der Erdbeerparzelle „Hausacker“, Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I mit Ceres I (Foto: Lisa Meinhardt)

Es wurde jeweils eine Doppelreihe pro Variante ausgewählt. In Abbildung 33 ist zu erkennen, welche Doppelreihe welcher Variante zugeordnet wurde. In einer Reihe befinden sich ca. 627 Erdbeerpflanzen; das bedeutet, in einer Doppelreihe wurden pro Variante ca. 1.254 Pflanzen behandelt. Die Leistung des UV-C-Gerätes Ceres I beträgt ca.  $55 \text{ mJ/cm}^2$ , wie bei den Testfahrten mit der UV-C-Disc ermittelt werden konnte.

In Variante 3 wurde die Reihe pro Behandlung zweimal überfahren; die Pflanzen wurden so einer Tagesdosis von  $2 \times 55 \text{ mJ/cm}^2$  ausgesetzt. In Variante 2 wurde die Reihe einmal behandelt. Das bedeutet, diese Pflanzen wurden mit einer Tagesdosis von  $1 \times 55 \text{ mJ/cm}^2$  bestrahlt. Für die Überfahrten wurde die langsamste Fahrgeschwindigkeit gewählt, die bei der Zugmaschine möglich war. Entsprechend wurde mit der Geschwindigkeit A1 des John-Deere-Traktors gefahren, was bei einer Nenndrehzahl von 1.600 U/min eine Geschwindigkeit von 1,21 km/h bedeutet. Bei der Variante 1 handelte es sich um die unbehandelte Kontrolle. Bei der Testfahrt am 07.06.2016 wurden während des Versuchs noch einige Plastikstreifen aus weichem PVC unter dem Gerät befestigt, um die Blätter der Pflanzen während der Überfahrt auseinanderzuziehen. In dem Versuch wurden die Erdbeerpflanzen am 07.06.2016, am 17.06.2016 und am 21.06.2016 mit UV-C-Strahlung behandelt. Die Fahrzeiten für jede Behandlung und der Kraftstoffverbrauch der Zugmaschine sowie des Stromgenerators wurden erfasst. Die Zeitmessungen erfolgten mit einer Handy-Stoppuhr, der Kraftstoffverbrauch wurde anhand eines herkömmlichen Messbechers ermittelt. Vor Beginn der Versuche war der Kraftstofftank jeweils voll und wurde nach dem Versuch wieder aufgefüllt. Aufgrund des geringen Kraftstoffverbrauchs reichte ein Messbecher völlig aus.

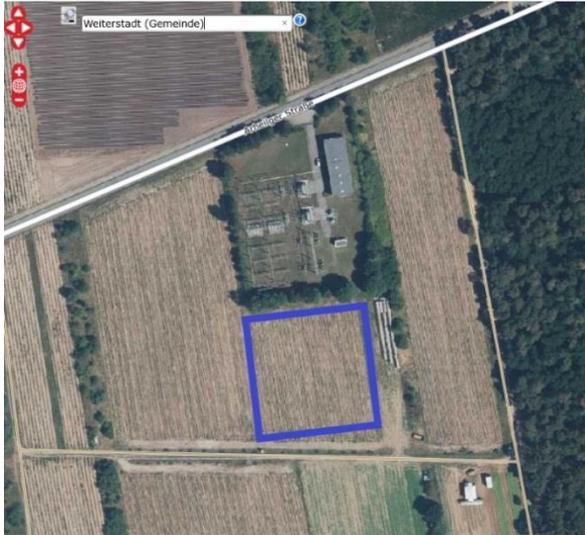
### **3.5.3 Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten**

Auf der Erdbeerparzelle an dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery wurden von Mai bis Juni 2016 Früchte geerntet und im Nachernteversuch mit UV-C-Strahlung behandelt. Die Erdbeeren wachsen auf Minidämmen im gewachsenen Boden mit Stroheinlage zwischen den Reihen. Die Pflanzen wurden im August 2015 gepflanzt und vom 28.04.2016 bis zum 15.06.2016 geerntet. Tabelle 6 fasst die relevanten Daten zur Versuchsfläche zusammen.

**Tab. 6:** Charakterisierung der Erdbeerversuchsfläche auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery, Versuch 2: Nachernte UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten

<b>Parameter</b>	<b>Angaben</b>
Ernte	ab 25.05.2016
Kulturform	Minidamm im Freiland
Geografische Lage	(GMM) 49.907292, 8.601971
Größe / Pflanzdichte	6.510 m <sup>2</sup> / 3,2 Pflanzen pro m <sup>2</sup>
Länge der Ackerfläche	82 m
Breite der Ackerfläche	75 m
Ackerschlagkarteinummer	1185
Bodenart	Sand
Pflanzen pro Reihe / Reihenanzahl	280 Stück / 75 Stück
EG-Pflanzenpassnummer	FE/08/0481
Pflanzgutlieferant	Vivai Mazzoni, Ferrara, Italien
Pflanzdatum / Gesamtanzahl Pflanzen	Juli 2015 / 21.000
Reihenlänge / Spurbreite	70 m / 1,10/0,9 m
Dammhöhe / Dammbreite oben / Dammbreite unten	0,22 m / 0,18 m / 0,4 m

In Abbildung 35 ist der Teil der Fläche des Standortes Umspannwerk markiert, auf dem die Früchte für den Versuch gepflückt wurden. Abbildung 36 zeigt ein Foto des Standortes Umspannwerk, die Erdbeerpflanzen wuchsen auf Minidämmen. Für den Versuch wurden bei der Ernte am 25.05.2016 aus 20 Erntekisten (zu je 5 kg Erdbeeren) je 2 Früchte entnommen und mit UV-C-Strahlung behandelt.



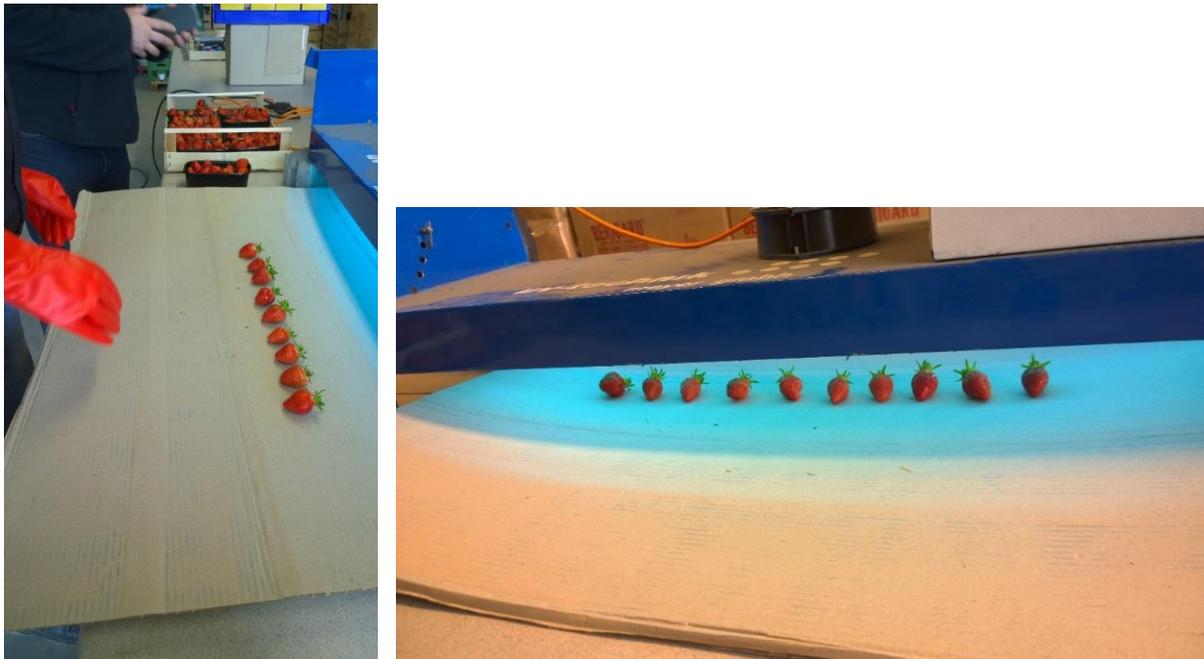
**Abb. 35:** Luftbild der Erdbeerparzelle auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery; die ausgewählten Versuchsreihen sind blau umrandet



**Abb. 36:** Erdbeerreihen der Parzelle auf dem Standort Umspannwerk mit der Erdbeersorte Clery (Foto Lisa Meinhardt)

Quelle: HVBG 2019, Maßstab 1 : 2.500

Am 25.05.2016 wurden aus 20 Ertekisten (mit je 5 kg Erdbeeren) je zwei Früchte entnommen. Die bereits geernteten Früchte wurden mit unterschiedlichen Dosen von UV-C-Strahlung bestrahlt und danach ins Kühlhaus gestellt. Für den Versuch wurde das UV-C-Modul „Sportrasenpflege“ der Firma UV-Technik Meyer GmbH auf einer Holzplatte auf vier Pflastersteine gestellt. Der Abstand zwischen der Holzplatte und der unteren Kante des UV-C-Moduls betrug 8 cm. Im nächsten Schritt wurde unter ausreichenden Sicherheitsvorkehrungen das UV-C-Modul angeschaltet. Die Bediener wurden mit Schutzbrille und Handschuhen ausgerüstet und dem Gerät wurde 10 min Zeit zum Aufwärmen gegeben. Es wurden zehn Erdbeeren nebeneinander auf ein großes Stück stabile Wellpappe gelegt und unter das UV-C-Modul geschoben (siehe Abb. 37 a und b). Pro Versuchsvariante wurde ein Durchgang durchgeführt. Die fünf Varianten unterschieden sich in ihrer Bestrahlungsdauer: Neben der neutraler Kontrolle ohne Bestrahlung betrug sie 10, 20, 60 und 180 sec. Nach der Bestrahlung wurden die Erdbeeren in herkömmliche Holzschliffschalen gelegt und auf Holzsteigen in das Erdbeer-Kühlhaus des Betriebs Tannenhof gestellt. Nach 10 Tagen wurden die Erdbeeren herausgenommen und bonitiert. Der Zeitraum wurde so gewählt, weil erfahrungsgemäß nach 10 Tagen ein deutlicher Grauschimmelbefall an den Erdbeeren zu sehen ist.



**Abb. 37 a (links) und b (rechts):** Bestrahlung der Erdbeerfrüchte am 25.05.2016 (Fotos: Lisa Meinhardt)

### 3.5.4 Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Die Erdbeerversuchsfläche auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano wurde von Juli bis August 2017 mit dem UV-C-Gerät Ceres II behandelt. Es handelt sich um eine Anlage auf Minidämmen in gewachsenem Boden und mit begehbarem Schutztunnel darüber. Die einjährige Erdbeerertragskultur der remontierenden Sorte „Murano“ wurde im März 2017 bepflanzt und vom 06.07.2017 bis zum 22.08.2017 geerntet. Tabelle 7 stellt die relevanten Daten der Versuchsfläche zusammen.

In Abbildung 38 ist der Teil der Fläche markiert, auf dem die drei Tunnel mit UV-C-Strahlung behandelt und die Erntemengen dieser drei Tunnel miteinander verglichen wurden. Bei „Tunnel 11“ handelt es sich um die unbehandelte Kontrolle Variante 1, in „Tunnel 12“ wurde die Variante 2 und in „Tunnel 13“ die Variante 3 durchgeführt.

**Tab. 7:** Charakterisierung der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Parameter	Angaben
Ernte	ab 06.07.2017
Kulturform	Minidamm mit Tunnel
Geografische Lage	(GMM) 498.993.02, 8.591.933
Größe / Pflanzdichte	16.748 m <sup>2</sup> / 3 Pflanzen pro m <sup>2</sup>
Länge der Ackerfläche	106 m
Breite der Ackerfläche	158 m
Ackerschlagkarteinummer	1014
Bodenart	Sand
Pflanzen pro Reihe / Reihenanzahl	314 Stück / 158 Stück
Pflanzenpassnummer	32416022017-1
Pflanzgutlieferant	Mazzoni Group, Ferrara, Italien
Pflanzdatum / Gesamtanzahl Pflanzen	23.03.2017 / 49.612
Reihenlänge / Spurbreite	90 m / 1,10/0,9 m
Tunnelhöhe / Tunnelbreite	3,6 m / 8,9 m
Dammhöhe / Dammbreite oben / Dammbreite unten:	0,22 m / 0,18 m / 0,4 m



**Abb. 38:** Luftbild von den Tunneln der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano. Die Pfeile markieren die Tunnel Nr. 11, 12 und 13, in denen die Versuche durchgeführt wurden. Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Quelle: HVBG 2019, Maßstab 1 : 1.000

In Abbildung 39 wird die Innenansicht des Tunnels 12, die Variante 2, dargestellt. Es wurden jeweils 3 Doppelreihen behandelt; die mit dem blauen Pfeil markierten Randreihen wurden nicht behandelt. Ein Tunnel hat 8 Reihen, 6 davon wurden behandelt.



**Abb. 39:** Ein Tunnel der Erdbeerparzelle auf dem Standort Karl B42 mit der Erdbeersorte Murano (Foto: Lisa Meinhardt). Die Versuche wurden in den Doppelreihen durchgeführt. Die mit den blauen Pfeilen markierten Randreihen wurden nicht behandelt. Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Auf der Erdbeerfläche „Karl B42“ wurden die Versuchsfahrten mit dem John-Deere-Traktor Modell 5055E mit offener Fahrerkabine durchgeführt. Für die Versuchsfahrten wurde das UV-C-Gerät Ceres II entwickelt (Abb. 40). Es wurden für die Behandlungen drei Tunnel mit jeweils drei Doppelreihen ausgewählt. In jedem Tunnel standen ca. 1.884 Erdbeerpflanzen der Sorte Murano (Pflanzenanzahl ohne Randreihen im Tunnel) Die Pflanzen wurden an fünf Behandlungsterminen mit UV-C-Strahlung behandelt.



**Abb. 40:** Versuchsfahrt mit Ceres II auf der Erdbeerparzelle Karl B42 , Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II (Foto: Lisa Meinhardt)

In Tunnel 12 sollte die UV-C-Strahlungsbehandlung mit der geringeren Dosierung getestet werden; es wurden  $80\text{--}100\text{ mJ/cm}^2$  als Zielgröße festgelegt. Um dies zu erreichen, wurde eine höhere Fahrgeschwindigkeit gewählt und bei der Fahrt in jeder Doppelreihe mit der UV-C-Disc einmal die Bestrahlungsstärke gemessen. Die Zugmaschine wurde mit der Geschwindigkeit A2 des John-Deere-Traktors gefahren; bei einer Nenndrehzahl von  $1.600\text{ U/min}$  entspricht das einer Geschwindigkeit von  $1,63\text{ km/h}$ . Tabelle 8 gibt die gemessenen UV-C-Strahlungsstärken während der Behandlungstermine in den Tunneln 12 und 13 wieder. Für die Versuchsfahrten in Tunnel 13 war eine niedrigere Geschwindigkeit erforderlich, um die gewünschte Zielgröße von  $100\text{--}120\text{ mJ/cm}^2$  zu erreichen. Dazu wurde die Fahrgeschwindigkeit A1 ausgewählt; bei einer Nenndrehzahl von  $1.600\text{ U/min}$  entspricht dies  $1,21\text{ km/h}$ . In Tabelle 8 sind die gemessenen UV-C-Strahlungsstärken während der Behandlungstermine in Tunnel 13 dargestellt.

**Tab. 8:** Tatsächliche Dosierung der UV-C-Strahlung mit Ceres II im Tunnel 12, Fahrgeschwindigkeit A2 = 1,63 km/h, und im Tunnel 13, Fahrgeschwindigkeit A1 = 1,21 km/h, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

	<b>Variante 2 (Tunnel 12)</b>	<b>Variante 3 (Tunnel 13)</b>	<b>Einheit</b>
Gewünschte Dosierung	80–100	100–120	mJ/cm <sup>2</sup>
<b>Behandlungstermine</b>	<b>Tatsächliche Dosierung UV-C-Strahlung (Mittelwert)</b>	<b>Tatsächliche Dosierung UV-C-Strahlung (Mittelwert)</b>	
04.07.2017	83,21	128,85	mJ/cm <sup>2</sup>
11.07.2017	91,93	109,33	mJ/cm <sup>2</sup>
25.07.2017	88,73	122,80	mJ/cm <sup>2</sup>
02.08.2017	87,53	124,67	mJ/cm <sup>2</sup>
14.08.2017	84,40	123,13	mJ/cm <sup>2</sup>

Bei den UV-C-Behandlungen dieser Anlagen wurden gleichzeitig erntefähige Früchte wie auch Blüten in verschiedenen Stadien bestrahlt. Aus diesem Grund wurde am 21.08.2017 die Anzahl der Blüten mit weißen Kronblättern pro laufenden Meter Reihe in den Tunneln 11, 12 und 13 erfasst. Als weitere Parameter wurden bei der UV-C-Behandlung mit Ceres II die Fahrzeiten für jede Behandlung und der Kraftstoffverbrauch der Zugmaschine erfasst. Wie bei der in Kapitel 3.5.2 beschriebenen Versuchsdurchführung erfolgten die Zeitmessungen auch hier mit einer Handy-Stoppuhr und die Messungen des Kraftstoffverbrauchs mit einem Messbecher.

### 3.5.5 Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Die Tunnel-Erdbeerfläche auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery wurde im April und Mai 2018 mit dem UV-C-Gerät Ceres II behandelt. Die Anlage liegt direkt an der Bundesstraße B42 in Weiterstadt. In Abbildung 41 ist das Versuchsfeld auf dem Standort Ducan (ohne Tunnel) schwarz umrandet.



**Abb. 41:** Luftbild der Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery Das ausgewählte Versuchsfeld ist schwarz umrandet. Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Quelle: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation 2019, Maßstab 1 : 1.000

Die Erdbeerpflanzen der Sorte „Clery“ wurden im Juli 2017 gepflanzt. Die Kulturform ist eine Anlage auf Minidämmen in gewachsenem Boden mit begehbarem Schutztunnel darüber. Die Pflanzen wurden vom 23.05.2018 bis zum 18.06.2018 geerntet. In Tabelle 9 sind die relevanten Daten zur Versuchsfläche aufgeführt.

In Abbildung 42 ist einer der Erdbeertunnel zu sehen. Die drei Doppelreihen wurden mit UV-C-Strahlung behandelt. Die einzelnen Randreihen links und rechts im Tunnel wurden nicht behandelt. Es wurden von 8 Reihen daher 6 Reihen behandelt. Die Versuche wurden in drei Tunneln durchgeführt und die Werte miteinander verglichen.

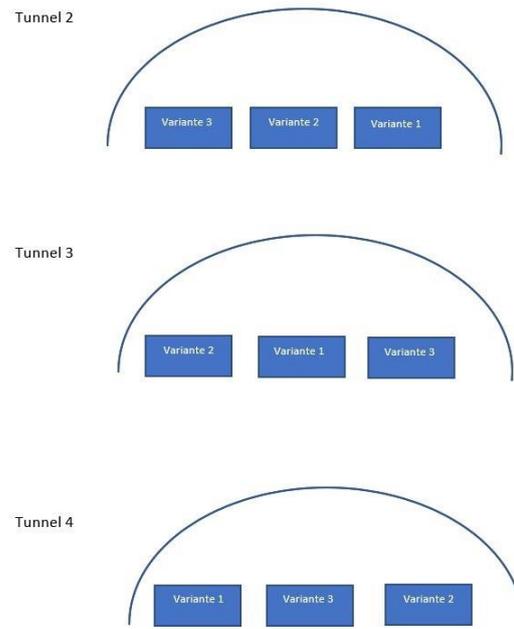
**Tab. 9:** Charakterisierung der Tunnel-Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Parameter	Angaben
Ernte	ab 23.5.2018
Kulturform	Minidamm mit Tunnel
Geografische Lage	(GMM) 49.899026, 8.585012
Größe / Pflanzdichte	19.182 m <sup>2</sup> / 4,4 Pflanzen pro m <sup>2</sup>
Länge der Ackerfläche	61 m
Breite der Ackerfläche	153 m
Ackerschlagkarteinummer	1076/1069
Bodenart	Sand
Pflanzen pro Reihe / Reihenanzahl	552 Stück / 153 Stück
EG-Pflanzenpassnummer	FE/08/1747
Pflanzgutlieferant	Salvi Vivai Ferrara Italien
Pflanzdatum / Gesamtanzahl Pflanzen	18.07.2017 / 84.456
Reihenlänge / Spurbreite	140 m / 1,10/0,9 m
Tunnelhöhe / Tunnelbreite	3,6 m / 8,9 m
Dammhöhe / Dammbreite oben / Dammbreite unten	0,22 m / 0,18 m / 0,4 m



**Abb. 42:** Tunnel- Erdbeerparzelle auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery (Foto Lisa Meinhardt), von 8 Reihen wurden 6 (3 Doppelreihen) behandelt (1. Doppelreihe mit blauem Pfeil markiert), 2 Randreihen wurden nicht behandelt (schwarzer Pfeil). Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

In diesem Versuch wurden drei Tunnel mit jeweils drei Varianten (inkl. Kontrolle) genutzt. In jedem wurden eine unbehandelte Kontrolle als Variante 1, die Variante 2 (100 mJ/cm<sup>2</sup>) und die Variante 3 (160 mJ/cm<sup>2</sup>) durchgeführt. Die Position der jeweiligen Varianten innerhalb der Tunnel wurde geändert (randomisiert). Der Versuch besteht somit aus drei gleichen Wiederholungen (gleiche Sorte, gleiche Wachstumsbedingungen, gleiche Folienbedeckung), jedoch mit unterschiedlicher räumlicher Anordnung der Varianten. Abbildung 43 stellt den Versuchsaufbau innerhalb der Tunnel dar.



**Abb. 43:** Versuchsaufbau in den Tunneln 2, 3 und 4 auf der Tunnel-Erdbeerfläche auf dem Standort Ducan mit der Erdbeersorte Clery. Die drei Doppelreihen in den Tunneln sind schematisch dargestellt und mit den Varianten bezeichnet

Bei einer Erdbeerkultur der Sorte Clery auf dem Feld „Ducan“ in einer Minidamm-Kultur wurden mit dem UV-C-Ceres II verschiedene Dosen an Strahlung ausgebracht; zudem wurde eine unbehandelte Kontrolle zum Vergleich genommen. Die Versuchsfahrten erfolgten mit dem John-Deere-Traktor Modell 5055E mit offener Fahrerkabine, an der Technik des Gerätes Ceres II wurden keine Änderungen vorgenommen. Die Erdbeerpflanzen wurden, wie in Abbildung 43 dargestellt, in den drei verschiedenen Varianten mit jeweils drei Wiederholungen behandelt. Es wurde in den drei Tunneln jeweils eine Doppelreihe ausgewählt. Entsprechend wurden pro Tunnel in jeder Variante 1.104 Pflanzen bestrahlt, so dass insgesamt 3.312 Pflanzen pro Variante mit UV-C behandelt wurden. Pro Variante erfolgten während jeder Behandlung insgesamt 15 UV-C-

Strahlungsmessungen. Die Behandlungstermine waren der 07.03.2018, der 21.03.2018, der 04.04.2018 und der 19.04.2018.

**Tab. 10:** Messungen der Dosierung der UV-C-Strahlung mit Ceres II in den Varianten 2 und 3, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Durchführung:	Feld: Ducan Clery Variante 2	Feld: Ducan Clery Variante 3
Tag der Messung:	07.03.2018	07.03.2018
Gewünschte Dosierung:	100–120 mJ/cm <sup>2</sup>	80–100 mJ/cm <sup>2</sup>
Gewünschter Effekt:	„hohe Dosierung“	„niedrigere Dosierung“
Tunnel 2, 3 und 4	Fahrgeschwindigkeit A1 (1,21 km/h)	Fahrgeschwindigkeit A2 (1,63 km/h)
Messung Nr.	Messwert in mJ/m <sup>2</sup>	Messwert in mJ/m <sup>2</sup>
1	98,9	36,0
2	175,0	37,4
3	150,0	96,5
4	198,0	108,1
5	125,0	108,2
6	130,0	92,4
7	95,0	75,6
8	101,0	56,5
9	114,0	98,4
10	120,0	90,5
11	127,0	87,2
12	96,0	80,1
13	85,0	99,2
14	110,0	78,7
15	175,0	100,2
Mittelwert	126,7	83,0

In Variante 2 wurde, wie in Abbildung 43 dargestellt, ebenfalls in jedem der drei Tunnel jeweils eine Doppelreihe behandelt. Hier wurde mit der Fahrgeschwindigkeit A2 im Vergleich schneller gefahren, die Strahlungsdosis war daher geringer. Die Fahrgeschwindigkeit A2 entspricht bei einer Nenndrehzahl von 1.600 km/h einer Geschwindigkeit von 1,63 km/h. Die Strahlungsmessungen der Versuchsfahrten am 07.03.2018

der Variante 3 und Variante 2 sind in Tabelle 10 dargestellt. Die weiteren Messungen der Versuchsfahrten finden sich in Tabelle A18 im Anhang. Tabelle 11 zeigt die Mittelwerte aus allen Messungen der Versuchsfahrten im Vergleich.

**Tab. 11:** Mittelwerte der Messungen von UV-C-Strahlung mit Ceres II über alle Behandlungen auf dem Standort Ducan, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Termine der Behandlung	Variante 2 (Zielgröße 80–100 mJ/cm <sup>2</sup> )	Variante 3 (Zielgröße 100–120 mJ/cm <sup>2</sup> )	Einheit
07.03.2018	83,0	126,7	mJ/cm <sup>2</sup>
21.03.2018	91,9	109,3	mJ/cm <sup>2</sup>
04.04.2018	85,4	121,8	mJ/cm <sup>2</sup>
19.04.2018	87,2	124,5	mJ/cm <sup>2</sup>
Mittelwert	86,8	120,6	mJ/cm <sup>2</sup>

Die Variante 1 ist bei dieser Versuchsdurchführung die unbehandelte Kontrolle, das heißt, hier wurde keine Behandlung durchgeführt. Um welche Reihen in den Tunneln es sich bei Variante 1 handelt, ist in Abbildung 43 dargestellt. Bei allen Versuchsfahrten auf dieser Anlage mit dem Ceres II wurden die Fahrzeiten für jede Behandlung sowie der Kraftstoffverbrauch des Traktors erfasst. Die Zeitmessungen wurden mit der Handy-Stoppuhr durchgeführt. Die Messung des Kraftstoffverbrauchs erfolgte mit einem Messbecher, wie bei der Versuchsdurchführung in Kapitel 3.5.2 beschrieben wurde.

### 3.5.6 Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Im Zeitraum vom 08.02.2018 bis zum 16.03.2018 wurde ein Exaktversuch zum Thema „UV-C-Erdbeere“ in der Gewächshausanlage Geisenheim durchgeführt.

In der Glasgewächshausanlage an dem Standort Geisenheim wurde mit der Erdbeersorte Clery eine Erdbeerkultur für einen Versuch mit dem Gerät „Juna“ angelegt. Tabelle 12 fasst die Maße des Gewächshauses und der Tische zusammen.

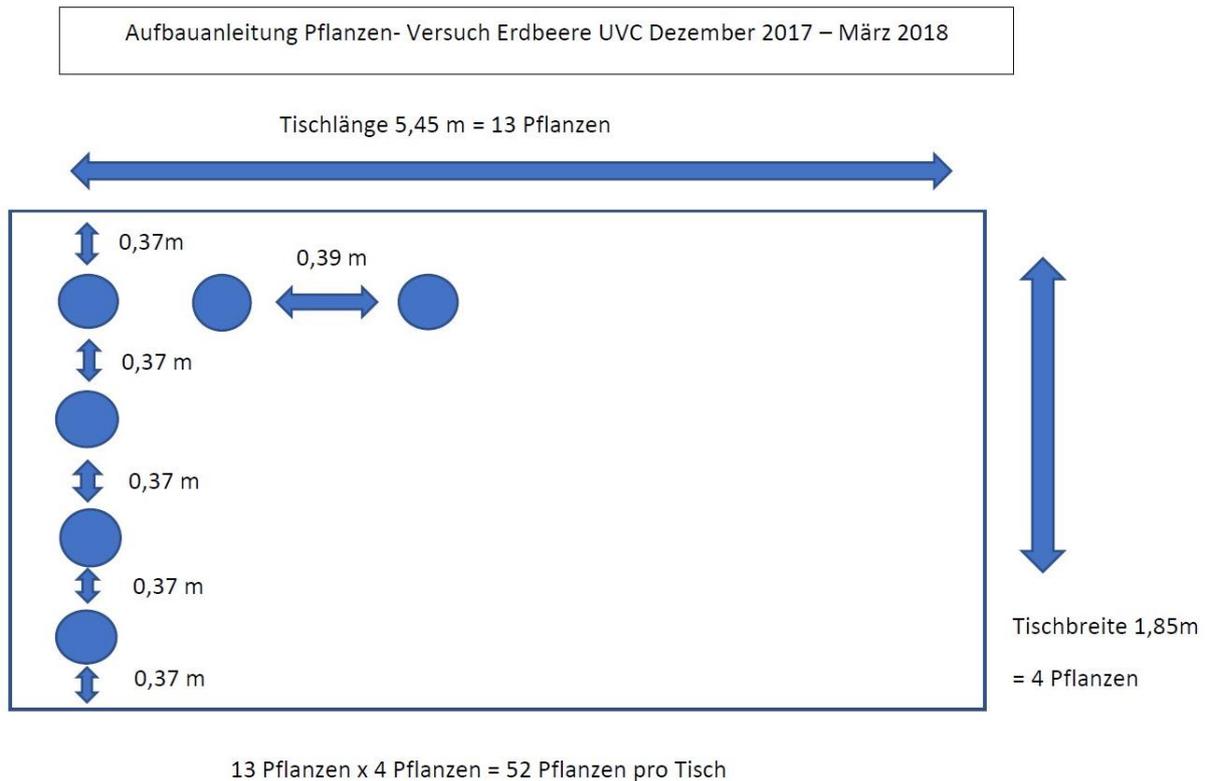
**Tab. 12:** Flächenerfassung Gewächshäuser Obstbau, Haus 12c, Quelle: Störtländer, 2017, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Parameter	Angaben
Länge x Breite (brutto)	9,0 x 6,0 m
Fläche (brutto)	54 m <sup>2</sup>
<b>Gewächshausfläche netto</b>	
Nutzbare Höhe bis Einbauten:	2,2 m
Tischbreite x Tischlänge	1,75 x 5,4 m
Anzahl Tische:	2 Stück
Netto-Kulturfläche gesamt	9,45 m <sup>2</sup>
Lichtquelle	Neon

Bei dem Außenmaterial des Gewächshauses handelt es sich um „Hortiplus-Glas“, ein 4 mm dickes Floatglas. Die Außenseite dieses Floatglases ist mit einer dünnen Metalloxidschicht bedeckt, welche die Wärme verstärkt im Gewächshaus hält (LABOWSKY et al. 2007). In Abbildung 44 sind die Tische mit den Erdbeerpflanzen zu sehen. Jede Pflanze ist mit einem Schild mit Tischnummer, Pflanzennummer und Versuchsvariante versehen. Zusätzlich sind die Varianten noch mit blauen Pflanzensteckern markiert, um bei den Versuchen nicht die falschen Pflanzen zu bestrahlen.



**Abb. 44:** Tische mit Erdbeerpflanzen und Wachstumsbeleuchtung im Glasgewächshaus am Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery im Jahr 2018 (Foto: Lisa Meinhardt), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus



**Abb. 45:** Aufbauanleitung für Erdbeerpflanzen auf Gewächshaustisch im Glasgewächshaus am Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery im Jahr 2018, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Eigene Darstellung

Für den Versuch standen im Gewächshaus zwei Kulturtische zur Verfügung. Die Maße der Tische und die Abstände der Pflanzgefäße untereinander sind Abbildung 45 zu entnehmen. Jeder der zwei Tische bietet Platz für 52 Erdbeerpflanzen im 3,7-Liter-Pflanzcontainer. Der teilrandomisierte Blockaufbau auf den beiden Tischen ist in Tabelle 13 dargestellt. Auf jedem Tisch wurden 17 Wiederholungen der drei Varianten durchgeführt. Die Pflanze an dem mit X markierten Platz wurde nicht ausgewertet.

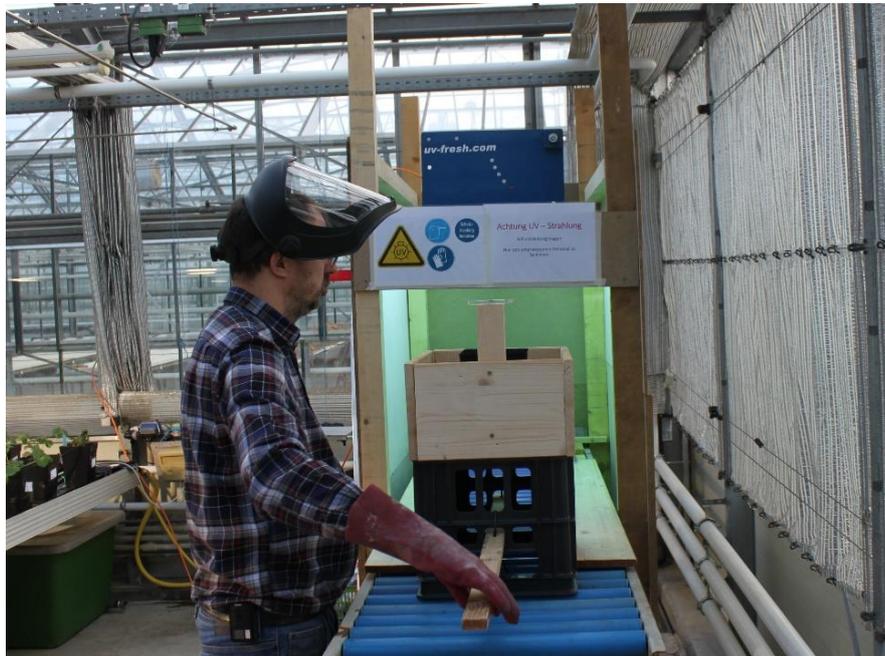
**Tab. 13:** Teilrandomisierter Blockaufbau mit 17 Wiederholungen pro Variante pro Tisch (2 = 90 mJ/cm<sup>2</sup>, 3 = 150 mJ/cm<sup>2</sup>, 1 = unbehandelte Kontrolle, X = Pflanze wurde nicht

ausgewertet), jede Tabelle steht für einen Tisch, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3
2	1	3	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1
3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	2
1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	X

1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3
2	1	3	1	3	2	3	2	1	2	1	3	1
3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	2
1	3	2	3	2	1	2	1	3	1	3	2	X

Das UV-C-Gerät Juna I ist wie in Kapitel 3.2 beschrieben in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Technik der Geisenheim University entwickelt worden. Insgesamt wurden 102 Pflanzen bestrahlt, aufgeteilt in 34 Pflanzen je Variante und 34 Pflanzen in der unbehandelten Kontrolle.



**Abb. 46:** Einstellung Gerät Juna am 10.01.2018 (Foto: Lisa Meinhardt)

In der Holzkiste befindet sich ein leerer Topf, eine Petrischale dient auf einem Holzstück in Höhe von 15 cm über dem Topf als Halterung, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Beim ersten Bestrahlungstermin am 10.01.2018 wurde zunächst die Bestrahlungsstärke auf der oberen Kante des Topfes gemessen. Das Gerät wurde um 9.00 Uhr an

die Stromversorgung angeschlossen, und um 9.15 Uhr wurde mit der Einstellung begonnen, damit die UV-C-Röhren genug Zeit zum Aufwärmen hatten.

Die zu erreichende Zielgröße sollte für Variante 2 zunächst  $90 \text{ mJ/cm}^2$  sein. Hierzu wurden die Tests A und B durchgeführt. Ein leerer Topf wurde in die Halterung gestellt und auf der Rollenbahn mit einem Besenstiel in das UV-C-Modul von Juna geschoben (siehe Abb. 46). Hier wurden der Topf und das Messgerät 20 Sekunden lang bestrahlt und die Werte mit der UV-C-Disc ermittelt. Die ermittelten Bestrahlungsstärken sind in Tabelle 14 aufgeführt.

**Tab. 14:** Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in Bestrahlungshöhe des Pflanztopfes in Variante 2, Test A, Bestrahlungszeit 20 sec, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Test-Nr.	Bestrahlungsstärke	Einheit
Test 1	85,5	$\text{mJ/cm}^2$
Test 2	79,5	$\text{mJ/cm}^2$
Test 3	85,0	$\text{mJ/cm}^2$
Test 4	84,0	$\text{mJ/cm}^2$
Test 5	82,9	$\text{mJ/cm}^2$
Test 6	81,3	$\text{mJ/cm}^2$
Test 7	85,0	$\text{mJ/cm}^2$
Test 8	79,6	$\text{mJ/cm}^2$
Test 9	83,2	$\text{mJ/cm}^2$
Test 10	80,9	$\text{mJ/cm}^2$
Mittelwert	82,7	$\text{mJ/cm}^2$

Im nächsten Schritt wurde die Bestrahlungsstärke auf Topfhöhe und zusätzlichen 15 cm über dem Topf ermittelt, um zu überprüfen, wie hoch die Bestrahlungsstärke an der obersten Blattspitze der Erdbeerpflanze sein könnte. Die Durchführung erfolgte auch hier wie oben beschrieben. Es wurde lediglich die UV-C-Disc in einer Höhe von 15 cm über dem Topf angebracht (siehe Abb. 47). Die gemessenen Bestrahlungsstärken sind in Tabelle 15 aufgeführt.



**Abb. 47:** Holzkiste mit Erdbeerpflanze und Messgerät in der Höhe von 15 cm über dem Topfrand der Erdbeerpflanze am 10.01.2018, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

**Tab. 15:** Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 2, Test B, Bestrahlungszeit 15 sec, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Test-Nr.	Bestrahlungsstärke	Einheit
Test 1	134,1	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 2	128,4	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 3	137,8	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 4	133,2	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 5	132,6	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 6	136,2	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 7	135,3	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 8	138,4	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 9	133,2	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 10	126,0	mJ/cm <sup>2</sup>
Mittelwert	133,5	mJ/cm <sup>2</sup>

Die zu erreichende Zielgröße sollte für Variante 3 eine Bestrahlungsstärke von 150 mJ/cm<sup>2</sup> sein. Hierzu wurden die Tests C und D durchgeführt; das Vorgehen entsprach dem oben beschriebenen. Test C wurde mit einer Bestrahlungszeit von 20 sec bei einer Messung in Topfhöhe durchgeführt. In Tabelle 16 sind die gemessenen Bestrahlungsstärken dargestellt.

**Tab. 16:** Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in der Bestrahlungshöhe des Pflanztopfes in der Variante 3, Test C, Bestrahlungszeit 20 sec., Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Test-Nr.	Bestrahlungsstärke	Einheit
Test 1	110,2	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 2	105,7	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 3	102,4	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 4	97,3	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 5	110,8	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 6	112,3	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 7	103,5	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 8	105,6	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 9	107,5	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 10	110,8	mJ/cm <sup>2</sup>
Mittelwert	106,6	mJ/cm <sup>2</sup>

In Test D sollte für Variante 3 die Bestrahlungsstärke an der möglichen oberen Erdbeerblattspitze ermittelt werden. Die Durchführung erfolgte wie bereits beschrieben mit der UV-C-Disc in einer Höhe von 15 cm über dem Topf. Die gemessenen Bestrahlungsstärken sind in Tabelle 17 aufgeführt.

**Tab. 17:** Einstellung der UV-C-Strahlung mit dem Gerät Juna in der Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 3, Test D, Bestrahlungszeit 20 sec., Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Test-Nr.	Bestrahlungsstärke	Einheit
Test 1	175,4	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 2	175,2	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 3	177,9	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 4	171,0	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 5	175,1	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 6	175,8	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 7	176,6	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 8	173,8	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 9	175,6	mJ/cm <sup>2</sup>
Test 10	177,2	mJ/cm <sup>2</sup>

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde die Messung der UV-C-Strahlung durch die Disc in der Höhe des Topfes plus 15 cm ausgewählt. Die Erdbeeren wurden am 10.01.

2018, 22.01.2018, 01.02.2018 und 08.02.2018 bestrahlt. Für jede einzelne Pflanze wurde die Bestrahlungsdosis zu den einzelnen Terminen erfasst. Die Ergebnisse sind in den Tabellen A14, A15, A16 und A17 im Anhang zu finden. Die Mittelwerte aus diesen Bestrahlungen pro Variante gibt Tabelle 18 wieder.

**Tab. 18:** Mittelwerte des Bestrahlungsversuchs mit dem Gerät Juna in einer Bestrahlungshöhe von 15 cm über dem Pflanztopf in der Variante 2 (Zielgröße 130 mJ/cm<sup>2</sup>) und Variante 3 (Zielgröße 170 mJ/cm<sup>2</sup>), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Termin der Messung	Variante 2	Variante 3
	Angaben in mJ/cm <sup>2</sup>	
10.01.2018	127,5	168,4
22.01.2018	130,2	170,4
01.02.2018	129,8	169,9
08.02.2018	128,3	171,3

Die Pflanzen wurden an den Bestrahlungsterminen in einem standardisierten Verfahren fotografiert. Hierzu wurde eine Kamera auf einem Stativ befestigt und alle Pflanzen wurden vor einem weißen Hintergrund neben einem Zollstock fotografiert (Abb. 48).



**Abb. 48:** Standardisiertes Fotoverfahren (links: von der Seite, rechts von oben), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Ab dem 08.02.2018 wurden die Erdbeerfrüchte aus der Versuchsanlage geerntet. Es wurden für jede Pflanze die Menge der Früchte und das Fruchtgewicht erfasst.

### **3.6 Erfassung der Prüfmerkmale**

#### **3.6.1 Angewandte Analyseverfahren**

Die Bonitur der Erdbeerfrüchte bei allen Feldversuchen erfolgte nach der möglichen Verkaufsfähigkeit der Erdbeerfrüchte. Für die Versuche wurden die Kriterien der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe – UN-Wirtschaftskommission für Europa) als Grundlage herangezogen (UNECE, 2007). Im Betrieb Tannenhof wurden Erdbeeren, die folgende Kriterien der UNECE erfüllten, als vermarktungsfähig eingestuft:

- Durchmesser größer als 18 mm, Fruchtgewicht größer oder gleich 10 g
- frei von Druckstellen
- keine Krüppelfrüchte
- keine Faulstellen oder Schimmelstellen
- keine mechanischen Verletzungen oder Fraßschäden

Alle anderen Erdbeerfrüchte sind nicht vermarktungsfähig und werden von den Erntehelfern in separaten Gefäßen an den Pflückwagen gesammelt (siehe Abb. 14). Bei den UV-C-Versuchen auf dem Tannenhof wurden die Erdbeerfrüchte immer im laufenden Betrieb von den Erntehelfern bei den normalen Erntedurchgängen mitgeerntet. Die Erntehelfer auf dem Betrieb Tannenhof sind angewiesen, sowohl vermarktungsfähige als auch nicht vermarktungsfähige Früchte zu pflücken. Bei allen Erntevorgängen werden aufgrund der im Betrieb verwendeten elektronischen Aufzeichnungssysteme nur volle Erdbeersteigen mit 5 kg erfasst. Das Prämienlohnsystem des Betriebs sieht vor, dass für die geerntete Menge pro Stunde, die über der Mindestleistung liegt, Prämien ausbezahlt werden. Die nicht vermarktungsfähige Menge an Erdbeeren, die der Pflücker mitbringt, wird dabei ebenfalls erfasst. So ist sichergestellt, dass die Erdbeeranlage frei von infizierten Früchten bleibt. In einer Erdbeerkultur, aus der die faulen und schimmeligen Früchte nicht herausgepflückt werden, wird der Befallsdruck schnell so hoch, dass bereits die unreifen Früchte zu schimmeln beginnen und die Ernte eingestellt werden muss. In den Versuchsanlagen wurden die Erntemengen aus den Versuchsreihen im Rahmen der regulären Pflückaufzeichnungen erfasst und ausgewertet. Der einzige Unterschied zu den regulären Pflückaufzeichnungen ist, dass im

Normalverfahren die Erdbeermenge nur pro Erntehelfer erfasst wird. Bei den Versuchen wurde zusätzlich die Menge pro Versuchsreihe erfasst. Die Unterscheidung erfolgte nach den oben aufgeführten Kriterien in „vermarktungsfähige“ und „nicht vermarktungsfähige Ware“.

Bei dem Versuch im Gewächshaus Geisenheim wurden die geernteten Früchte pro Pflanze gezählt, gewogen und nach „vermarktungsfähig“ und „nicht vermarktungsfähig“ bonitiert. Die genannten Kriterien sind auch hier angewandt worden. Zusätzlich wurden die Pflanzen nach jeder Bestrahlungseinheit fotografiert. Es stand zum Zeitpunkt des Versuchs jedoch kein Verfahren zur Verfügung, die Bilder der Pflanzen über einen Fotovergleich zu analysieren. Sollte in Zukunft ein solches Verfahren möglich sein, können die Bilder der Pflanzen nachträglich verglichen werden.

### **3.6.2 Versuch 1: UV-C-Behandlung-Feldversuch I**

Bei dem Versuch wurde die Erntemenge der Früchte erfasst und gemäß dem in Kapitel 3.6.1 vorgestellten Analyseverfahren bonitiert. Die Erntemengen wurden pro Reihe erfasst. Reihe 4 ist die unbehandelte Kontrolle (Variante 1), die Pflanzen wurden hier nicht mit bestrahlt. Reihe 3 entspricht der Variante 2, d. h. einer einfachen Überfahrt mit  $1 \times 55 \text{ mJ/cm}^2$ . Reihe 2 entspricht Variante 3 und damit einer doppelten Überfahrt mit  $2 \times 55 \text{ mJ/cm}^2$ . Alle Erntemengen der insgesamt fünf Erntetermine vom 2.6.2016, 9.6.2016, 16.6.2016, 22.6.2016 und 30.6.2016 sind in Tabelle A19 im Anhang aufgeführt.

### **3.6.3 Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten**

Bei dem Nachernte-Versuch wurden die Früchte nach der Ernte mit verschiedenen UV-C-Bestrahlungsdosen behandelt. Zum Versuchszeitpunkt stand noch keine UV-C-Disc zur Strahlungserfassung zur Verfügung, unterschieden wird daher nach der unterschiedlichen Bestrahlungsdauer. Die Erdbeeren wurden gemäß dem in Kapitel 3.6.1 ausgeführten Analyseverfahren bonitiert. Die Ergebniserfassung findet sich in Tabelle A21. Den Erdbeerschalen mit den bestrahlten Früchten wurde eine Probenummer zugewiesen: 1 = Kontrolle, 2 = 10 Sekunden, 3 = 20 Sekunden, 4 = 60 Sekunden und 5 = 180 Sekunden. Die einzelnen Früchte wurden von 1 bis 10 nummeriert. Die erste bonitierte Frucht der Probe 1 wurde 1-1 genannt, die zweite Frucht 1-2 etc. bis hin zu 1-10.

### **3.6.4 Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II**

Bei diesem Versuch wurde die Erntemenge der Früchte erfasst und nach dem in Kapitel 3.6.1 ausgeführten Analyseverfahren bonitiert. Es wurde nach vermarktungsfähigen und nicht vermarktungsfähigen Früchten unterschieden. Die Ergebnisse wurden ebenfalls im regulären Ernteverlauf während der Ernte auf dem Tannenhof erfasst und in Excel-Tabellen zusammengefasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle A27 im Anhang zu finden. Des Weiteren sollte der Energieaufwand für die Behandlung erfasst werden. Die Vorgehensweise zur Erfassung der Fahrstrecke, der Behandlungsdauer und des Kraftstoffverbrauchs wurde bereits erläutert. Da das Stromaggregat an die Zapfwelle des Traktors angeschlossen war, ist der Dieserverbrauch des Traktors die einzige zu ermittelnde Energiegröße. In Tabelle A27 im Anhang sind die Ergebnisse für die Versuchsfahrten vom 11.7.2017 bis zum 14.08.2017 aufgeführt. Um zu erfassen, ob die UV-C-Strahlung einen Einfluss auf die Blütenbildung hat, erfolgte am 23.08.2017 eine Blütenauszählung. Hierbei wurde in vier Wiederholungen die Anzahl der Blüten mit weißen Kronblättern pro Laufmeter gezählt.

### **3.6.5 Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III**

Bei dem UV-C-Versuch im Tunnel auf der Erdbeerfläche Ducan wurde die Erntemenge der Früchte erfasst und nach den in Kapitel 3.6.1 ausgeführten Analyseverfahren bonitiert. Die Unterscheidung erfolgte nach vermarktungsfähigen und nicht vermarktungsfähigen Früchten im regulären Ernteverlauf während der Ernte auf dem Tannenhof. Die Ergebnisse wurden in Excel-Tabellen zusammengefasst. Jeweils zum entsprechenden Erntetermin erfolgte eine Erfassung der Erntemengen und des Ausschusses der entsprechenden Varianten aus den drei Tunneln. Die Ergebnisse für die Erntetermine vom 29.4.2018 bis zum 10.6.2018 finden sich in Tabelle A24 im Anhang. Für diesen Versuch wurde der Energieaufwand für die Behandlung erfasst. Tabelle A25 im Anhang umfasst die weiteren Ergebnisse für die Versuchsfahrten vom 7.3.2018, 21.3.2018, 4.4.2018 und 19.04.2018.

### **3.6.6 Versuch 5: Glasgewächshausfläche an dem Standort Geisenheim mit der Erdbeersorte Clery**

Die Ergebniserfassung bei der Ernte der Früchte des Exaktversuchs in Geisenheim wurde ausschließlich von Lisa Meinhardt und Hans Störtländer durchgeführt. An den 15 Ernteterminen vom 8.2.2018 bis zum 16.03.2018 wurden die reifen Erdbeerfrüchte

geerntet, bonitiert und gewogen. Bei der Erfassung der Früchte fanden folgende Kriterien Anwendung. Es wurden die Tischnummer sowie die Nummer der Pflanze dokumentiert, an der jede einzelne Frucht geerntet wurde. Die Früchte wurden direkt bei der Ernte in vermarktungsfähig und nicht vermarktungsfähig eingeteilt. Zu jeder Pflanze wurde bei jedem Erntevorgang das Fruchtgewicht der geernteten Erdbeeren ermittelt. Die so erfassten Daten wurden anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen. In Tabelle A22 im Anhang sind alle Ernteergebnisse der entsprechenden Erntetermine aufgeführt.

Am 2.3.2018 und am 16.3.2018 wurden an den Ernteterminen zudem die Anzahl der Ausläufer der Erdbeerpflanzen und deren Länge erfasst. Diese Daten sind ebenfalls in Tabelle A23 im Anhang zu finden.

Die Fotos der Erdbeerpflanzen aus dem standardisierten Fotoverfahren vor einer weißen Wand neben einem Zollstock sind im Ordner „Fotos Geisenheim Exaktversuch“ im Anhang abgelegt. Zu jedem Bestrahlungstermin findet sich ein Foto zu jeder Pflanze.

### **3.7 Statistische Auswertung**

Die Versuche 1, 2 und 3 wurden zur Erprobung des entwickelten UV-C-Gerätes angelegt, um die Funktionsfähigkeit und Wirkung des Gerätes unter Produktionsbedingungen zu testen. Da aus technischen Gründen bei diesen drei Versuchen keine Wiederholung von Prüf-Parzellen und kein randomisierter Versuchsaufbau möglich war, konnte auch keine statistische Einzelauswertung dieser Versuche durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu wurden die Versuche 4 und 5 mit Wiederholungen und randomisiertem Design angelegt, so dass hier eine statistische Einzelauswertung der Messergebnisse möglich war. Aus diesem Grund wurden drei statistische Auswertungen vorgenommen: (1) gemeinsame Serienauswertung der Versuche 1, 3 und 4 sowie (2) Einzelauswertung des Versuches 4 und (3) Einzelauswertung des Versuches 5.

#### *Gemeinsame Serienauswertung der Versuche 1, 3 und 4*

Die Versuche 1 (UV-C-Behandlungs-Feldversuch I), 3 (UV-C-Behandlungs-Feldversuch II) und 4 (UV-C-Behandlungs-Feldversuch III) waren allesamt Feldversuche mit gleicher Fragestellung und vergleichbaren Bedingungen, in denen die Intensität (Dosisierung) der UV-C-Behandlung getestet wurde. Aus diesem Grund wurden diese drei

Versuche einer gemeinsamen Serienauswertung unterzogen. Die Daten der drei Versuche wurden in Excel erfasst und anschließend in SPSS 26.0 importiert (Tab. A30: 3 Ernten zusammengefasst). Die in diesen Versuchen ermittelten Messwerte stellen die Stichprobengröße für die Signifikanzanalyse da. Es wurde der t-Test für unabhängige Stichproben angewandt, mit dem sich feststellen lässt, ob die zu vergleichenden Stichproben aus der gleichen Population stammen. Um dies zu überprüfen, muss zunächst eine Nullhypothese ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) aufgestellt werden, die den Zustand beschreibt, bei dem es keine Abweichungen zwischen den zwei Mittelwerten der einzelnen Stichproben gibt (BORTZ und SCHUSTER 2010: 120). In Bezug auf die drei Versuche lautet die Nullhypothese, dass der Einsatz von UV-C-Strahlung keinen Einfluss auf die Erntemengen der Erdbeeren hat.

Die Erntemenge auf den drei Flächen wurde zu verschiedenen Zeitpunkten, bei unterschiedlichen Bedingungen und mit unterschiedlichen Sorten erfasst. Zunächst wurden die Daten des UV-C-Behandlungs-Feldversuchs II mit dem Faktor 5 gewichtet, um Vergleichbarkeit mit den Daten der anderen beiden Flächen herzustellen (SAND und KUNZ 2020). Diese Vorgehensweise war erforderlich, da die Sorte Murano als remontierende Erdbeersorte niedrigere Erträge als die Sorte Salsa pro Pflückdurchgang realisiert (Salsa erreicht das Fünffache des Ertragsniveaus von Murano). Durch die höhere Gewichtung der Murano-Ernte wurde eine Reduktion der Verzerrungen der Schätzwerte aufgrund von spezifischen Erntemengeneigenschaften einer Variante im Vergleich zu der anderen Variante erreicht und eine bessere Vergleichbarkeit der Werte beider Varianten ermöglicht (SAND und KUNZ 2020).

Die Prüfung der Mittelwert-Unterschiede zwischen den Varianten erfolgte mit dem t-Test für verbundene Stichproben. Der t-Test ist ein Hypothesentest der t-Verteilung. Hierbei kann ermittelt werden, ob sich zwei Stichproben in ihrer Mittelwertverteilung signifikant voneinander unterscheiden (KAPPELHOFF 2018). Um eine valide Aussage auch bei möglichen Verteilungsproblemen zu gewährleisten, wurde zusätzlich ein nichtparametrischer Test, der Wilcoxon-Test durchgeführt, der zu ganz ähnlichen Ergebnissen führt. Der Wilcoxon-Test überprüft, ob sich die Mediane zweier Gruppen statistisch von null unterscheiden. Von den beiden Stichproben wird, um die Signifikanz zu beschreiben, der Median berechnet. Diese beiden Mediane müssen im Falle der Signifikanz einen Unterschied aufweisen (BORTZ und SCHUSTER 2010: 133).

Abschließend wurde mit einer Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen (beinhaltet die 3 Varianten) geprüft, ob sich die unterschiedlichen Flächen, Sorten und

Bedingungen (Tunnel/Freiland) auf die Unterschiede der Varianten auswirken. Die Varianzanalyse ist ähnlich wie der t-Test ein Analyseverfahren für den Mittelwert unabhängiger Stichproben. Die Varianzanalyse unterscheidet sich zum t-Test dahingehend, dass mit ihr mehrere Mittelwerte miteinander verglichen werden können (BROSIGUS 2018: 585).

#### *Statistische Einzelauswertung des Versuches 4*

Mit den Ergebnissen des Versuches 4 wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt, die auf dem Signifikanzniveau von  $\alpha < 0,05$  getestet wurde. Damit sollte überprüft werden, ob die Behandlung mit dem UV-C-Gerät einen signifikanten Einfluss auf die Erntemenge an Erdbeerfrüchten hatte. Als Software wurde dafür die Datenanalyse-Funktion von Microsoft Excel verwendet.

#### *Statistische Einzelauswertung des Versuches 5*

Mit den Ergebnissen des Versuches 5 (UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen Gewächshaus) wurde ebenfalls eine statistische Einzelauswertung durchgeführt. Die Daten aus diesem Versuch wurden in Excel erfasst (Tab. A33: Daten-Geisenheim) und in SPSS 26.0 importiert. Da die Daten nicht der Normalverteilung entsprachen, kamen folgende statistische Tests infrage: die Varianzanalyse (ANOVA), der Kruskal-Wallis-Test und der Mann-Whitney-U-Test. Bei dem Kruskal-Wallis-Test handelt es sich, ähnlich wie bei dem t-Test, um ein Testverfahren, bei dem unabhängige Stichproben auf eine gemeinsame Population getestet werden. Hierbei ist es auch möglich, mehrere Stichproben zu analysieren, denen keine Normalverteilung zugrunde liegt. Zur Auswertung dieses Testes werden die einzelnen Varianzen als ordinalskalierte Variable einander gegenübergestellt. Der Mann-Whitney-U-Test ist ebenfalls ein Rangdaten-test für ordinal skalierte Daten. Er betrachtet jedoch im Gegensatz zum Kruskal-Wallis-Test ausschließlich zwei Populationen (BORTZ und SCHUSTER 2010: 214).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnis der Entwicklung eines UV-C-Gerätes für den Erdbeerertragsanbau

Das Ziel dieser Arbeit sollte es sein, ein UV-C-Gerät zu entwickeln, das für den Praxiseinsatz in einem Erdbeeranbaubetrieb geeignet ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Entwicklung präsentiert. Es sind drei Geräte entstanden, die in verschiedenen Versuchen eingesetzt wurden.

#### 4.1.1 UV-C Ceres Typ 1

Der Ceres Typ 1 (Ceres I) wurde entwickelt, um die ersten Bestrahlungsversuche an Erdbeerflächen im Freiland vornehmen zu können. Für die Konstruktion wurde zunächst ein Stahlrahmen (siehe Abb. 49) konzipiert. Die Anforderungen an den Stahlrahmen sind, dass er das Gewicht des UV-C-Moduls und der dazugehörigen Technik tragen kann und sich von einer Zugmaschine ziehen lässt. Damit der Stahlrahmen gut auf unebenem Untergrund hinter der Zugmaschine gezogen werden kann, wurden unter dem Rahmen Räder montiert. Es wurden hierfür drei Schubkarrenräder mit 400 mm Durchmesser, einer Nabenbreite von 100 mm und einer 17 mm starken kugelgelagerten Achse verbaut. Die Tragfähigkeit jedes einzelnen Rades beträgt 500 kg.



**Abb. 49:** Stahlrahmenkonstruktion für Ceres I (Foto: Lisa Meinhardt)

Eine Lochschiene dient dazu, dass sich der Stahlrahmen einfach und schnell an die Anhängervorrichtung der Zugmaschine an- bzw. von ihr abhängen lässt. Die Fahrspurmaße der Erdbeer-Doppelreihe des Versuchsfeldes geben die Maße des Radstandes (2 m) vor.



**Abb. 50:** Stahlrahmenkonstruktion ohne UV-C-Gerät während der Probefahrt in der Versuchsanlage (Foto: Lisa Meinhardt)

Der fertige Stahlrahmen des Ceres I wurde zunächst ohne UV-C-Modul auf der Versuchsanlage zur Probe durch die Reihen gezogen (Abb. 50), um zu sehen, ob die Konstruktion grundsätzlich stabil und wendig genug ist. Es stellten sich keine größeren Probleme heraus, daher konnten im nächsten Schritt die UV-C-Module (Abb. 51) zum Einsatz kommen.



**Abb. 51:** UV-GREEN-Module Ausführung VA 1.4301 der Firma UV-Technik-Meyer zur UV-C-Behandlung von Oberflächen (Foto: Lisa Meinhardt)

Es handelt sich um zwei UV-GREEN-Module in der Ausführung VA 1.4301 der Firma UV-Technik-Meyer zur UV-C-Behandlung von Oberflächen. Die Module haben eine Gehäuseabmessung von 620 x 628 x 148 mm und sind mit Hochleistungstrahlern mit einer elektrischen Leistung von 110 W ausgestattet. Es sind integrierte elektronische Vorschaltgeräte verbaut, die mit 230 V (50/60 Hz) betrieben werden und mit einem Netzkabel über eine Steckverbindung an den Stromgenerator angeschlossen sind. Zur Kühlung der Hochleistungstrahler sind Masterflex-DN-80-Luftschläuche an drei Radialventilatoren (Typ ENG 2-4,8 / 230 V) angeschlossen (UV-TECHNIK-MEYER GMBH, 2016). Die UV-C-Module und der Stromgenerator SDMO Phoenix 7300 T mit 6,5 kW wurden auf dem Stahlrahmen befestigt und angeschlossen (siehe Abb. 52). Der Generator liefert den notwendigen elektrischen Strom für das UV-C-Modul. Das Datenblatt des Stromgenerators ist in Abbildung A9 im Anhang zu finden.



**Abb. 52:** Die fertige Konstruktion von Ceres I mit auf dem Stahlrahmen verbautem Stromgenerator und den UV-C-Modulen (Foto: Lisa Meinhardt)

#### 4.1.2 UV-C-Gerät Ceres Typ 2

Für den Ceres Typ 2 (Ceres II) wurde der Stahlrahmen des Ceres I angepasst und verstärkt, um die größeren und schwereren UV-C-Module tragen zu können (Abb. 53).



**Abb. 53:** Umbau des Stahlrahmens von Ceres I für Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt)

Die UV-C-Module für den Ceres II wurden im Gegensatz zu den UV-C-Modulen für den Ceres I eigens zu diesem Zweck bestellt und angefertigt. Dabei wurden vier Lampenmodule verbaut; jedes einzelne Modul enthält Hochleistungsstrahler mit je 300 W. Die gesamten Moduleinheiten sind in IP 65 ausgelegt, das ermöglicht eine Reinigung mit einem Wasserstrahl. Die Außenabmessungen der Modulgehäuse sind in Abbildung A10 im Anhang zu finden. Zum Betrieb der Module werden zwei Schaltschränke benötigt, die jeweils zwei Module steuern. Die technischen Zeichnungen der Schaltschränke zeigt Abbildung A11 im Anhang. Die UV-C-Steuereinheiten und die Bedienpanels sind ebenfalls im Schaltschrank verbaut. Im Anhang ist auf Abbildung A12 die technische Zeichnung der UV-C-Steuereinheit im Schrank, in Abbildung A13 die technische Zeichnung des Bedienpanels und in Abbildung A14 das Datenblatt der Lüfter einzusehen. Die Schränke sind ebenfalls wie bei Ceres I für eine eigene Stromversorgung (Generator siehe Datenblatt Abbildung A15 im Anhang) ausgelegt. Der jeweilige Leistungsbedarf entspricht 16 Lampen mit je 300 W; das bedeutet, es werden 4.800 W für die Lampen benötigt. Die beiden zusätzlichen Lüfter für die Lampenkühlung und ein Schaltschrankkühler mit zusammen 300 W ergeben einen gesamten Leistungsbedarf (siehe Datenblatt in Abbildung A14 im Anhang) von 5.100 W. Der Hersteller empfiehlt zudem, 15 % Verlustleistung hinzuzuaddieren. Entsprechend werden  $5.865 \text{ W} = 6 \text{ kW}$  benötigt (UV-TECHNIK-MEYER GMBH, 2016).



**Abb. 54:** Der erste Prototyp des Ceres II (Foto: Lisa Meinhardt), Schaltschränke, Gehäuse und Lüfter sind auf den verstärkten Stahlrahmen gesetzt.

Die erste Installation des Ceres II mit den Schaltschränken, den Gehäusen und den Lüftern auf dem Stahlrahmen vor dem Traktor führte nicht zum Erfolg (Abb. 54). Durch das Gewicht brachen die Räder unter der Unterkonstruktion zusammen. Um das auf dem Stahlrahmen aufliegende Gewicht zu verringern, wurden die Schaltschränke im nächsten Konstruktionsschritt seitlich an der Motorhaube des Traktors befestigt (Abb. 55 und 56).



**Abb. 55:** Seitenansicht des vor dem Traktor montierten Ceres II mit an der Ackerschiene befestigtem Stromgenerator SDMO Phenix 7300 T (Foto: Lisa Meinhardt)



**Abb. 56:** Die fertige Konstruktion des Ceres II mit links und rechts an der Motorhaube befestigten Schaltschränken (Foto: Lisa Meinhardt)

#### 4.1.3 UV-C-Gerät Juna

Die Konstruktion des UV-C-Gerätes Juna wurde für die Bestrahlung von Erdbeerpflanzen im Exaktversuch im Gewächshaus in Geisenheim entwickelt.

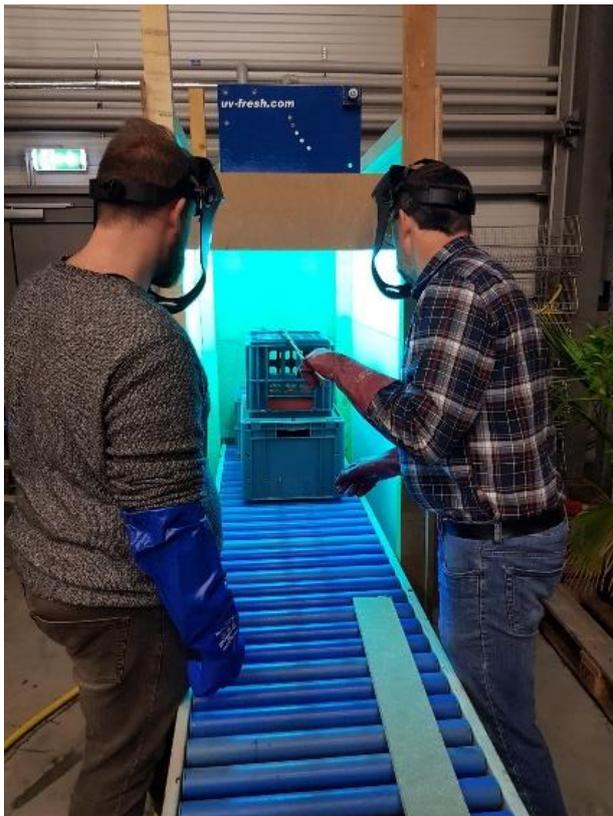


**Abb. 57:** Das UV-C-Modul von UV-C-Technik Meyer, ursprünglich für die Sportrasenpflege vorgesehen (Foto: Lisa Meinhardt)



**Abb. 58:** Holzkasten mit Rollenband (Foto: Lisa Meinhardt)

Ziel der Entwicklung war es, eine Möglichkeit zu schaffen, alle Erdbeerpflanzen im Versuch einer möglichst gleichmäßigen Strahlungsdosis auszusetzen. Dazu wurde das UV-C-Modul (siehe Abb. 57) in einem aus Siebdruckplatten gefertigten Holzkasten befestigt (siehe Abb. 58) und eine Rollenbahn davor montiert. So kann jede Erdbeerpflanze für eine festgelegte Zeit unter den UV-C-Lampen platziert werden und alle Pflanzen bekommen eine annähernd gleiche Strahlungsdosis. Die Maße für den Abstand der Pflanze von der Lampe wurden am ersten Einsatztag bei der Kalibrierung des Gerätes angepasst. Der Abstand von der oberen Kante des Topfes zur Halterung für die UV-C-Disc wurde auf 15 cm festgelegt. Dieses Maß wurde beibehalten, auch wenn die Pflanzen größer geworden waren, um einen möglichst vergleichbaren Wert zu erhalten. Die Abbildungen 59 und 60 zeigen die ersten Mess- und Kalibrierungsversuche bei der Konstruktion von Juna. Der Bau des Gerätes wurde in Zusammenarbeit mit Herrn Hans Störtländer vom Institut für Technik der Geisenheim University ausgeführt.



**Abb. 59:** Erster Testlauf des Gerätes Juna durch Hans Störtländer und Patrick Meinhardt (Foto: Lisa Meinhardt)



**Abb. 60:** Kalibrierung des Gerätes im Gewächshaus Geisenheim durch Hans Störtländer (Foto: Lisa Meinhardt)

## 4.2 Ergebnisse der durchgeführten Versuche

### 4.2.1 Versuche 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I

Die Gesamterntemenge aus dem UV-C-Versuch Freiland-Erdbeerfläche Hausacker mit der Sorte Salsa ist in Tabelle 19 aufgeführt. Die Erntemenge aus der unbehandelten Kontrolle wird als Grundlage eines „normalen Ernteverlaufs“ ohne UV-C-Behandlung angesehen und in der Tabelle als 100 % dargestellt. Das Ergebnis der Untersuchung ist, dass die Erntemenge bei Variante 3, der Variante mit der stärkeren Bestrahlungsdosis, um 18 % höher ausfällt als bei der unbehandelten Kontrolle. Bei Variante 2 mit der geringeren Strahlungsdosis ist die Erntemenge um 8,7 % höher als bei der Kontrolle. Der Ausschuss, also die Menge an nicht vermarktungsfähigen Früchten, die aus dem Bestand herausgepflückt werden müssen, ist bei Variante 3 ungefähr um 5 % und bei Variante 2 um ungefähr 23 % niedriger als in der Kontrolle. Die durchschnittliche Gesamterntemenge pro Pflanze ist bei der Kontrolle und bei Variante 2 mit 2,22 kg pro Pflanze gleich hoch und in der Variante 3 ist sie um 5 % höher als in den beiden anderen Varianten.

**Tab. 19:** Einfluss der UV-C-Behandlung von Erdbeeren auf die Erntemenge und Menge des Ausschusses, Versuch 1, UV-C-Behandlungs-Feldversuch I

Variante	Reihe	Ernte in kg pro Reihe	Ausschuss in kg pro Reihe	Erntemenge pro Pflanze in kg	Ausschuss pro Pflanze in kg	Gesamtmenge pro Pflanze in kg	Erntertrag in Prozent
Variante 1 Kontrolle	4	575	818	0,92	1,30	2,22	100,0
Variante 2 (1 x 55 mJ/cm <sup>2</sup> )	3	625	767	1,00	1,22	2,22	108,7
Variante 3 (2 x 55 mJ/cm <sup>2</sup> )	2	680	778	1,08	1,24	2,33	118,3

Tabelle 20 fasst die Mittelwerte der Behandlungsdauer, des Dieserverbrauchs des Traktors und des Benzinverbrauchs des Aggregats zusammen. Daraus geht hervor, dass erwartungsgemäß die zweifache Überfahrt über die Erdbeerkultur ungefähr die doppelte Zeit und den doppelten Energieverbrauch benötigt. In Tabelle A20 im Anhang sind die Werte für die einzelnen Behandlungstermine aufgeführt.

**Tab. 20:** Einfluss der UV-C-Behandlungsdauer (einfache versus doppelte Überfahrt) auf den Kraftstoffverbrauch (die Minuten wurden in Dezimalzahlen angegeben), Versuch 1, UV-C-Behandlungs-Feldversuch I

<b>Parameter</b>	<b>Variante 2 (einfacher Überfahrt)</b>	<b>Variante 3 (doppelte Überfahrt)</b>
Mittelwert Behandlungsdauer in Minuten (Mittelwert berechnet aus 3 Messungen)	19,55 min	39,28 min
Mittelwert Dieserverbrauch Traktor in Litern (Mittelwert berechnet aus 3 Messungen)	1,00 L	1,97 L
Mittelwert Benzinverbrauch Aggregat in Litern (Mittelwert berechnet aus 3 Messungen)	0,45 L	0,90 L

#### 4.2.2 Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten

Die UV-C-Bestrahlung der Erdbeeren der Anlage Umspannwerk Clery nach der Ernte wurde nur einmal durchgeführt und nicht wiederholt. Tabelle 21 zeigt das Ergebnis der Bonitur vom 25.5.2016.

**Tab. 21:** Bestrahlungsdauer und Boniturergebnis, Bestrahlungsdatum 15.5.2016, Bonitierungsdatum 25.05.2016, Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten

<b>Bestrahlungsdauer</b>	<b>Probennummern</b>	<b>Optisches Erscheinungsbild</b>	<b>Schimmelbildung</b>
Kontrolle	Probe 1-1 bis 1-10	nicht vermarktungsfähig	+
10 Sekunden	Probe 2-1 bis 2-10	nicht vermarktungsfähig	+
20 Sekunden	Probe 3-1 bis 3-10	nicht vermarktungsfähig	+
60 Sekunden	Probe 4-1 bis 4-10	nicht vermarktungsfähig	+
180 Sekunden	Probe 5-1 bis 5-10	nicht vermarktungsfähig	+

Alle bestrahlten Erdbeeren waren nach zehn Tagen nicht mehr vermarktungsfähig und alle Früchte waren mit Schimmel bedeckt bzw. hatten deutliche Faulstellen (siehe

Abbildung 61). Das Anfassen der Früchte, um sie aus den Verpackungen zu nehmen und mit UV-C zu bestrahlen, hat deutliche Abdruckspuren hinterlassen. Diese Verletzungen durch „Fingerabdrücke“ auf den Früchten waren ebenfalls deutlich zu sehen. Es ließen sich keine Unterschiede zwischen den Varianten erkennen.



**Abb. 61:** Erdbeerfrüchte bei der Bonitur am 25.5.2016, Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten (Foto: Lisa Meinhardt)

#### 4.2.3 Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

In diesem Versuch erzielten die mit UV-C-Strahlung behandelten Erdbeerpflanzen eine höhere Erntemenge an vermarktungsfähigen Früchten als die unbehandelte Kontrolle (s. Tabelle 22). Tunnel 11 entspricht der Kontrolle (Variante 1), die Gesamterntemenge von 365 kg wird als 100 % angesehen. Es handelt sich um die Erntemenge, die erzielt wird, wenn keine UV-C-Behandlung durchgeführt wird. Bei Variante 2 in Tunnel 12 mit einer angestrebten Strahlungsdosis von 80–100 mJ/cm<sup>2</sup> konnten 396 kg vermarktungsfähige Früchte erzielt werden, das bedeutet 8 % mehr als bei der unbehandelten Kontrolle. Bei Variante 3 in Tunnel 13 mit einer angestrebten Strahlungsdosis von 100–120 mJ pro cm<sup>2</sup> beträgt die Erntemenge 430 kg, das bedeutet 17 % mehr vermarktungsfähige Früchte gegenüber der Kontrolle.

**Tab. 22:** Gesamterntemenge (in kg) der vermarktungsfähigen Erdbeerfrüchte der Sorte Murano, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

<b>Gesamterntemenge der einzelnen Versuchstunnel in kg (Pflanzen pro Tunnel: 1.884 Stück)</b>			
Datum	Variante 1 Tunnel 11 (Kontrolle)	Variante 2 Tunnel 12 80–100 mJ/cm <sup>2</sup>	Variante 3 Tunnel 13 100–120 mJs/cm <sup>2</sup>
06.07.2017	25	25	30
09.07.2017	20	25	25
13.07.2017	25	25	25
16.07.2017	20	25	25
20.07.2017	35	35	40
24.07.2017	35	35	35
26.07.2017	25	20	25
28.07.2017	30	35	30
31.07.2017	10	5	10
01.08.2017	20	30	30
04.08.2017	25	25	30
07.08.2017	20	20	25
08.08.2017	10	10	10
11.08.2017	20	25	25
15.08.2017	20	20	25
19.08.2017	15	20	25
22.08.2017	10	15	15
<b>Gesamtmenge</b>	365	395	430
<b>Prozent</b>	365 kg = 100 %	108 %	117 %
<b>Gesamtertrag pro Pflanze in kg</b>	0,19	0,21	0,23

Bei der Blütenauszählung am 23.8.2017 wurde in vier Wiederholungen die Anzahl an Blüten mit weißen Kronblättern pro Laufmeter ermittelt (Tabelle 23).

**Tab. 23:** Ergebnis der Blütenauszählung (Blüten mit weißen Kronblättern) am 23.8.2017, Erdbeersorte Murano, 4 Zählungen in 1 Reihe im Abstand von 5 Metern, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Auszählung Nr.	Variante 1 Tunnel 11	Variante 2 Tunnel 12	Variante 3 Tunnel 13
	Zahl der Blüten pro lfd. Meter		
1	16	18	18
2	16	10	8
3	10	17	13
4	11	9	17
Gesamtanzahl der Blüten	53	54	56
relativ	100 %	102 %	106 %

Tunnel 11 stellt die unbehandelte Kontrolle (Variante 1) dar; hier wurden auf insgesamt 4 Meter Länge 53 Blüten gezählt. In Tunnel 12 mit Variante 2 (angestrebte Strahlungs-dosis von 80 bis 100 mJ/cm<sup>2</sup>) wurden 54 Blüten gezählt. Das entspricht 1,88 % mehr Blüten als in der unbehandelten Kontrolle. Bei der Blütenauszählung in Tunnel 13 mit Variante 3 (angestrebte Strahlungs-dosis von 100–120 mJ/cm<sup>2</sup>) fanden sich 56 Blüten auf 4 Metern, das bedeutet 5,66 % mehr als in der unbehandelten Kontrolle.

In Tabelle 24 sind die Mittelwerte aus Behandlungszeit und Energieverbrauch aus insgesamt fünf durchgeführten UV-C-Behandlungen auf der Fläche Karl B42 Murano dargestellt. Für die Fahrten mit der langsameren Geschwindigkeit in Variante 3 zur Erreichung einer höheren Dosierung wurden auf der Fahrstrecke von 318 m 3,22 Minuten mehr Zeit benötigt. Der Dieserverbrauch des Traktors lag bei Variante 3 um 0,3 Liter höher als in Variante 2. In Variante 1, der unbehandelten Kontrolle, fielen keine Behandlungszeit und kein Energieverbrauch an. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche sind im Anhang in Tabelle A27 dargestellt.

**Tab. 24:** Mittelwerte der Behandlungsdauer und des Energieverbrauches (Mittelwerte aus 5 Behandlungen), die Minuten sind in Dezimalzahlen umgerechnet, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Variante	Zurückgelegte Fahrstrecke in Meter	Behandlungs- dauer in Minuten	Dieserverbrauch Traktor in Liter
<b>Variante 2:</b> niedrige Dosierung (Geschwindigkeit A2 = 1,63 km/h)	318 m	16,50	1,5 L
<b>Variante 3:</b> hohe Dosierung (Geschwindigkeit A1 = 1,21 km/h)	318 m	19,70	1,8 L

#### 4.2.4 Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Der Versuch wurde in der Zeit vom 29.04. bis 10.06.2018 an insgesamt 15 Terminen durchgeführt und es wurde an allen Tagen geerntet (Tab. 25). Die Erntemenge aus der unbehandelten Kontrolle wird als Grundlage im Sinne eines „normalen Ernteverlaufs“ ohne UV-C-Behandlung angesehen. Die Teilerträge nahmen von Ende April bis Mitte Mai deutlich zu und erreichten zu diesem Zeitpunkt das Maximum der Frucht-Erträge. Von Mitte Mai bis Ende Juni nahmen die Teilerträge dann wieder kontinuierlich ab. Die Erträge an verkaufsfähiger Ware variierten in der Kontrolle von minimal 95 bis maximal 350 kg, in der Variante 2 von 105 bis 290 kg und in der Variante 3 von 90 bis 360 kg (Tab. 25). In der Summe der 15 Teilernten wurden in der Variante 2 (UV C: 100 mJ/cm<sup>2</sup>) im Vergleich zur Kontrolle ein Mehrertrag von 80 kg bzw. 3,1 % und in der Variante 3 (UV C: 160 mJ/cm<sup>2</sup>) ein Mehrertrag von 315 kg bzw. 12,2 % erzielt.

**Tab. 25:** Einfluss der UV-C-Strahlung auf die Erntemenge an verkaufsfähiger Ware an Erdbeerfrüchten (in kg), Sorte Clery im Jahr 2018, Gesamterntemenge der einzelnen

Versuchstunnel in kg (Pflanzen pro Tunnel: 3.312 Stück), Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

<b>Erntedatum</b>	<b>Variante 1 Kontrolle</b>	<b>Variante 2 (100 mJ/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Variante 3 (160 mJ/cm<sup>2</sup>)</b>
29.04.2018	120	120	130
02.05.2018	120	135	140
05.05.2018	175	180	195
08.05.2018	195	225	260
11.05.2018	275	290	300
14.05.2018	350	265	365
17.05.2018	225	260	265
20.05.2018	205	230	245
23.05.2018	140	150	165
26.05.2018	160	160	180
29.05.2018	140	155	170
01.06.2018	130	140	145
04.06.2018	145	145	140
07.06.2018	110	105	110
10.06.2018	95	105	90
<b>Mittelwert</b>	<b>172,3</b>	<b>177,7</b>	<b>193,3</b>
<b>Gesamtertrag in kg</b>	<b>2.585</b>	<b>2.665</b>	<b>2.900</b>
<b>Gesamtertrag pro Pflanze in kg</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	<b>0,87</b>
<b>relativ</b>	<b>100,0 %</b>	<b>103,1 %</b>	<b>112,2 %</b>

Im Folien-Tunnel-Versuch „Ducan“ wurde neben der verkaufsfähigen Ware auch der Anteil an nicht-verkaufsfähigen Erdbeerfrüchten (Ausschuss) bestimmt. Dies erfolgte unmittelbar auf dem Feld durch Aussondern (Herausplücken) der minderwertigen Früchte.

**Tab. 26:** Einfluss der UV-C-Strahlung auf die Erntemenge an nicht-verkaufsfähiger Ware an Erdbeerfrüchten (Ausschuss, in kg) der Sorte Clery im Jahr 2018, Gesamtausschuss

der einzelnen Versuchstunnel in kg (Pflanzen pro Tunnel: 3.312 Stück), Versuch 4:  
UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

<b>Erntedatum</b>	<b>Variante 1 Kontrolle</b>	<b>Variante 2 (100 mJ/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Variante 3 (160 mJ/cm<sup>2</sup>)</b>
29.04.2018	26	24	23
02.05.2018	15	15	13
05.05.2018	15	21	19
08.05.2018	19	25	25
11.05.2018	46	34	30
14.05.2018	61	45	46
17.05.2018	35	32	31
20.05.2018	29	29	25
23.05.2018	23	21	17
26.05.2018	31	25	21
29.05.2018	23	17	24
01.06.2018	21	19	19
04.06.2018	22	20	19
07.06.2018	16	15	16
10.06.2018	14	17	14
<b>Mittelwert</b>	<b>26,4</b>	<b>23,9</b>	<b>22,8</b>
<b>Gesamtmenge</b>	<b>396</b>	<b>359</b>	<b>342</b>
<b>relativ</b>	<b>100 %</b>	<b>91 %</b>	<b>86 %</b>
<b>Ausschuss pro Pflanze in kg</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>

Tabelle 27 zeigt die Mittelwerte aus Behandlungszeit und Energieverbrauch aus insgesamt vier durchgeführten UV-C-Behandlungen auf der Fläche Ducan mit der Sorte Clery. Für die Fahrten mit der langsameren Geschwindigkeit bei Variante 3 zur Erreichung einer höheren Dosierung wurde auf der gleich langen Fahrstrecke 5,63 Minuten mehr Zeit benötigt. Der Dieserverbrauch des Traktors lag bei Variante 3 um 0,52 Liter höher als bei Variante 2. In Variante 1 wurde keine UV-C-Behandlung durchgeführt, es fielen daher auch keine Behandlungszeit und kein Energieverbrauch an. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche sind im Anhang in Tabelle A28 dargestellt.

**Tab. 27:** Einfluss unterschiedlicher UV-C-Bestrahlung auf die Behandlungsdauer und den Kraftstoff-Verbrauch auf dem Versuchsfeld im Jahr 2018 (die Behandlungsdauer ist in Dezimalminuten dargestellt), Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

Varianten	Zurückgelegte Fahrestrecke	Behandlungs- dauer	Dieserver- brauch Traktor
Variante 2 niedrige Dosierung (Fahrgeschwindigkeit A2, 1,63 km/h)	318,0 m	23,40 min	2,3 L
Variante 3 hohe Dosierung (Fahrgeschwindigkeit A1, 1,21 km/h)	318,0 m	29,0 min	2,8 L

#### 4.2.5 Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Im Einzelpflanzenversuch auf der Gewächshausfläche in Geisenheim wurden die Erdbeerpflanzen in der Variante 2 mit 130 mJ/cm<sup>2</sup> und in der Variante 3 mit 170 mJ/cm<sup>2</sup> bestrahlt und mit der Variante 1, der unbehandelten Kontrollgruppe, verglichen. In Tabelle 30 ist das Ergebnis der Gesamterntemenge des Versuchs aufgeführt. Variante 1 wird als 100 % Ernterwartung angegeben.

**Tab. 28:** Einfluss der UV-C-Strahlungs-Dosis auf den Erdbeer-Ertrag und den vermarktungsfähigen Anteil der Früchte der Erdbeersorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Versuch 5: Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Prüfmerkmale	Variante 1 (Kontrolle)	Variante 2 (niedri- gere Dosierung)	Variante 3 (hohe Dosierung)
Gewicht an vermarktungs- fähigen Früchten in g	2.209	2.202	2.013
Gewicht an nicht vermark- tungsfähigen Früchten in g	410	509	541
Anteil nicht vermarktungs- fähiger Früchte in %	15,7	18,8	21,2
Gesamtgewicht in g	2.619	2.711	2.554
Früchte vermarktungsfähig in %	100	99,7	91,1
Früchte nicht vermark- tungsfähig in %	100	124,2	132,0

Mit Blick auf die Gesamterntemenge der vermarktungsfähigen Früchte zeigt sich im Ergebnis, dass bei Variante 2 um 0,32 % weniger geerntet wurde als in Variante 1 (Tab.28). Die Erntemenge an vermarktungsfähigen Früchten bei Variante 3 beträgt 91,1 %, das bedeutet, es wurden 8,9 % weniger Früchte geerntet als in Variante 1. Letztere ist somit diejenige mit der geringsten Menge an nicht vermarktungsfähigen

Früchten. Bei Variante 2 wurden 24,2 % und bei Variante 3 32,0 % mehr an nicht vermarktungsfähigen Früchten geerntet als in Variante 1 (Tab.28).

In Tabelle 29 wird die Anzahl an geernteten Früchten aufgeführt und diese werden zudem in vermarktungsfähig und nicht vermarktungsfähig unterteilt. Auch hier dient Variante 1 als unbehandelte Kontrolle.

**Tab. 29:** Anzahl der geerntete Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

<b>Prüfmerkmale</b>	<b>Variante 1 (Kontrolle)</b>	<b>Variante 2 (niedrigere Dosierung)</b>	<b>Variante 3 (hohe Dosierung)</b>
Anzahl vermarktungsfähiger Früchte	217	224	208
Anzahl nicht vermarktungsfähiger Früchte	85	100	86
Gesamtanzahl an Früchten	302	324	294
Anzahl Früchte vermarktungsfähig in %	100	103	96
Anzahl Früchte nicht vermarktungsfähig in %	100	103	101

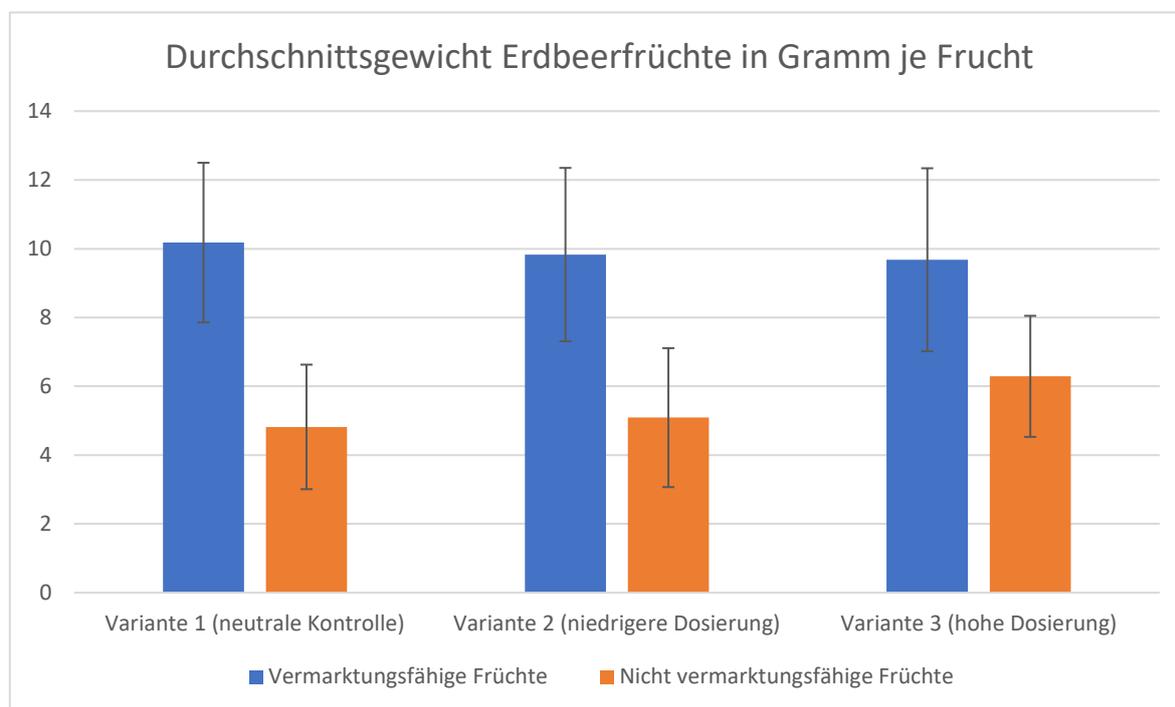
Die Anzahl an vermarktungsfähigen Früchten liegt bei der Variante 2 um 3,2 % höher und bei der Variante 3 um 4,2 % niedriger als in Variante 1. Die Anzahl an nicht vermarktungsfähigen Früchten liegt bei Variante 3 um 1 % höher und bei Variante 2 um 3 % höher als in Variante 1 (Tab. 29).

Der Tabelle 30 sind die Durchschnittsgewichte der vermarktungsfähigen und der nicht vermarktungsfähigen Früchte zu entnehmen. Variante 1 als unbehandelte Kontrolle gibt erneut die 100%-Marke vor.

**Tab. 30:** Durchschnittsgewicht der geernteten Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, Gesamterntemenge von 102 Erdbeerpflanzen, Angaben in g je Frucht, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Prüfmerkmale	Variante 1 (Kontrolle)	Variante 2 (niedrigere Dosierung)	Variante 3 (hohe Dosierung)
Vermarktungsfähige Früchte in g	10,18	9,83	9,68
Nicht vermarktungsfähige Früchte in g	4,82	5,09	6,29
Vermarktungsfähige Früchte in %	100	96,6	95,1
Nicht vermarktungsfähige Früchte in %	100	105,6	130,5

In Variante 2 sind die vermarktungsfähigen Früchte um 3,4 % und in Variante 3 um 4,9 % leichter als in Variante 1. Die nicht vermarktungsfähigen Früchte sind in Variante 2 um 5,6 % und in Variante 3 um 30,5 % schwerer als in Variante 1. In Abbildung 62 ist das Ergebnis grafisch dargestellt.



**Abb. 62:** Durchschnittsgewicht der geernteten Erdbeerfrüchte der Sorte Clery, die senkrechten Striche bilden die Varianz ab, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

Bei der Bonitur wurden die nicht vermarktungsfähigen Früchte, die einen deutlichen Botrytis-Befall aufwiesen, markiert. Tabelle 31 gibt das Ergebnis dieser Erhebung wieder.

**Tab. 31:** Einfluss der UV-C-Dosierung auf die Anzahl an nicht vermarktungsfähigen Früchten und den Botrytis-Befall bei Erdbeeren der Sorte Clery, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

<b>Prüfmerkmale</b>	<b>Variante 1 (Kontrolle)</b>	<b>Variante 2 (niedrigere Dosierung)</b>	<b>Variante 3 (hohe Dosierung)</b>
Anzahl an nicht vermarktungsfähigen Früchten	85	100	86
davon mit Botrytis-Befall	14	8	7

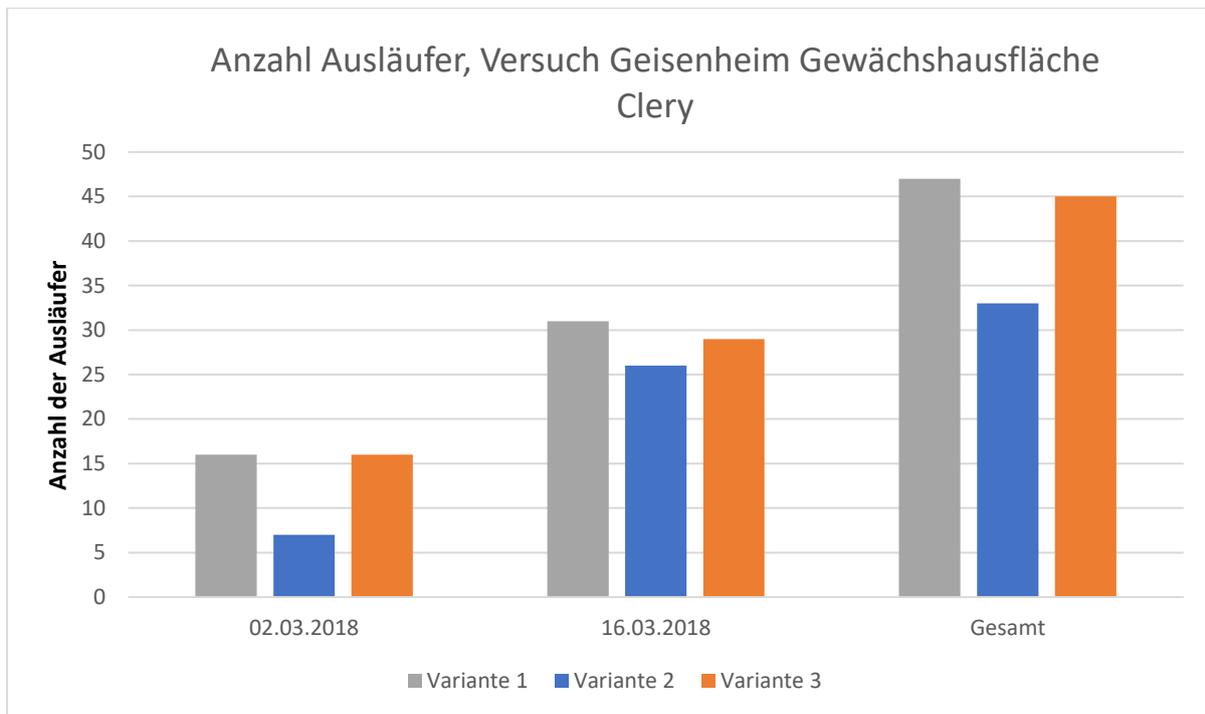
Die Anzahl der nicht vermarktungsfähigen Erdbeer-Früchte war nach UV-C-Behandlung höher (Variante 2) als bzw. gleich hoch (Variante 3) wie in der Kontrolle (Tab. 31). Beim Botrytis-Befall hatte die UV-C-Behandlung mit der hohen Dosierung dagegen eine Halbierung des Befalls im Vergleich zur Kontrolle zur Folge, bei der niedrigen Dosierung fast eine Halbierung (Tab. 31).

Bei den letzten beiden Ernteterminen wurde die Länge der Ausläufer gemessen. Das Ergebnis ist in Tabelle 32 dargestellt.

**Tab. 32:** Einfluss der UV-C-Behandlung auf die Länge der Erdbeerausläufer der Sorte Clery (Mittelwert der Länge pro Ausläufer), Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

<b>Variante</b>	<b>02.03.2018</b>	<b>16.03.2018</b>
Variante 1	16 cm	31 cm
Variante 2	7 cm	26 cm
Variante 3	16 cm	29 cm

Bei Variante 2 und 3 ist die Gesamtlänge der Ausläufer geringfügig kürzer als bei Variante 1. Wieder gibt Variante 1 die Kontrollgruppe vor. Die Anzahl der Ausläufer ist in Abb. 63 dargestellt.



**Abb. 63:** Gesamtanzahl der Erdbeer-Ausläufer, Anzahl der Ausläufer an 34 Pflanzen pro Variante (102 Pflanzen bei 3 Varianten) der Sorte Clery, Versuch 5: UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus

### 4.3 Ergebnisse der Inhaltsstoffuntersuchung

Zusätzlich wurden die Erdbeerfrüchte des Versuchs 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III unter der Leitung von Frau Dr. Erika Krüger des Fachbereichs Obstbau der Hochschule Geisenheim University verschiedenen Analysen der Inhaltsstoffe unterzogen und die Ergebnisse für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Es wurden 1,5 kg Früchte von jeder Variante geerntet und am 23.5.2018 nach Geisenheim transportiert. Dort wurden sie tiefgefroren und später von Prof. Dr. Frank Will aus dem Institut für Getränkforschung der Hochschule Geisenheim University analysiert. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 33 und 34 dargestellt.

Wie Tabelle 33 zeigt, ist der Brix-Wert bei der unbehandelten Kontrolle (Variante 1) am niedrigsten. In Variante 2 ist er um 2,01 % und in Variante 3 um 4,57 % höher als in Variante 1. Das Ergebnis der Untersuchung des Brix-Werts lässt erkennen, dass der Wert in der Variante mit der höchsten Bestrahlungsdosis am größten ist. Der Gesamtsäurewert (pH-Wert) variiert in den drei Varianten nur gering. Die Gesamtphenole in mg/l sind in Variante 1 am höchsten. Es liegen für alle Inhaltsstoffe für jede Variante drei Probeergebnisse vor, alle Ergebnisse finden sich im Anhang in Tabelle A29.

**Tab. 33:** Inhaltsstoffuntersuchung auf Brix, Gesamtsäure, Gesamtphenole und TEAC der Erdbeeren Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Quelle: Labor Prof. Dr. Frank Will, Hochschule Geisenheim University

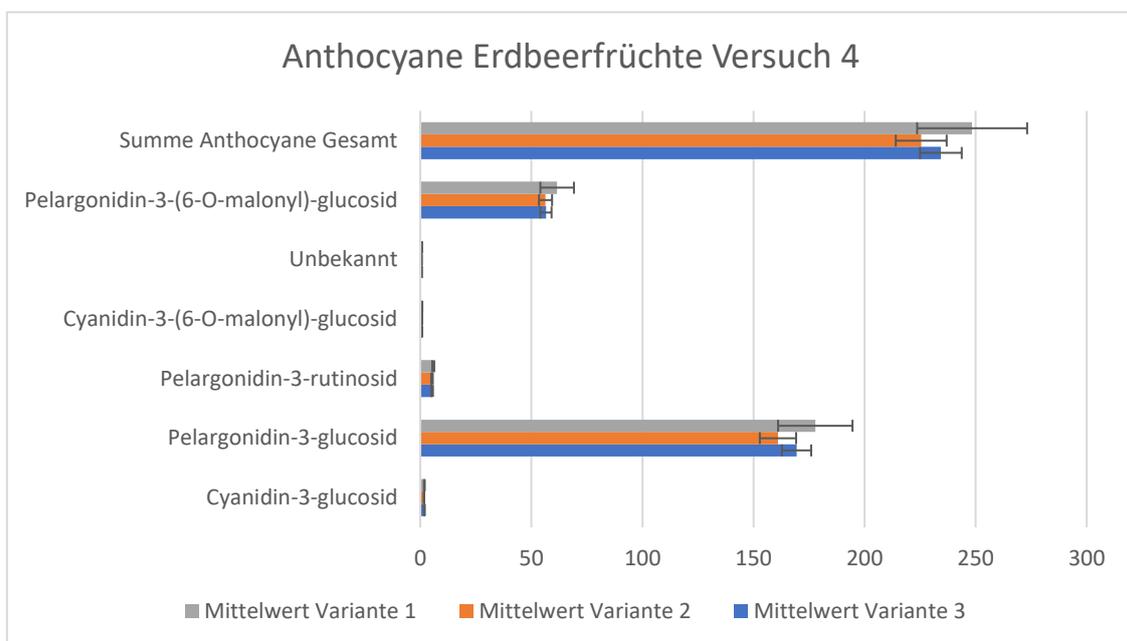
Parameter	Einheit	Mittelwert Variante 1 Kontrolle	Mittelwert Variante 2 100 mJ/cm <sup>2</sup>	Mittelwert Variante 3 160 mJ/cm <sup>2</sup>
Brix	°	7,43	7,58	7,77
Brix (relativ)	%	100,0	102,0	104,6
Gesamtsäure pH 8,1 ber. Cs	g/L	7,50	7,48	7,58
Gesamtsäure pH 8,1 ber. Cs (relativ)	%	100,0	99,7	102,0
Gesamtphenole	mg/L	1355,17	1309,00	1317,50
Gesamtphenole	%	100,0	96,6	97,2
TEAC	mmol/kg Trolox	20,04	18,32	19,44
TEAC (relativ)	%	100,0	91,4	97,0

In Tabelle 34 sind die Ergebnisse der Anthocyane-Untersuchung aufgeführt. Die Gesamtsumme an Anthocyanen ist in Variante 1, der unbehandelten Kontrolle, am höchsten. Wird sie als 100-%-Wert angesehen, dann ist der Wert in Variante 3 bei der höheren Bestrahlungsdosis um 5,67 % niedriger und in Variante 2 bei der niedrigeren Bestrahlungsdosis um 9,23 % niedriger als in Variante 1. Abbildung 64 visualisiert das Ergebnis.

**Tab. 34:** Einfluss der UV-C-Strahlendosis auf die Gehalte an Anthocyanen in Erdbeeren, Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

Quelle: Labor Prof. Dr. Frank Will, Hochschule Geisenheim University

Inhaltsstoffuntersuchung Erdbeeren Sorte „Clery“			Bestrahlungsdosis		
			Kontrolle	100 mJ/cm <sup>2</sup>	160 mJ/cm <sup>2</sup>
Inhaltsstoff	Einheit		Mittelwert Variante 1	Mittelwert Variante 2	Mittelwert Variante 3
Anthocyane					
Cyanidin-3-glu- cosid	mg/kg TM	LCQ	1,83	1,65	1,87
Pelargonidin-3- glucosid	mg/kg TM	LCQ	177,81	161,00	169,37
Pelargonidin-3- rutosid	mg/kg TM	LCQ	5,82	5,25	5,32
Cyanidin-3- (6-O-malonyl)- glucosid	mg/kg TM	LCQ	0,74	0,66	0,65
Unbekannt	mg/kg TM	LCQ	0,62	0,56	0,59
Pelargonidin-3- (6-O-malonyl)- glucosid	mg/kg TM	LCQ	61,60	56,37	56,55
Summe Anthocyane	mg/kg TM	LCQ	248,42	225,50	234,35



**Abb. 64:** Einfluss der UV-C-Behandlung auf die Anthocyan-Gehalte (in mg/kg TM) in Erdbeerfrüchten der Sorte Clery, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III

#### 4.4 Statistische Auswertung der Ergebnisse

##### *Ergebnisse der Serienauswertung (Versuche 1, 3 und 4)*

Die Ergebnisse der drei Versuche (Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II und Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III) wurden, unter Anwendung verschiedener biometrischer Methoden, statistisch analysiert. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind im Anhang (Tab. A31) dargestellt und werden nachfolgend bewertet (Tab. 35).

**Tab. 35:** Ergebnisse der statistischen Auswertung zum Einfluss der UV-C-Strahlung auf den Erdbeer-Ertrag und den Ausschuss an Früchten auf der Basis der drei Versuche (Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III)

Varianten	Prüfmerkmale	SD	t-Test ( $\alpha < 0,01$ )	Wilcoxon-Test ( $\alpha < 0,01$ )
	Erträge (kg)			
Kontrolle	132,0	64,6	a	a
mit UV-C (niedrige Dosis)	146,8	52,9	b	b
mit UV-C (hohe Dosis)	150,1	67,6	b	b
	Ausschuss (kg)			
Kontrolle	40,5	56,2	a	a
mit UV-C (niedrige Dosis)	37,2	53,0	b	b
mit UV-C (hohe Dosis)	37,6	53,8	b	b

*Legende:* Kontrolle: ohne UV-C-Behandlung, SD: Standardabweichung,  $\alpha$ : Irrtumswahrscheinlichkeit, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten

Im Mittel der drei Versuche lagen die Erdbeer-Erträge in der Kontrolle bei 132,0 kg und in den UV-C-Varianten bei 146,8 bzw. 150,1 kg. Ausgehend von einer sehr geringen Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,01$  (hohes Signifikanzniveau von 99 %) zeigt der t-Test, dass die Erträge in den UV-C-Varianten signifikant höher waren als in der Kontrolle (Tab. 35). Zwischen den beiden Dosierungen der UV-C-Behandlung (Varianten 2 und 3) bestanden dagegen keine statistisch gesicherten Unterschiede, da die mit dem t-Test berechneten p-Werte für die Mittelwertunterschiede bei  $> 0,05$  lagen. Daher kann ausgesagt werden, dass die UV-C-Behandlung, unabhängig von der Dosierung, einen positiven Einfluss auf die Erdbeer-Erträge hatte.

Bei Betrachtung der Werte des Ausschusses bestätigt sich die positive Wirkung der UV-C-Behandlung. Hier besteht ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle (unbehandelte Variante) und den beiden mit UV-C behandelten Varianten ( $p < 0,01$ ). Zwischen den beiden UV-C-Varianten war analog zu den Erträgen kein signifikanter Unterschied im Ausschuss vorhanden.

Um eine valide Aussage auch bei möglichen Verteilungsproblemen der Einzelwerte zu gewährleisten, wurde zusätzlich der nichtparametrische Wilcoxon-Test durchgeführt, dessen Ergebnisse ebenfalls in Tabelle 35 dargestellt sind und der zu den gleichen Ergebnissen wie der t-Test kam.

Darüber hinaus wurde zusätzlich eine Varianzanalyse durchgeführt. Gemäß dem Ergebnis dieser Analyse traten keine Interaktionen zwischen den Bedingungen und den Varianten auf (siehe im Anhang Tab. A32).

#### *Ergebnisse der Varianzanalyse zu Versuch 4*

Mit den Ergebnissen von Versuch 4 wurde überprüft, ob die Behandlung mit dem UV-C-Gerät einen signifikanten Einfluss auf die Erntemenge hat (Tab. 36). Es wurde eine zweiseitige Varianzanalyse durchgeführt und bei einem Signifikanzniveau von 95 % ( $\alpha \leq 0,05$ ) getestet. Der P-Wert der Varianzanalyse liegt bei 0,03 und ist somit kleiner als das geforderte Niveau von 0,05. Es besteht somit ein signifikanter Einfluss der UV-C-Behandlung auf die Erntemenge. Zur Kontrolle wurden auch die Prüfgrößen berechnet. Die Prüfgröße F ist mit 5,5 größer als der kritische F-Wert von 4,6. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der unbehandelten Kontrolle und den behandelten Varianten.

**Tab. 36:** Ergebnisse der Varianzanalyse zu Versuch 4 (UV-C-Behandlungs-Feldversuch III)

<i>Quadratsummen (SS)</i>	1844,6
<i>Freiheitsgrade (df)</i>	1,00
<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	1844,6
<i>Prüfgröße (F-Wert)</i>	5,50
<i>P-Wert</i>	0,03
<i>kritischer F-Wert</i>	4,60

### Ergebnisse der Varianzanalyse zu Versuch 5

Der Versuch 5 (UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus) wurde ebenfalls statistisch mit SPSS ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 37 dargestellt. Mit den Daten wurden eine Varianzanalyse (ANOVA), ein Kruskal-Wallis-Test und ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

**Tab. 37:** Ergebnisse der statistischen Auswertung in Bezug auf die Gesamtzahl an Ausläufern im Versuch 5, UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen, Gewächshaus (n = 34), Anzahl der Ausläufer an 34 Pflanzen pro Variante (102 Pflanzen bei 3 Varianten)

Varianten	Mittel	SD	SE	ANOVA ( $\alpha < 0,01$ )	Kruskal-Wallis ( $\alpha < 0,01$ )	Mann-Whitney-U ( $\alpha < 0,01$ )
Kontrolle	0,88	1,274	0,218	a	a	a
mit UV-C (niedrige Dosis)	0,76	1,539	0,264	a	a	a
mit UV-C (hohe Dosis)	0,71	1,488	0,255	a	a	a

*Legende:* Kontrolle: ohne UV-C-Behandlung, SD: Standardabweichung, SE: Standardfehler,  $\alpha$ : Irrtumswahrscheinlichkeit, gleiche Buchstaben bedeuten, dass keine signifikanten Unterschiede vorhanden waren.

Die UV-C-Behandlung führte in der Tendenz zu einer Verringerung der Zahl an Ausläufern der Erdbeer-Pflanzen (Tab. 37). Die angewandten biometrischen Tests erbrachten jedoch alle das Ergebnis, dass die erkennbaren, aber relativ geringen Unterschiede der Ausläuferbildung zwischen der Kontrolle und den UV-C-Bestrahlungsdosen nicht signifikant sind.

## 5 Wirtschaftliche Bewertung der erprobten UV-C-Technik

In den Jahren 2016 bis 2018 wurden auf verschiedenen Erdbeerkulturen im Freiland, im Tunnel und im Gewächshaus Behandlungen mit UV-C-Strahlung durchgeführt. Im Folgenden werden die ermittelten Daten mit Zahlen aus der Kostenrechnung zusammengeführt, um eine wirtschaftliche Betrachtung zu ermöglichen. Ziel ist es, eine Aussage darüber zu treffen, in welchem Kostenrahmen sich der Anschaffungspreis eines UV-C-Gerätes bewegen kann, wenn eine Erntesteigerung durch die UV-C-Behandlung möglich ist.

### 5.1 Wirtschaftliche Bewertung des UV-C-Gerätes in einer Freilandanlage

Es wird zunächst ein fiktives Feld von 1 Hektar Erdbeerpflanzen im Freiland der Sorte Salsa angenommen (siehe Tab. 38). Die Beispielanlage ist 100 m breit und 100 m lang, es müssen 5.000 m zurückgelegt werden, um bei einer Behandlung mit dem UV-C-Gerät Ceres II einmal durch jede Reihe zu fahren. Bei der Behandlung der Anlage fallen 50 Wendezyklen an; wie die Messungen während der Versuche ergeben haben, wird für jeden Wendezyklus mit dem Ceres II eine Zeit von 2 Minuten benötigt.

**Tab. 38:** Daten einer fiktiven Beispiel-Erdbeerenanlage im Freiland mit der Sorte Salsa

<i>Gesamter Fahrweg</i>	5.000 m
<i>Länge</i>	100 m
<i>Breite</i>	100 m
<i>Wendezyklen</i>	50 Stück
<i>Dauer Wendezyklus</i>	2 Minuten
<i>Pflanzen pro Hektar</i>	33.000 Stück

Im Rechenbeispiel (siehe Tab. 39) wird diese Erdbeerenanlage mit einem Standardtraktor mit einem Stundensatz von 14,87 € (KTBL 2009: 61) und einem Traktorfahrer mit einem Stundensatz von 14,68 € mit dem UV-C-Gerät Ceres II behandelt. Daraus ergeben sich Kosten für Traktor und Fahrer von 29,55 € pro Stunde. In den Versuchen wurden mit Ceres II mit einer Fahrgeschwindigkeit von 1,21 km/h die besten Ernteergebnisse erreicht. In Tabelle 39 wird die gesamte Behandlungszeit für einen Hektar berechnet. Multipliziert mit den Kosten für Traktor und Fahrer, ergeben sich die Kosten für das Wenden und Fahren. Als Rüst- und Wegezeit wird ein Wert von 2,9 Stunden

pro Hektar angenommen (KTBL 2009: 1053), die ebenfalls mit dem Stundensatz für Traktor und Fahrer multipliziert werden. Die Gesamtkosten für Traktor und Fahrer für die Behandlung eines Hektars betragen folglich 257,09 €.

**Tab. 39:** Berechnung der Kosten für Traktor und Fahrer bei der UV-C-Behandlung Freiland Salsa, Behandlung mit Ceres II, Feldgröße: 1ha (Darstellung der Stunden im Dezimalsystem), fiktive Beispiel-Erdbeerenanlage

Beschreibung	Rechnung	Benötigte Zeit
Fahrzeit/ha	5.000 m x 1,21 km/h	4,13 Stunden
Drehzeiten/ha	50 Wendungen x 2 Minuten	1,67 Stunden
Behandlungszeit Wenden und Fahren gesamt		5,8 Stunden
Beschreibung	Rechnung	Kosten
Kosten Wenden und Fahren	5,8 Stunden x 29,55 €	171,39 €
Kosten Rüst- und Wegezeiten	2,9 Stunden x 29,55 €	85,7 €
Gesamtkosten pro Behandlung		257,09 €

Für das Rechenbeispiel werden 3 UV-C-Behandlungen für je 257,09 € pro Jahr zugrunde gelegt. Damit entstehen Kosten von 771,26 € für Traktor und Fahrer. Die Beispielanlage besteht aus 33.000 Erdbeerpflanzen. In der unbehandelten Kontrolle im Versuch beliefen sich der vermarktungsfähige Ertrag der Pflanzen ohne UV-C-Behandlung auf 0,92 kg pro Pflanze und der vermarktungsfähige Ertrag der Pflanzen mit UV-C-Behandlung auf 1,08 kg pro Pflanze. Daraus ergibt sich ein gesamter Ertrag auf dem einem Hektar von 30.360 kg ohne UV-C-Behandlung und 35.640 kg mit UV-C-Behandlung.

**Tab. 40:** Berechnung des Mehrertrags durch UV-C-Behandlung, fiktive Beispielanlage Freiland

Beschreibung	Menge und Einheit
Pflanzen pro Hektar	33.000 Stück
Vermarktungsfähiger Ertrag pro Pflanze ohne UV-C-Behandlung	0,92 kg
Gesamtertrag pro Hektar ohne UV-C-Behandlung	30.360 kg
Vermarktungsfähiger Ertrag pro Pflanze mit UV-C-Behandlung	1,08 kg
Gesamtertrag pro Hektar mit UV-C-Behandlung	35.640 kg
Mehrertrag pro Hektar mit UV-C-Bestrahlung	5.280 kg

Der Mehrertrag beträgt 5.280 kg mit der UV-C-Behandlung (siehe Tab. 40). Es wird für die Ernte der Beispielanlage der Großmarktpreis vom 03.06.2016 von 1,60 € pro kg angenommen (AMI 2016). Die Pflückkosten werden anhand der Erfahrungswerte des Betriebes Tannenhof für das Jahr 2016 für die Anlage auf 1 € pro kg festgelegt, die Verpackungskosten gibt der Betrieb mit 0,25 € pro kg an.

**Tab. 41:** Mehrerlös durch UV-C-Behandlung Beispielanlage Freiland

Beschreibung	Rechnung	Betrag
Erlös Ware Mehrertrag	5.280 kg x 1,60 €	8448,00 €
abzüglich Pflückkosten	5.280 kg x 1,00 €	5280,00 €
abzüglich Verpackungskosten	5.280 kg x 0,25 €	1309,44 €
Mehrerlös pro Hektar		1858,56 €

Bei der Beispielanlage kann folglich ein Mehrerlös von 1.858,56 € pro Hektar pro Jahr erzielt werden, wenn eine UV-C-Behandlung durchgeführt wird (Tab. 41). Tabelle 42 zeigt eine Beispielrechnung zur Anschaffung eines UV-C-Gerätes für einen Betrieb mit 10 Hektar Freilanderdbeeren.

**Tab. 42:** Möglicher Anschaffungswert UV-C-Gerät Freiland

Menge	Beschreibung
10	Hektar Freiland x 1.858,56 €
= 18.586 €	Mehrerlös pro Jahr durch Ernte mit UV-C-Behandlung
8	Jahre Absetzung für Abnutzung (Afa)
6 %	Reparaturansatz
= 148.684,80 €	Afa
- 8.921,09 €	minus Reparaturansatz 6 %
- 61.701,60 €	minus Kosten für 24 Behandlungen (3 pro Jahr in 8 Jahren) auf 10 Hektar
= 78.026,11 €	maximale Maschinenkosten
- 31.210,44 €	minus 40 % Risiko
<b>46.815,67 €</b>	<b>Möglicher Anschaffungswert UV-C-Gerät</b>

Der Mehrerlös für diesen Betrieb für 10 Hektar Freilanderdbeeren würde theoretisch 18.586 € pro Jahr betragen. Bei einer Absetzung für Abnutzung (Afa) von 8 Jahren und einem Reparaturansatz von 6 %, abzüglich der Kosten für Traktor und Fahrer von 61.701,60 € für 24 Behandlungen über 8 Jahre, würden sich die maximalen

Maschinenkosten auf 78.026,11 € belaufen. Wenn der Betrieb ein Risiko von 40 % einkalkuliert, beträgt der mögliche Anschaffungswert für ein UV-C-Gerät für diese Kulturform 46.815,67 €. Dies ist ein theoretischer Wert für einen Beispielbetrieb, alle Werte können bei Bedarf angepasst und für jeden Betrieb individuell berechnet werden.

## 5.2 Wirtschaftliche Bewertung des UV-C-Gerätes in einer Hochtunnelanlage

In diesem Rechenbeispiel wird eine Hochtunnelanlage der Sorte Clery als Grundlage genommen (Tab. 43)

**Tab. 43:** Daten einer fiktiven Beispiel-Erdbeer-Anlage im Hochtunnel mit der Sorte Clery

Beschreibung	Menge
Gesamter Fahrweg	5.000 m
Länge	100 m
Breite	100 m
Wendezyklen	50 Stück
Dauer Wendezyklus	2 Minuten
Pflanzen pro Hektar	40.000 Stück

Wie bereits im vorigen Rechenbeispiel wird die Anlage durch einen Standardtraktor (KTBL 2009: 61) und einen Traktorfahrer (KTBL 2009: 1053) mit dem UV-C-Gerät Ceres II behandelt. Der Stundensatz von Traktor und Fahrer zusammen beträgt 29,55 €. Die Fahrgeschwindigkeit wird auch hier aufgrund der Versuche auf 1,21 km/h festgelegt. Die in Tabelle 39 berechneten Gesamtkosten für Traktor und Fahrer für die Behandlung eines Hektars von 257,09 € können auch hier zugrunde gelegt werden. Der Beispielbetrieb würde im Hochtunnel 3 UV-C-Behandlungen zu je 257,09 € pro Jahr durchführen; das bedeutet, es entstehen Kosten von 771,26 € für Traktor und Fahrer. Die Beispielanlage besteht aus 40.000 Erdbeerpflanzen. In der unbehandelten Kontrolle im Versuch lagen der vermarktungsfähige Ertrag der Clery-Pflanzen im Tunnel ohne UV-C-Behandlung bei 0,78 kg pro Pflanze und der vermarktungsfähige Ertrag der Pflanzen mit UV-C-Behandlung bei 0,88 kg pro Pflanze. Daraus ergibt sich ein gesamter Ertrag auf dem berechneten Hektar von 31.200 kg ohne UV-C-Behandlung und 35.200 kg mit UV-C-Behandlung. Der Mehrertrag bei einer UV-C-Behandlung beläuft sich damit auf 4.000 kg (siehe Tab. 44)

**Tab. 44:** Berechnung des Mehrertrags durch UV-C-Behandlung, fiktive Beispielanlage Hochtunnel, Sorte Clery

Beschreibung	Menge
Pflanzen pro Hektar	40.000 Stück
Vermarktungsfähiger Ertrag pro Pflanze ohne UV-C-Behandlung	0,78 kg
Gesamtertrag pro Hektar ohne UV-C-Behandlung	31.200 kg
Vermarktungsfähiger Ertrag pro Pflanze mit UV-C-Behandlung	0,88 kg
Gesamtertrag pro Hektar mit UV-C-Behandlung	35.200 kg
Mehrertrag pro Hektar mit UV-C-Bestrahlung	4.000 kg

Es wird für die Ernte der Beispielanlage der Großmarktpreis vom 16.05.2018 von 2,40 € pro kg angenommen (AMI 2018). Die Pflückkosten des Betriebes Tannenhof für das Jahr 2018 von 1 € pro kg und die Verpackungskosten von 0,25 € pro kg werden auch für diese Anlage zugrunde gelegt.

**Tab. 45:** Mehrerlös durch UV-C-Behandlung, Beispielanlage Hochtunnel, Sorte Clery

Beschreibung	Rechnung	Betrag
Erlös Ware Mehrertrag	4.000 kg x 2,40 €	9.600,00 €
abzüglich Pflückkosten	4.000 kg x 1,00 €	4.000,00 €
abzüglich Verpackungskosten	4.000 kg x 0,25 €	992,00 €
Mehrerlös pro Hektar		4.608,00 €

Bei der Beispielanlage im Hochtunnel kann folglich ein Mehrerlös von 4.608,00 € pro Hektar pro Jahr erzielt werden, wenn eine UV-C-Behandlung durchgeführt wird (Tab. 45).

**Tab. 46:** Möglicher Anschaffungswert des UV-C-Gerätes im Hochtunnel

<b>Menge</b>	<b>Beschreibung</b>
10	Hektar Hochtunnel x 4.608,00 €
= 46.080 €	Mehrerlös pro Jahr durch Ernte mit UV-C-Behandlung
8	Jahre Absetzung für Abnutzung (Afa)
6 %	Reparaturansatz
= 368.640,00 €	Afa auf 8 Jahre
- 22.118,40 €	minus Reparaturansatz 6 %
- 61.701,60 €	minus Kosten für 24 Behandlungen (3 pro Jahr in 8 Jahren)
= 284.820 €	maximale Maschinenkosten
- 113.928,00 €	minus 40 % Risiko
<b>170.892,00 €</b>	<b>Möglicher Anschaffungswert UV-C-Gerät</b>

In Tabelle 46 findet sich eine Beispielrechnung zur Anschaffung eines UV-C-Gerätes für einen Betrieb mit 10 Hektar Hochtunnelanlage der Sorte „Clery“. Der Mehrerlös für diesen Betrieb für 10 Hektar Hochtunnel mit „Clery“ wird mit 46.080 € pro Jahr angenommen. Bei einer Absetzung für Abnutzung (Afa) von 8 Jahren und einem Reparaturansatz von 6 %, abzüglich der Kosten für Traktor und Fahrer von 61.701,60 € für 24 Behandlungen über 8 Jahre, ergeben sich maximale Maschinenkosten von 284.820,00 €. Der Betrieb würde auch hier ein Risiko von 40 % einkalkulieren. Entsprechend beträgt der mögliche Anschaffungswert für ein UV-C-Gerät 170.892,00 €.

## 6 Diskussion

### 6.1 Wirkung von UV-C-Strahlung auf die Qualität von Erdbeeren

Die Erdbeerpflanzen, die mit UV-C-Strahlung behandelt wurden, wiesen in allen Feldversuchen einen höheren Ertrag an vermarktungsfähiger Ware auf. Die Erntemenge, die sich aus der Addition von Ausschuss und verkaufsfähiger Ware ergibt, war meistens ähnlich hoch, der Anteil an verkaufsfähiger Ware war bei den bestrahlten Pflanzen jedoch höher. Das ist so zu interpretieren, dass die Früchte bereits vor dem UV-C-Behandlungszyklus angelegt wurden. Der positive Effekt, den die UV-C-Strahlung auf die Menge an vermarktungsfähigem Ertrag im Freiland hat, ist in diesem Versuch deutlich geworden. Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Mengen der vermarktungsfähigen Erdbeerfrüchten in den gibt, wenn die Früchte mit UV-C-Bestrahlung behandelt wurden.

Der UV-C-Behandlungs-Feldversuch I im Freiland wurde im Jahr 2016 durchgeführt. In diesem Jahr wurde viel Feuchtigkeit während der Ernte zu einem ernsthaften Problem für Erdbeeren im Freilandanbau. Die Sorte Salsa ist mit ihren großen Früchten besonders anfällig für Botrytis. In den Versuchen im Hochtunnel konnte ebenfalls ein höherer vermarktungsfähiger Ertrag erzielt werden. Im Versuch 5, dem UV-C-Behandlungs-Versuch Geisenheim, wurde diese Untersuchung demgegenüber durchgeführt, allerdings ließ sich auch hier kein eindeutiges Ergebnis erzielen. Zwar konnte die Bestrahlungsdosis, der eine Erdbeerpflanze ausgesetzt war, genauer dokumentiert werden, die einzelnen Testmerkmale ließen sich aber nicht eindeutig belegen. Es wurde in dem Einzelpflanzenversuch bei den bestrahlten Varianten sogar ein etwas geringerer vermarktungsfähiger Ertrag geerntet. Hier wurden die nicht vermarktungsfähigen Früchte, die einen Botrytis-Befall aufwiesen, erfasst. In der Variante mit der höchsten Bestrahlungsdosis wurde der geringste Botrytis-Befall beobachtet. Bei BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER 2013 wurde ein geringerer Botrytis-Befall bei Trauben nach UV-C-Behandlungen beschrieben, bei Erdbeeren scheint dies auch der Fall zu sein. Die Vermutung, dass die Bildung der Stolonen durch die UV-C-Behandlung gehemmt wird, konnte nicht bestätigt werden. In der Forschungsarbeit von BERKELMANN-LÖHNERTZ und KLÄRNER (2013) wird beschrieben, dass Weinreben erst am einer UV-C-Bestrahlungsdosis von über  $600 \text{ mJ/cm}^2$  Schäden aufweisen. Diese Bestrahlungsstärken wurden in den Versuchen hier mit den Erdbeeren nie erreicht. Es scheint daher so, dass die hier genutzten Strahlungsdosen keinen Einfluss auf die vegetative Vermehrung der Erdbeere haben.

Die Inhaltsstoffuntersuchungen haben ergeben, dass der Brix-Wert in der Variante mit der höchsten Bestrahlungsdosis minimal erhöht ist, während der Gesamtphenolgehalt und der TEAC-Wert etwas niedriger als in der unbehandelten Kontrolle sind. Die Probe hat ebenso gezeigt, dass der Gehalt an Anthocyanen bei der Variante mit der höchsten Bestrahlungsdosis geringfügig kleiner war als in der unbehandelten Kontrolle. Tendenziell kann dennoch aufgrund dieses Versuches die Aussage getroffen werden, dass sich die Inhaltsstoffe der behandelten Erdbeerfrüchte nicht deutlich von denen der unbehandelten Erdbeerfrüchte unterscheiden. Dies bestätigt insofern die Ergebnisse aus den UV-C-Versuchen im Weinbau (siehe Kap. 2.2.4.2).

In anderen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet gibt es hinsichtlich der Inhaltsstoffe andere Ergebnisse. ANTONEN et al. (2006) untersuchten, wie sich verschiedene Kulturmaßnahmen auf die Inhaltsstoffe von Erdbeeren auswirken; insbesondere der Anthocyan-Gehalt und die Menge an Flavonoiden wurden dabei beachtet. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass erhöhte Düngegaben den Gehalt der Inhaltsstoffe zum Negativen verändern können. Dabei spielt eine Vielzahl von unterschiedlichen Nährstoffen eine Rolle. Wenn die Pflanzen verschiedenen Stresssituationen ausgesetzt sind oder auf veränderten Untergründen sowie im Unterglasanbau wachsen, verändert dies auch den Gehalt der Inhaltsstoffe. In anderen Versuchen, wie dem von XIE et al. (2014) konnte bei bestrahlten Erdbeerfrüchten keine deutliche Abweichung des Gesamtphenolgehalts zu der unbehandelten Variante festgestellt werden.

In den hier genannten Versuchen wurde mit Erdbeerfrüchten in der Nacherntebehandlung gearbeitet. In keiner der aufgeführten Arbeiten wurden die Erdbeeren auf dem Feld bestrahlt. Eine weitere Untersuchung von Erdbeeren mit Nacherntebehandlung ist die Arbeit von POMBO et al. (2010). Ihre Ergebnisse zeigen eine Verbesserung der Fruchtqualität bei Früchten, die mit einem geringen Rotanteil nach der Ernte bestrahlt wurden. Diese Methode kommt für Erdbeerfrüchte infrage, die noch fast grün gefärbt für den Export gepflückt werden. Die Früchte für den Frischmarkt innerhalb Deutschlands werden bevorzugt reif und nicht zu fest gepflückt. Dementsprechend sind auch die Sorten vom Typ her andere als die, welche POMBO et al. (2010) bei der Untersuchung verwendet haben.

Die Behandlung mit UV-C-Strahlung direkt auf dem Feld ist sehr aufwendig und kostenintensiv. In den meisten bisherigen Untersuchungen wurden die geernteten Erdbeerfrüchte bestrahlt. Direkte Vergleiche zwischen diesen unterschiedlichen Verfahren sind aufgrund der unterschiedlichen Ansätze daher schwierig. Bevor weiter in die

Forschung zur und in die Entwicklung der UV-C-Technik investiert wird, sollte zudem der Punkt der Rechtssicherheit geklärt werden. Nach aktueller Rechtslage gibt es keine Einschränkungen für den Einsatz von UV-C-Behandlungen im Erdbeeranbau, bei der schwierigen Lage der Landwirtschaft in Deutschland stellt sich aber die Frage, ob das so bleibt. Es besteht permanent das Risiko, dass der Verbraucher und die breite Masse nur den Ausdruck „bestrahlte Erdbeeren“ hören und die entsprechende Ware ablehnen. Dass es sich hierbei um eine Qualitätsverbesserung ohne den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln handelt, könnte in diesem Kontext unter Umständen keine Beachtung finden. Die alleinige Ertrags- bzw. Qualitätssteigerung ist zwar ein gutes Argument für den Einsatz eines UV-C-Gerätes bei den Erdbeerproduzenten, lehnt der Verbraucher solche Früchte allerdings ab, kann das Verfahren noch so erfolgreich sein, es wird nicht großflächig eingesetzt werden können.

## **6.2 Eignung der UV-C-Technik unter Freilandbedingungen**

Die Freiland-Erdbeerfläche Hausacker mit der Sorte Salsa wurde als erste Fläche in der Versuchsreihe mit UV-C-Strahlung behandelt. Die Erdbeerpflanzen, die mit UV-C-Strahlung behandelt wurden, wiesen einen höheren Ertrag an vermarktungsfähiger Ware auf. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Erntemenge, wenn Ausschuss und verkaufsfähige Ware addiert werden, bei allen drei Varianten vergleichbar hoch ist. Das ist so zu interpretieren, dass die Früchte bereits vor dem UV-C-Behandlungszyklus angelegt wurden. Bei der Menge der verkaufsfähigen Ware ist allerdings deutlich zu erkennen, dass die mit UV-C-Strahlung behandelten Pflanzen, die der höheren Strahlungs-dosis ausgesetzt waren, 17 % mehr vermarktungsfähige Ware produzierten als die unbehandelte Kontrolle. Der positive Effekt, den die UV-C-Strahlung auf die Menge an vermarktungsfähigem Ertrag im Freiland hat, ist in diesem Versuch deutlich geworden. Der Freilandversuch wurde im Jahr 2016 durchgeführt, in diesem Jahr wurde viel Feuchtigkeit in der Ernte zu einem ernsthaften Problem für Erdbeeren im Freilandanbau. Die Sorte Salsa ist mit ihren großen Früchten besonders anfällig für Botrytis, daher kann nicht pauschal davon ausgegangen werden, dass diese Art der Behandlung bei jeder Erdbeerkultur zu mehr Ertrag führt.

Das UV-C-Gerät „Ceres I“ als erster Prototyp im Freilandanbau hat gezeigt, dass für eine wirtschaftliche Nutzung in der Praxis eine höhere Strahlungsleistung notwendig ist, um mit einer höheren Geschwindigkeit fahren zu können. Die wirtschaftlichen Berechnungen zeigen, dass die Arbeitszeit und die damit verbundenen Kosten für Traktor

und Fahrer den möglichen Mehrerlös mindern. Erdbeeren aus Freilandkulturen, die erst Ende Mai oder Juni geerntet werden, haben einen niedrigeren Verkaufspreis als die früheren Erdbeeren im Hochtunnel. Zudem muss an der gesamten Konstruktion des Gerätes gearbeitet werden, um es besser nutzbar, weniger sperrig und vor allem leichter dreh- und fahrbar zu machen. Eine UV-C-Behandlung im Freiland mit dem Ceres II würde, ohne Berücksichtigung der Anschaffungskosten für das Gerät, ca. 260 € je ha und Behandlung (für Technik und Fahrer) kosten. Wie die wirtschaftliche Berechnung in Kapitel 5.1 zeigt, könnte ein Beispielbetrieb mit 10 Hektar Freilandfläche für ein UV-C-Gerät 46.815,67 € ausgeben, wenn er es 8 Jahre nutzt und mindestens den errechneten Mehrertrag von 5.280 kg pro Hektar realisiert.

Wenn es möglich ist, die gleiche Strahlungsleistung mit einer höheren Geschwindigkeit auszubringen und die Behandlungskosten zu reduzieren, wird sich ein Erdbeerproduzent wahrscheinlich eher dazu entscheiden, eine solche Anschaffung zu tätigen. Es war nicht Gegenstand dieser Untersuchung zu berechnen, welche Kosten für Entwicklung und Bau eines UV-C-Gerätes entstehen. Es kann nur die Aussage gemacht werden, dass sich der Anschaffungspreis für die Module des Ceres II auf 30.000 € belaufen und der Stromgenerator 4.000 € gekostet hat. Alle weiteren Arbeiten, wie die Konstruktion des Stahlrahmens, die Schweißarbeiten und das Zusammenbauen der Teile, wurden im laufenden Betrieb von Lisa und Patrick Meinhardt geleistet. Viele der verwendeten Teile stammten aus Reststücken von alten Maschinen. Es kann die Vermutung angestellt werden, dass die oben angegebenen 46.815,67 € wahrscheinlich nicht ausreichen, um ein UV-C-Gerät wirtschaftlich zu bauen und zu verkaufen. Aus diesem Grund wäre es ein Ansatz, die 61.701,60 € für Behandlungskosten zu reduzieren.

Auf der Grundlage der wirtschaftlichen Berechnungen kann die Aussage getroffen werden, dass sich eine Investition in ein UV-C-Gerät angesichts der fehlenden Planungssicherheit bei einer Freilandanlage wahrscheinlich nicht lohnt. Die Begründung hierfür ist, dass eine UV-C-Behandlung bei Regen und einer entsprechenden Benetzung der Blätter mit Feuchtigkeit nicht sinnvoll ist. Im genannten Beispielbetrieb würde die einmalige Behandlung von 10 Hektar Freilandkulturen ca. 58 Stunden dauern und sich so auf mehr als eine Arbeitswoche für eine Vollzeitkraft belaufen. Bei 3 gewünschten Behandlungen im Abstand von jeweils 1 Woche müsste es daher mehr als 3 Wochen, eher 4 Wochen lang trocken sein und es dürfte nicht regnen. Abgesehen davon, dass eine solche langanhaltende Trockenheit in der Vegetationsphase in der Landwirtschaft nicht wünschenswert ist, besteht dafür ohnehin eine nur geringe Wahrscheinlichkeit.

Das bedeutet, die Behandlungszeit müsste reduziert werden. Möglich wäre dies durch eine stärkere Strahlungsleistung der Module, da dies eine höhere Fahrgeschwindigkeit zulassen würde. Neben der Fahrgeschwindigkeit wäre auch denkbar, einen autonomen, selbstfahrenden Roboter zu entwickeln, der Tag und Nacht selbstständig Behandlungen durchführt. Damit könnten Kosten für die Arbeitskraft und für den Traktor eingespart werden. Ob der zu erzielende Mehrerlös hierfür ausreichen würde, ist jedoch fraglich. Zudem kommen hier wieder Kosten für eine qualifizierte Arbeitskraft dazu, die den Roboter aufstellt und überwacht.

Die ursprüngliche Idee, die Früchte nach der Ernte zu behandeln, stellte sich rasch als nicht sinnvoll heraus, da die Erdbeeren nur von oben bestrahlt werden können. Aus wirtschaftlicher Sicht müssen sie auf dem Feld direkt in die Verkaufsverpackungen gepflückt werden. Sie dürfen danach nicht mehr berührt und schon gar nicht aus der Verpackung genommen und wieder hineingesetzt werden, da Berührungen zu zusätzlichen Druckstellen an den Früchten führen. Solche Druckstellen sind stets die ersten Bereiche, an denen der Botrytisbefall auftritt. Bei Erdbeerkulturen, in denen die Früchte mit einem hohen Rotanteil geerntet werden, ist es daher nicht durchführbar, die Früchte nach der Ernte zu behandeln; die Behandlung muss in der Kultur und vor der Ernte erfolgen. Die einseitig bestrahlten Früchte zeigten auch nach einigen Tagen im Kühlhaus kein anderes Bild als die nicht bestrahlten Früchte.

Bei Nachernteversuchen von COTEA et al. (2013) in Argentinien konnte zwar ein positiver Effekt auf die Qualität von Erdbeeren und Tomaten nachgewiesen werden. In den Versuchen von PAN et al. (2004), die ebenfalls in Argentinien durchgeführt wurden, konnte im gleichen Maße von positiven Ergebnissen bei der Verbesserung der Fruchtqualität berichtet werden. Es handelt sich bei diesen Versuchen jedoch um Nachernteveruche, die Erdbeerfrüchte wurden nur mit einem Rotanteil von 50 % gepflückt. Solche Ware ist für den Export bestimmt. In Deutschland werden die Erdbeeren mit einem Rotanteil von 90 % geerntet und sind deutlich weicher und empfindlicher. Das Berühren der Früchte nach der Ernte für eine Nacherntebehandlung ist nicht möglich.

Für Nacherntebehandlungen von Erdbeeren kommen vielleicht zukünftig andere Verpackungslösungen infrage, in denen die Erdbeeren nur nebeneinanderliegen und bestrahlt werden könnten, ohne aus der Verpackung herausgenommen zu werden. Das Problem bleibt aber, dass nur ein Teil der Erdbeeren bestrahlt werden kann und nicht die ganze Frucht. Eine UV-C-Bestrahlung nach der Ernte eignet sich daher nur für Früchte oder Gemüsesorten, die nach der Ernte sortiert oder aufbereitet werden. Eine

denkbare Option wäre sie beispielsweise bei Spargelsortieranlagen oder bei Apfelwasch- oder -sortieranlagen. In diese Verfahren könnte eine UV-C-Behandlung leicht integriert werden.

### **6.3 Eignung der UV-C-Technik im Folientunnel**

Das Gerät UVC-Ceres II wurde in den Versuchen nur im Hochtunnel eingesetzt. Es verfügt über eine wesentlich höhere Leistung als Ceres I und ist deutlich größer und schwerer. Die Handhabung des Gerätes in der Kultur stellte sich als schwierig heraus. Der große Generator musste hinter dem Traktor angebracht werden und die Schaltschränke direkt an der Motorhaube des Traktors. Die Gewichtslast auf der Fronthydraulik war im Grunde genommen hier bereits zu hoch. Das Gerät müsste für das Fahren im Tunnel leichter und wendiger gestaltet werden, da auch hier eine schnellere Fahrgeschwindigkeit die Kosten für die Behandlung deutlich reduzieren würde.

Der höhere Erlös für die Erdbeeren bei der Ernte im Hochtunnel macht den Einsatz des UV-C-Gerätes hier interessanter als im Freiland. Der deutlich höhere Mehrerlös in einer Tunnelanlage lässt sich mit dem höheren Vermarktungspreis der Früchte erklären. Je höher der Erlös pro Kilogramm ist, desto mehr Geld kann in Maßnahmen investiert werden, die den Ausschuss minimieren. Zudem ist das Risiko einer Missernte aufgrund von Schlechtwetterereignissen im Hochtunnel deutlich reduziert. Hier kann auch bei Regen jederzeit geerntet werden und die Früchte erleiden durch diesen Niederschlag keinen Qualitätsverlust. Im Rechenbeispiel in Kapitel 5.2 konnte der mögliche Anschaffungswert eines UV-C-Gerätes für den Beispielbetrieb mit 10 Hektar Tunnelanlage mit 170.892,00 € ermittelt werden. Diese theoretische Summe ermöglicht mehr Kapazitäten für ein praxistaugliches Gerät, auch mit Blick auf Automatisierungsprozesse. Das Gerät könnte zum Beispiel auch auf einem festinstallierten Schienensystem eingesetzt werden. Ein solches System könnte in Stellageanlagen eingebaut werden und völlig ohne Anwendergefährdung während der Nachtstunden automatisch die Bestrahlung durchführen.

### **6.4 Beantwortung der Thesen**

Die erste These „Durch UVC-Bestrahlung wird der Befall der Erdbeerfrüchte durch Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea*) reduziert“ konnte nicht eindeutig bewiesen werden. Im Versuch 5, UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen in Geisenheim, kam

bei der Variante mit der höchsten Bestrahlungsdosis zwar der geringste Botrytisbefall vor, jedoch konnte dieser Effekt im Ergebnis der statistischen Bewertung nicht signifikant bewiesen werden. Die geringere Menge an Ausschuss in den Feldversuchen lässt vermuten, dass ein geringerer Botrytisbefall vorliegen könnte. Der geringere Ausschuss konnte auch in beiden Behandlungsvarianten gegenüber der unbehandelten Kontrolle statistisch belegt werden.

Die zweite These „Die Behandlung von Erdbeerpflanzen mit UV-C-Strahlung während der Wachstumsperiode führt zu quantitativen Unterschieden der Inhaltsstoffe der Erdbeerfrüchte“ konnte nicht bewiesen werden. Die durchgeführte Untersuchung hat ergeben, dass sich die Inhaltsstoffe der behandelten Erdbeerfrüchte nicht deutlich von denen der unbehandelten unterscheiden. Die These kann daher, auch aufgrund der zu geringen Probenanzahl, nicht statistisch bewiesen werden.

Die dritte These „Durch UV-C-Bestrahlung erhöht sich der vermarktungsfähige Ernteertrag pro Pflanze“ konnte statistisch belegt werden. In den drei Feldversuchen wurde bei allen drei untersuchten Erdbeersorten (Clery, Murano und Salsa) ein höherer vermarktungsfähiger Frucht-Ertrag pro Pflanze nachgewiesen. Dieser Effekt ließ sich auch durch Anwendung statistischer Methoden absichern.

Die vierte These „Durch UV-C-Bestrahlung reduziert sich die Zahl der Ausläufer an den Erdbeerpflanzen“ konnte im Versuch 5, UV-C-Behandlungs-Versuch Einzelpflanzen in Geisenheim, nicht eindeutig beantwortet werden. In der Variante mit der geringeren Strahlungsdosierung wurden in dem Exaktversuch die wenigsten und die kürzesten Ausläufer gemessen. Das würde bedeuten, dass eine geringere Strahlungsdosierung eine bessere ausläuferreduzierende Wirkung hätte als eine höhere Strahlungsdosierung. In dem Versuch wurden in der Kontrolle die meisten und die längsten Ausläufer gezählt. Die UV-C-Behandlung führte somit nur in der Tendenz zu einer ausläuferreduzierenden Wirkung, die jedoch statistisch nicht belegt werden konnte.

Die fünfte These „Durch Behandlung mit UV-C-Strahlung ist ein höherer Erlös im Ertragsanbau zu erwarten“ hat in jedem der drei Versuche zugetroffen. Es konnte für die untersuchten Reihen bzw. Tunnel ein höherer Erlös erzielt werden. Dies ließ sich auch statistisch belegen.

## Zusammenfassung

Der Erdbeeranbau in Deutschland steht vor großen Herausforderungen. In Zeiten des Arbeitskräftemangels und der ablehnenden Haltung der Bevölkerung gegenüber dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln soll eine möglichst kostengünstige und qualitativ hochwertige Ware erzeugt werden. In der vorliegenden Ausarbeitung wurden Untersuchungen zur Anwendung eines UV-C-Gerätes im Erdbeeranbau durchgeführt. Ziel war es, ein geeignetes UV-C-Gerät zu entwickeln und bei seinem Einsatz zu untersuchen, ob sich die Behandlung positiv auf den Ertrag und die Qualität auswirkt oder ob andere positive oder negative Aspekte beobachtet werden können. Mit den ermittelten Daten sollte eine Kostenrechnung durchgeführt werden, um die möglichen Investitionskosten für den Erdbeeranbauer bei einer solchen Technik zu ermitteln.

Es wurden in den Jahren 2015 bis 2018 verschiedene Prototypen entwickelt und gebaut, mit denen eine Freilandanlage und zwei Hochtunnelanlagen mit UV-C-Strahlung behandelt wurden. Zudem wurden ein Nachernteversuch mit Erdbeerfrüchten und ein Einzelpflanzenversuch in der Gewächshausanlage Geisenheim durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen auf, dass eine Nacherntebestrahlung der Erdbeeren im Ertragsanbau nicht durchführbar ist und die Bestrahlung in der Wachstumsphase vor der Ernte auf dem Feld erfolgen sollte. Bei den Feldversuchen im Freiland und im Hochtunnel hat sich abgezeichnet, dass die mit UV-C-Strahlung behandelten Versuchsflächen einen höheren vermarktungsfähigen Ertrag aufweisen. Bei dem Gesamtertrag, der sich aus den vermarktungsfähigen und den nicht vermarktungsfähigen Früchten zusammensetzt, waren nahezu keine Unterschiede zu erkennen. Die Analyse der Inhaltsstoffe der Erdbeeren aus einer der Anlagen hat ergeben, dass sich die behandelten nicht von den unbehandelten Erdbeeren unterscheiden. Im Exaktversuch im Gewächshaus konnte bei den mit UV-C-Strahlung behandelten Früchten kein höherer vermarktungsfähiger Ertrag festgestellt werden. Es ließ sich allerdings bei der behandelten Variante bei den nicht vermarktungsfähigen Früchten ein geringerer Botrytisbefall beobachten, und es wurden weniger und kürzere Ausläufer gebildet.

Im Rahmen der Kostenkalkulation konnte aufgrund der ermittelten Versuchsergebnisse ein Mehrerlös in einer Freilandkultur von 1.558 € und in einer Hochtunnelanlage von 4.608 € pro Hektar ermittelt werden. Der mögliche Anschaffungspreis für ein UV-C-Gerät für einen Beispielbetrieb von 10 Hektar Freilandfläche liegt bei ca. 47.000 € Euro und bei 10 Hektar Hochtunnelanlage bei 170.000 €. Es wurde nicht geklärt, ob eine UV-C-Behandlung von Erdbeeren auf dem Feld ein genehmigungspflichtiges

Pflanzenschutzverfahren darstellt. Weitere Investitionen in die Forschung zur UV-C-Behandlungstechnik sollten erst erfolgen, wenn hier eine ausreichende Rechtssicherheit hergestellt worden ist.

## **Abstract**

Strawberry cultivation in Germany is facing major challenges. In times of labor shortage and popular opposition to plant protection products, the aim is to produce the most cost-effective and high-quality product possible. In this paper, investigations were carried out on the use of a UV-C device in strawberry cultivation. The aim was to develop a suitable UV-C device and to investigate whether the treatment has a positive effect on yield and quality and whether other positive or negative aspects can be observed during its deployment. With the obtained data, a cost calculation should be accomplished to determine the possible investment costs for the strawberry farmer with such a technology.

Various prototypes were developed and built from 2015 to 2018, with which an open-air facility and two tunnel greenhouse installations were treated with UV-C radiation. A post-harvest pilot study with strawberry fruits and an exact experiment were carried out at the Geisenheim greenhouse grounds. The results showed that post-harvest irradiation of strawberries in the yield cultivation is not feasible and that irradiation should be carried out in the field during the growth phase before harvesting. The field trials in the open air and the tunnel greenhouse showed that the trial areas treated with UV-C radiation have a higher marketable yield. There were almost no differences in the total yield, made up of marketable and non-marketable fruits. The analysis of the composition of the strawberries from one of the facilities showed that the treated strawberries did not differ from the untreated ones. In the exact trial in the greenhouse, no higher marketable yield could be found for the fruits treated with UV-C radiation. However, a lower botrytis infestation could be observed in the treated variant of the non-marketable fruits, and fewer and shorter offshoots were formed.

Within the scope of the cost calculation, an additional yield of € 1,558 per hectare in an open field crop and € 4,608 per hectare in a tunnel greenhouse system could be determined based on the test results obtained. The possible purchase price for a UV-C device for a typical enterprise of 10 hectares of open land is approx. € 47,000 and for one with a 10-hectare tunnel greenhouse system approx. € 170,000. It was not

clarified whether an open-field UV-C treatment of strawberries is a plant protection procedure requiring approval. Further investments in research into UV-C treatment technology should only be made once sufficient legal compliance has been established.

## Literaturverzeichnis

- ANTTONEN, M.; HOPPULA, K.; NESTBY, R.; VERHEUL, M.; KARAJLAINEN, R. (2006): Influence of Fertilization, Mulch Color, Early Forcing, Fruit Order, Planting Date, Shading, Growing Environment, and Genotype on the Contents of Selected Phenolics in Strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*). *Fruits, J. Agric. Food Chem.* 2006, 54, 2614–2620.
- AMI (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH) (2016): Marktinformationsfax vom 3.6.2016.
- AMI (Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH) (2018): Marktinformationsfax vom 16.05.2018.
- BBC (2005): Life in the Undergrowth. Videoclip zur Körpertemperatur. <http://tinyurl.com/6l62m35m>, abgerufen am 08.01.2019.
- BELLMANN, H. (2005): Bienen, Wespen, Ameisen. Stuttgart: Kosmos.
- BERKELMANN-LÖHNERTZ, B.; KLÄRNER, S. (2013): Fungizidreduzierung: Bestrahlung mit UV-C-Licht. *Der Deutsche Weinbau*, Nr. 8, 19.04.2013, 80–85.
- BORTZ, J.; SCHUSTER, C. (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, Springer.
- BROSIUS, F. (2018): SPSS. Umfassendes Handbuch zur Statistik und Datenanalyse, Frechen: mitp Verlag.
- BUNDESSORTENAMT (2015): Beschreibende Sortenliste 2015 Erdbeere.
- CARBONIT-FILTERTECHNIK (2007): Ultraviolette Strahlung. Fakten und Hintergründe. <https://carbonit.com/images/stories/werbemittel/Broschuere-Ultraviolette-Strahlung/101580-D01.pdf>, abgerufen am 10.02.2019.
- CHEON, H-L.; SHIN, J-Y.; PARK, K-H.; CHUNG, M-S.; KANG, D-H. (2015): Inactivation of foodborne pathogens in powdered red pepper (*Capsicum annuum L.*) using combined UV-C irradiation and mild heat treatment. *Food Control*, 50, 441–445, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.08.025>.
- CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; BENATO, E. A.; CAMILI, E. C.; SANTOS, C. A. (2007): Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 3, 366–373, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.004>.

- COTEA, S.; RODONIA, L.; MICELIB, E.; CONCELLÓNA, A.; CIVELLO, P.; VICENTEA, A. (2013): Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 83, 83–89, [www.elsevier.com/locate/postharvbio](http://www.elsevier.com/locate/postharvbio).
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2019): Land und Forstwirtschaft. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku\\_beratung/landwirtschaft/landwirtschaft\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/landwirtschaft/landwirtschaft_node.html), abgerufen am 22.11.2019.
- DIEREND, W. (Hrsg.) (2012): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- DIEREND, W. (2012a): Abschnitt 6.1: Standortwahl. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 61.
- DOWNES, A.; BLUNT, TH. P. (1878/79): On the influence of light upon protoplasm. *Proceedings of the Royal Society of London*, 28, 199–212. <https://www.jstor.org/stable/113816>, abgerufen am 18.03.2019.
- EU (2006): Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 (EU Directive 2006-25-EG). *Amtsblatt der Europäischen Union*, 27.04.2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0025&from=DE>, abgerufen am 10.01.2019.
- FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ (2019): Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen. Leitfaden FS-2013-157-AKNIR. Redaktion Prof. a. D. Dr. Hans-Dieter Reidenbach, Sekretär des AKNIR Fachhochschule Köln – Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung. [https://www.fs-ev.org/fileadmin/user\\_upload/04\\_Arbeitsgruppen/08\\_Nichtionisierende\\_Strahlung/02\\_Dokumente/Leitfaeden/fs-05-131-aknir\\_uv\\_strahlung-1.pdf](https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/08_Nichtionisierende_Strahlung/02_Dokumente/Leitfaeden/fs-05-131-aknir_uv_strahlung-1.pdf), abgerufen am 25.02.2019.
- FLEMMING, B. (2016): Informationsgespräch Bruno Flemming, UV-Technik Meyer, am 07.06.2016.
- HAKEN, H.; WOLF, C. (1997): *Molekularphysik und Quantenchemie*. 3. Auflage. Berlin: Springer.
- IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) (2019): GESTIS-Stoffdatenbank, Suchwort „Ozon“. [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisde:sdbdeu](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisde:sdbdeu), abgerufen am 25.03.2019.

- JOHN DEERE (2012): Informationsbroschüre zur Serie 5E Traktoren mit 55 bis 75 PS (97/68EC). <https://www.deere.de/assets/publications/index.html?id=8d51a5ae#4>, abgerufen am 11.07.2019.
- JUNG, R. (2012): Abschnitt 10: Pflanzenschutz. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 150–177.
- JÜSTEL, T. (2017): Die drei Gesichter der UV-Strahlung. 07.06.2017. [https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/2017-06-07\\_UV-Strahlung\\_-\\_The\\_Good\\_\\_the\\_Bad\\_and\\_the\\_Ugly-1.pdf](https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/2017-06-07_UV-Strahlung_-_The_Good__the_Bad_and_the_Ugly-1.pdf), abgerufen am 21.01.2019.
- KATZ BIOTECH AG (2018): Produktinformationsblatt Hummeln.
- KAPPELHOFF, P. (2018): Skript. Bergische Universität Wuppertal. <https://temme.wiwi.uni-wuppertal.de/fileadmin/kappelhoff/Downloads/Vorlesung/t-test.pdf>, abgerufen am 19.11.2019.
- KELLER, T. (2012a): Abschnitt 6.10: Ernte. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 93–96.
- KELLER, T. (2012b): Abschnitt 9: Lagerung und Kühlung. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 143–149.
- KRÜGER, E. (2012a): Abschnitt 3: Botanische und physiologische Grundlagen. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 17–33.
- KRÜGER, E. (2012b): Abschnitt 4: Züchtung und Sorten. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 34–46.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Helmut Döhler) (Hrsg.) (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Ausgabe, Darmstadt.
- LABOWSKY, H.-J.; SCHOCKERT, K.; LUDEWIG, R.; SENNEKAMP, W.; DOMKE, O.; LUDOLPH, D. (AID) (2007): Heizkosteneinsparung im Unterglasgartenbau, Nr. 1526/2007.
- LINNEMANNSTÖNS, L. (2012a): Abschnitt 6.12: Ernteverfrühung und -verspätung im Freiland. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 98–113.
- LINNEMANNSTÖNS, L. (2012b): Abschnitt 8: Folientunnel und Gewächshäuser im Erdbeeranbau. In: Dierend, W. (Hrsg.): Erdbeeranbau. Stuttgart: Ulmer Verlag, 124–142.
- LUNG, G. (2018): Bekämpfungs-Strategie UV-C-Technik, Alternative zur Anwendung von Fungiziden? Greenkeepers Journal, Heft 01-2018, 32–38. <https://www.>

golfmanager-greenkeeper.de/greenkeeper-online/fachbeitraege-greenkeeper/fachwissen/allgemein/bekaempfungs-strategie-uv-c-technik-alternative-zur-anwendung-von-fungiziden.html, abgerufen am 25.03.2019.

NAUMANN, W.-D.; SEIPP, D. (1989): Erdbeeren. Ulmer-Fachbuch Obstbau. Stuttgart: Ulmer Verlag.

NIGRO, F.; IPOLITO, A.; LATTANZIO, V.; DI VENERE, D.; SALERNO, M. (2000): Effect of ultraviolet-C light on post-harvest decay of straw berry. *Journal of Plant Pathology*, 82, 1, 29–37.

OUHIBI (2007): *Journal of Phytopathology*.

PAN, J. ; VICENTE, A.; MARTÍNEZ, G.; CHAVES, A.; CIVELLO, P. (2004) Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1831–1838 (online: 2004). DOI: 10.1002/jsfa.1894, *Postharvest Biology and Technology*, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/postharvbio](http://www.elsevier.com/locate/postharvbio).

POMBOA, M.; ROSLI, H.; MARTÍNEZA, G.; CIVELLO, P. (2010): UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch.).

STERILAIR (2018): sterilAir GmbH, Homepage. <https://www.sterilair.com/de>, abgerufen am 28.12.2018.

SAND, M.; KUNZ, T. (2020). *Gewichtung in der Praxis*. Mannheim, GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines). DOI: 10.15465/gesis-sg\_030.

SIDDIQUI (2011): *Pak. J. of Botany*, 43, 4, 2221–2224.

SINGH, H.; BHARDWAJ, S-K.; KHATRI, M.; KIM, K-H.; BHARDWAJ, N. (2021): UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, 128084, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084>.

STÖRTLÄNDER 2017; Hans Störtländer, Geisenheim University, Erstellung von Gefahrenanweisungen für den Versuch.

UNECE (2007): *Fruit and Vegetables – Standards*. <http://www.unece.org/trade/agr/standard/fresh/ffv-standardse.html>, abgerufen am 11.12.2019.

- UV-Technik-Meyer GmbH (2018): Informationen zu UV-Disc. file:///C:/Users/Lisam/Desktop/Aktuell-Lisa/UVC-Versuch/Dissertation%20Lisa%20Meinhardt/Anhang/UV%20Disc%20-%20D%20Datenblatt.pdf, abgerufen am 18.04.2018.
- WATSON, J. D.; CRICK F. H. C. (1953): Molecular structure of nucleic acids. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171 (4356), 737–738. <https://www.nature.com/articles/171737a0>, abgerufen am 25.02.2019.
- WILLIAMSON, B.; TUDZINSKI, B.; TUDZINSKI, P.; VAN KAN, J. A. L (2007): Botrytis cinerea the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8, 5, 561–580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>.
- XIE, Z.; CHARLES, M.; FAN, J.; CHARLEBOIS, D.; KHANIZADEH, S.; ROLLAND, D.; ROUSSEL, D.; DESCHÊNESE, M.; DUBÉA, C.(2014): Effects of preharvest ultraviolet-C irradiation on fruit phytochemical profiles and antioxidant capacity in three strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars, Her Majesty the Queen in Right of Canada Journal of the Science of Food and Agriculture © 2014 Society of Chemical Industry, Accepted article published: 29 December 2014 Published online in Wiley Online Library: ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)) DOI 10.1002/jsfa.7064.

## Anhang

Die Abbildungen und Tabellen des Anhangs sind auf einem Datenträger der Dissertation beigegeben. Im Folgenden werden sie in ihrer Reihenfolge aufgelistet.

### Abbildungen

- Abb. A1: UV-Disc Datenblatt
- Abb. A2: Bodenanalyse
- Abb. A3: Datenblatt des Substrats, BVB Substrat, 2018
- Abb. A4: Wasseranalyse Bewässerungswasser Weiterstadt 2016
- Abb. A5: Wasseranalyse Bewässerungswasser Weiterstadt 2017
- Abb. A6: Wasseranalyse Bewässerungswasser Weiterstadt 2018
- Abb. A7: Datenblatt Fertyl Mega 2
- Abb. A8: Lieferscheine und Anwendungshinweise Katzbiotek
- Abb. A9: Phoenix 7300 T Stromerzeuger Datenblatt
- Abb. A10: Außenabmessung Modulgehäuse
- Abb. A11: Schaltschrank Rittal Ceres II
- Abb. A12: UV-C-Technik Steuereinheit
- Abb. A13: UV-C-Technik Bedienpanel
- Abb. A14: Lüfter-Ventilator Karl Klein DNG3-98 WS
- Abb. A15: Pramac Power Produkt-Katalog 50 Hz

### Tabellen

- Tab. A1: Sortenübersicht
- Tab. A2: Tierische Schaderreger
- Tab. A3: Leitungswasser Geisenheim 2017
- Tab. A4: Düngung Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I
- Tab. A5: Düngung Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten
- Tab. A6: Düngung Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II
- Tab. A7: Düngung Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A8: Pflanzenschutztablette Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I
- Tab. A9: Pflanzenschutztablette Versuch 2: Nachernte-UV-C-Behandlung von Erdbeerfrüchten
- Tab. A10: Pflanzenschutztablette Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II

- Tab. A11: Pflanzenschutztablette Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A12: Wetterdaten Station 1420
- Tab. A13: UV-C-Bestrahlungsmessung Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II
- Tab. A14: Versuch 5: UV-C-Behandlungs- Einzelpflanzen Geisenheim Bestrahlungsversuch 10.01.2018
- Tab. A15: Versuch 5: UV-C-Behandlungs- Einzelpflanzen Geisenheim Bestrahlungsversuch 22.01.2018
- Tab. A16: Versuch 5:UV-C-Behandlungs- Einzelpflanzen Geisenheim Bestrahlungsversuch 01.02.2018
- Tab. A17: Versuch 5: UV-C-Behandlungs- Einzelpflanzen Geisenheim Bestrahlungsversuch 08.02.2018
- Tab. A18: UV-C-Bestrahlung, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A19: Erntemenge und Ausschuss Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I
- Tab. A20: Zeitaufwand und Energie Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I
- Tab. A21: Erntemenge und Ausschuss Versuch 2: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II
- Tab. A22: Zeitaufwand und Energie Versuch 2: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II
- Tab. A23: Auswertung Versuch 5: UV-C-Behandlungs- Einzelpflanzen Geisenheim
- Tab. A24: Erntemenge und Ausschuss, Versuch: 4 UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A25: Zeitaufwand und Energie , Versuch: 4 UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A26: Behandlungsdauer und Energieverbrauch, Versuch 1: UV-C-Behandlungs-Feldversuch I
- Tab. A27: Behandlungsdauer und Energieverbrauch, Versuch 3: UV-C-Behandlungs-Feldversuch II
- Tab. A28: Behandlungsdauer und Energieverbrauch, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A29: Inhaltsstoffuntersuchung Erdbeeren, Versuch 4: UV-C-Behandlungs-Feldversuch III
- Tab. A30: 3-Ernten zusammengefasst
- Tab. A31: SPSS-Auswertung-3-Feldversuche
- Tab. A32: Tests-3-Varianten
- Tab. A33: Daten-Geisenheim
- Tab. A34: SPSS-Auswertung-Geisenheim

## **Erklärung gemäß der Promotionsordnung des Fachbereichs 09 vom 07. Juli 2004 § 17 (2)**

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der ‚Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis‘ niedergelegt sind, eingehalten.“

Ort, Datum Unterschrift