Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau

„Urban Gardening“ mit Dach- und Fassadenbegrünungen

Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen im Siedlungsbereich

Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. KL/16/01

Förderzeitraum:
01.04.2016 - 31.03.2019

www.lwg.bayern.de

Endbericht zum
Forschungsvorhaben KL/16/01

„Urban Gardening“ mit Dach- und Fassadenbegrünungen

Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen im Siedlungsbereich

Projektlaufzeit

01.04.2016 - 31.03.2019

Projektleiter: LLD Jürgen Eppel

Projektbearbeiter: VA Florian Demling

Veitshöchheim, 28. Juni 2019

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
Institut für Stadtgrün und Landschaftsbau, An der Steige 15, 97209 Veitshöchheim
e-mail: poststelle@lwg.bayern.de

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG 5

2. EINLEITUNG 6

3. VERSUCHE UND PROJEKTE 7

3.1. Versuch mit Gemüse auf Dachmodellen mit Systemaufbau 7

3.1.1. Zielsetzung 7
3.1.2. Material und Methode 7
3.1.3. Ergebnisse 14
3.1.4. Schlussfolgerungen 35
3.1.5. Weiterer Forschungsbedarf 36

3.2. Versuch zur Düngung auf Dachmodellen mit Kreisläufen 37

3.2.1. Zielsetzung 37
3.2.2. Material und Methode 37
3.2.3. Ergebnisse 40
3.2.4. Schlussfolgerungen 46
3.2.5. Weiterer Forschungsbedarf 47

3.3. Versuch zur Düngung auf Dachsubstrat in Kisten 48

3.3.1. Zielsetzung 48
3.3.2. Material und Methode 48
3.3.3. Ergebnisse 51
3.3.4. Schlussfolgerungen 55
3.3.5. Weiterer Forschungsbedarf 56

3.4. Versuch auf ehemals extensiven Dachbegrünungen an unterschiedlichen Standorten 57

3.4.1. Zielsetzung 57
3.4.2. Material und Methode 57
3.4.3. Ergebnisse 62
3.4.4. Schlussfolgerungen 67
3.4.5. Weiterer Forschungsbedarf 67

3.5. Versuch zu Ansaatmischungen auf dem Dach 68

3.5.1. Zielsetzung 68
3.5.2. Material und Methode 68
3.5.3. Ergebnisse 72
3.5.4. Schlussfolgerung 78
3.5.5. Weiterer Forschungsbedarf 78

3.6. Tastversuch auf ehemals extensiver Dachbegrünung 79

3.6.1. Zielsetzung 79
3.6.2. Material und Methode 79
3.6.3. Ergebnisse 80
3.6.4. Schlussfolgerung 81
3.6.5. Weiterer Forschungsbedarf 81

3.7. Versuch zu Living Walls mit Nahrungspflanzen 82

3.7.1. Zielsetzung 82
3.7.2. Material und Methode 82
3.7.3. Ergebnisse 85
3.7.4. Schlussfolgerung 97
3.7.5. Weiterer Forschungsbedarf 97

3.8. Tastversuch mit weiteren Living Walls Systemen im Gewächshaus 98

3.8.1. Zielsetzung 98
3.8.2. Material und Methode 98
3.8.3. Ergebnisse 100
3.8.4. Schlussfolgerungen 101
3.8.5. Weiterer Forschungsbedarf 102

3.9. Urban Gardening Demonstrationsgarten Mittelfranken 103

3.9.1. Zielsetzung 103
3.9.2. Material und Methode 103
3.9.3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen 104
3.9.4. Weiterer Bedarf an Demonstrationsgärten 105

4. AUSBLICK: OFFENE FRAGESTELLUNGEN 106

4.1. Vergleich von Living Walls 106

4.2. Wirkung und Nutzen Dachgemüse 106

4.3. „Urban Gardening“ an verschiedenen Standorten 106

5. VERÖFFENTLICHUNGEN UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT 107

5.1. Vorträge 107

5.2. Fachpublikationen 108

5.3. Ausstellungen 109

5.4. Presse, Rundfunk, Fernsehen 110

6. LITERATUR 111

7. ZUSAMMENARBEIT 112

8. ANHANG 113

1. Zusammenfassung

An der Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim wurden von 2016 bis 2019 verschieden Versuche im Rahmen des Projektes „Urban Gardening auf Dach- und Fassadenbegrünungen“ durchgeführt. Dabei wurden unter anderem ehemals extensive Dachbegrünungen mit Zusatzbewässerung und Dünger so ausgestattet, dass dort verschiedene Gemüsearten wachsen. Neben einer Dachfläche des Instituts für Stadtgrün und Landschaftsbaus wurde eine Vergleichsfläche bei der Landesgewerbeanstalt Bayern in Würzburg genutzt. Das an beiden Standorten gewachsene Gemüse war bezüglich der Schwermetallbelastung unbedenklich.

Auf den Dachbegrünungen wurden auch spezielle Mischungskonzepte, wie z.B. „Italienische Arrabbiata“ und „Asia-Gemüse“ entwickelt und getestet. Damit das Gemüse auf dem Dach gut wächst benötigt es ausreichend Dünger. Auf den mineralischen Dachsubstraten ist die Nährstoffversorgung teils auch über organische Dünger möglich. Dazu wurden Versuche auf Dachmodellen und Kisten durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass vor allem bei der Düngung über das Substrat auf eine ausreichende Bewässerung von oben zu achten ist. Je nach Standort und Kulturführung sind bei einer Gemüse-Mischung mit Tomaten Erntemengen von bis zu 10 kg Gemüse je Quadratmeter möglich.

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Living Walls Systeme getestet. Die Systeme zur wandgebundenen Fassadenbegrünung werden normalerweise mit Stauden ausgestattet. Diese eignen sich vor allem für Kräuter und Erdbeeren. Im Versuch wurden auch Gemüsearten wie Kohlrabi und Salat getestet. Diese eignen sich vor allem auch für Rinnen-Systeme, da bei diesen Arten regelmäßig neue Pflanzen eingesetzt werden.

In Zusammenarbeit mit dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth entstand am Forstamt Erlangen ein Urban Gardening Demonstrationsgarten. Dabei wurden zwei weitere vertikale Systeme als Vergleichspflanzung zu Veitshöchheim installiert. Neben einem professionellen Living Wall System kam hier auch ein Paletten-Garten zum selbst bauen zum Einsatz. In einem weiteren Tastversuch wurden in Veitshöchheim im Winter weitere Systeme auf ihre Eignung für Nahrungspflanzen untersucht.

2. Einleitung

Immer mehr Menschen leben in den großen Metropolen der Welt. Auch in Zukunft werden immer mehr Menschen in die Städte ziehen. Dabei fehlt es der Bevölkerung meist an geeigneten Grünflächen und Möglichkeiten die Produktion von Nahrungsmitteln zu sehen. Immer weniger Menschen sind seit den letzten 50 Jahren in Deutschland in der Landwirtschaft tätig [1].

Einzelne „Urban Gardener“ möchten immer wieder ihr eigenes Gemüse anbauen. Bei gesellschaftlichen Zusammenschlüssen fehlt es allerdings oft an Möglichkeiten und Flächen zum Gärtnern in der Stadt. Dach- und Fassadenbegrünungen bieten allerdings bereits heute eine interessante Alternative zum temporären Garten und könnten längerfristig genutzt werden.

Dabei werden jährlich in Deutschland rund 8 Mio. Quadratmeter Dachfläche neu begrünt [2]. Davon sind ein Großteil extensive Dachbegrünungen, die mit wenig Nutzlast und geringen Kosten zurechtkommen. Diese Systeme konnten bereits in vorhergehenden Versuchen zur Nutzung mit Nahrungspflanzen umgestaltet werden. In weiteren Versuchen gilt es diese zu optimieren und für die Praxis weiter interessant zu machen.

Systeme zur wandgebundenen Fassadenbegrünung sind bisher sowohl in der Anschaffung als auch im Unterhalt sehr teuer. Dabei könnte durch die Nahrungsmittelproduktion an solchen Systemen wiederum einen stärkeren Nutzen schaffen und somit – zumindest teilweise – wieder die Kosten kompensieren. Untersucht wurden diese allerdings bisher kaum auf die Nutzung mit Gemüse. Dabei sind die technischen Gegebenheiten (Wassertank für Düngung und Steuereinheit für Bewässerung) durchaus für den Gemüseanbau sehr interessant.

3. Versuche und Projekte

Im Projektzeitraum wurden an der LWG Veitshöchheim verschiedene Versuche zur Nahrungsmittelproduktion auf Dach- und Fassadenbegrünungen durchgeführt. Sowohl ehemals extensive Dachbegrünungen, als auch Kisten und Dachmodelle wurden genutzt. An Living Walls Systemen wurde der Anbau von Nahrungspflanzen untersucht. Im Zuge des Projekts wurde außerdem ein Urban Gardening Demonstrationsgarten mit einer erweiterten Versuchsfläche zum vertikalen Gärtnern umgesetzt.

3.1. Versuch mit Gemüse auf Dachmodellen mit Systemaufbau

Auf Systemen zur dünnschichtigen Dachbegrünung mit Gemüse wurde 2016 und 2017 ein Versuch durchgeführt

3.1.1. Zielsetzung

Die Produktion von verschiedenen Gemüsekulturen auf dünnschichtigen Dachsystemen wurde bereits untersucht. Aufgrund des anfallenden Überschusswassers und der notwendigen Düngegaben für eine optimale Pflanzenentwicklung kann es zu Auswaschungen der Nährstoffe ins Grundwasser kommen. Die genauen Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung in diesem Systemaufbau wurden noch nicht untersucht. Die Bewässerung auf dünnschichtigen Dachbegrünungen zur Nahrungsmittelproduktion stellt eine besondere Herausforderung dar. Es soll der Anbau von Nahrungspflanzen in verschiedenen Systemen untersucht werden. Dabei werden offene Systeme, Kreislaufsysteme und verschiedene Bewässerungstechniken eingesetzt. Es sollen Erträge und Aufwendungen verglichen werden. Anhand von Wasserbilanzen können die Systeme bewertet werden.

3.1.2. Material und Methode

3.1.2.1. Versuchsaufbau

Im Versuch wurden 24 Dachmodelle aus einem Zinkrahmen mit Brettern gebaut (Bild 1). Darauf wurden herkömmliche Abdichtungsfolien und ein Schutzvlies (Geotextil) für das Substrat montiert (Bild 2). Ein Ablauf wurde für die Entwässerung eingefügt. Das innere Rahmenmaß der Modelle betrug jeweils etwa 1,50 m x 3 m. Somit ergibt

sich für die eigentliche Parzelle jeweils eine Versuchsfläche von etwa 4,21 m². Nahezu alle Modelle wurden mit Stellschrauben auf ein Gefälle von etwa 2 % ausgerichtet (Ausnahme: Variante 3).

Bild 1 Dachmodell mit Holzbrettern

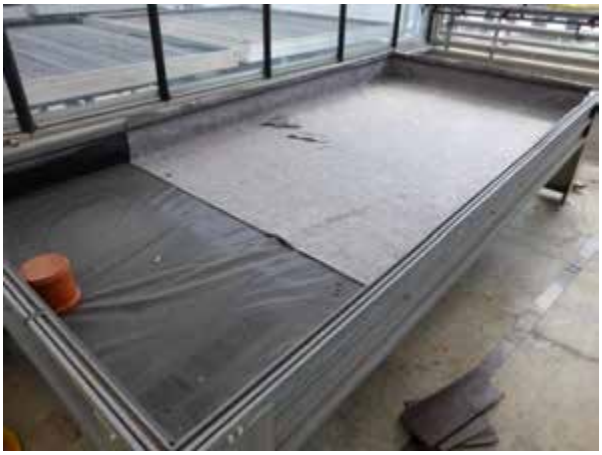


Bild 2: Dachmodell mit Abdichtung und Schutzvlies

In vorhergehenden Versuchen wurde das Substrat Extensiv Einschicht Typ M-leicht (Optigrün Krauchenwies) auf Grund der guten Pflanzenerträge und guter Anpassungsmöglichkeiten ausgewählt. Im beschriebenen Versuch wurde daher weiterhin das genannte Substrat für die Aufbauten verwendet. Es wurde in einer etwa 8 cm hohen Schicht auf den Modellen ausgebracht und eingeebnet (Bild 3). Im mehrschichtigen Aufbau wurde ein Vlies dazwischen gelegt (Bild 4). Die verschiedenen Systemaufbauten wurden mit Drainagematten und unterschiedlichen Bewässerungstechniken ausgestattet (Bild 5 und Bild 6). Die Dachmodelle wurden in sechs Varianten zu je vier Wiederholungen (Abbildung 1 und Abbildung 2). als Blockanlage eingeteilt

Bild 3: Befüllen des Dachsubstrats auf einem Dachmodell

Bild 4: Ausbringung von dünnem Schutzvlies im

Bild 5: Ausstattung eines Dachmodells mit 25 mm Drainagematte

Zwischenaufbau

Bild 6: Bewässerungsmatte bei Erstbetrieb

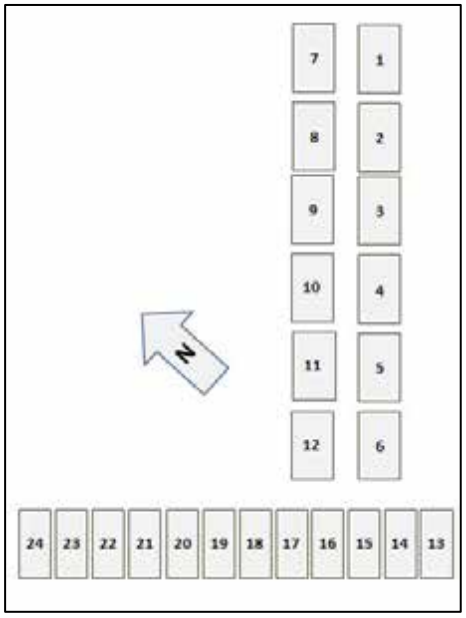


Abbildung 1: Bezeichnung der Parzellen der Dachmodelle

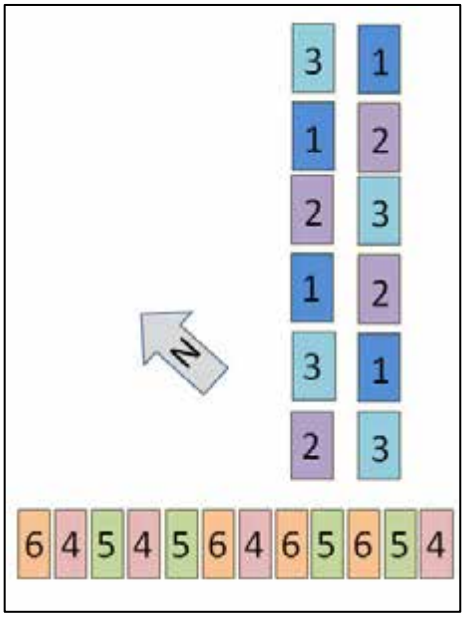


Abbildung 2: Variantenplan der Dachmodelle

Tabelle 1: Systemaufbauten auf Dachmodellen 2016 und 2017 von unten nach oben

Variante	Aufbau von unten nach oben
1. Sprinkler offen	• Drainagematte (25 mm) • Schutzvlies • Substrat • Mikro-Sprinkler
2. Tropfschläuche offen	• Drainagematte (25 mm) • Schutzvlies • Substrat • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm)
3.-Anstau offen	• 0% Gefälle • Drainschüttschicht (40 mm Blähton) • Überlauf (30 mm) • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm) • Schutzvlies • Substrat
4. Kreislauf und Drainage	• Drainagematte (25 mm) • Schutzvlies • Substrat • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm)
5. Kreislauf einfach (aus Vorversuchen ab 2014)	• Substrat • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm)
6. Unterflur-Bewässerung Kreislauf	• Drainagematte (25 mm) • Bewässerungsmatte aus Bändchengewebe mit Tropfschläuchen (3 Reihen, TA 50 cm) • Substrat

Neben Tropfschläuchen wurden auch Mikrosprinkler verwendet (Bild 7). Bei den Kreislaufsystemen wurden unterhalb der Dachmodelle vier Behälter je Variante positioniert und mit vier Pumpen ausgestattet, die das Überschusswasser in einen Sammelbehälter befördern (Bild 8). Dieser dient wiederum zur Bewässerung der jeweiligen Variante.

Bild 7: Mikro-Sprinkler im Einsatz

Bild 8: Behälter und Pumpe unter Dachmodell

3.1.2.2. Pflanzenauswahl 2016 und 2017

Alle Dachmodelle wurden in den Jahren 2016 und 2017 mit den selben Mischpflanzungen bestückt. Im Sommer 2016 wurde eine Mischung aus 5 Gurkenpflanzen ('Tanja'), 9 Sellerie ('Monarch'), je zwei Blumenkohlpflanzen von drei Sorten ('Neckarperle', 'Odyseus' und 'Celiano') gepflanzt (Bild 9). Im Jahr 2017 wurden 2,5 g Rote Bete ('Rote Kugel 2') und 2,5 g Zwiebel ('Powell F1') mit 46 g Sojaschrot je Parzelle ausgesät.

Bild 9: Pflanzung von Gemüse im Sommer 2016

3.1.2.3. Versuchsmethodik und zeitlicher Verlauf

Im Versuchsverlauf wurden die Kulturen fotografisch erfasst und nach der Ernte bei allen Varianten die Frischmasse und Vitalität des jeweiligen Gemüses erfasst und für die verschiedenen Systeme beurteilt. In regelmäßigen Abständen wurde die Pflanzenentwicklung bonitiert. Es wurden regelmäßig pH und elektrische Leitfähigkeit im Überschusswasser erfasst. Auch der personelle Pflegeaufwand auf den Dachmodellen wurde aufgezeichnet. Im Jahr 2016 wurde zusätzlich der Deckungsgrad der Pflanzfläche auf den Dachmodellen festgestellt.

Die Anbauzeit 2016 verlief von Juni bis November und im Jahr 2017 von April bis Oktober (Tabelle 2).

Tabelle 2: Versuchsverlauf auf den Dachmodellen 2016 und 2017

Datum	Aktion
25.04.2016	Aussaat (Gurke 'Tanja', Sellerie)
27.06.2016	Pflanzung und 1. Nährstoffanalyse Substrat und Wasseranalyse
21.07.2016	erste Ernte Gurke
29.07.2016	2. Nährstoffanalyse Substrat
23.08.2016	letzte Ernte Gurke
21.11.2016	Ernte und Abräumen Sellerie und Blumenkohl
13.02.2017	Voranzucht Aussaat Auberginen, Eissalat, Pflücksalat
04.04.2017	Pflanzung 16x Eichblatt-Salat ('Red Salad Bowl') 1,5 m² je Parzelle (4x4 Pfl. 30 cm Abstand, mittig)
12.04.2017	Aussaat 2,5 g Rote Bete(' Rote Kugel 2')/Parz. und Zwiebel ('Powell F1') breit mit 46,25 g Sojaschrot je Parzelle
03.05.2017	Vlies abgenommen
01.05.2017	Pflanzung 5xAubergine je Parz. und Angießen
08.06.2017	Ernte Roter Eichblatt
14.07.2017	erste Ernte Auberginen
04.10.2017	Ernte Zwiebel und Rote Bete, Abräumen Rest

3.1.2.4. Nährstoff- und Wasserversorgung

Bei der ersten Pflanzung im Sommer 2016 wurden Substratmischproben für eine Nährstoffanalyse der jeweiligen Varianten genommen und analysiert. Anhand der Inhalte und des Bedarfs der jeweiligen Gemüsekulturen [3] wurden bedarfsgerechte Düngungen im weiteren Versuchsverlauf durchgeführt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Verlauf der Düngegaben auf den Dachmodellen 2016 und 2017

Datum	Düngergabe
27.06.2016	1. Nährstoffanalyse Substrat und Wasseranalyse
15.07.2016	1. Düngung 125 g Hakaphos/Parz. (Var. 1,2,4,5,6) mit 5 l Wasser/Parz. 1. Düngung 58 g ENTEC 26/Parz. (Var. 1,2,4,5,6) 1. Düngung 154 g ENTEC 26/Parz. (Var. 3)
29.07.2016	2. Nährstoffanalyse Substrat
15.08.2016	2. Düngung 125 g Hakaphos/Parz. (Var. 1,2,4,5,6) mit 5 l Wasser/Parz. 2. Düngung 58 g ENTEC 26/Parz. (Var. 1,2,4,5,6) 2. Düngung 154 g ENTEC 26/Parz. (Var. 3)
19.04.2017	Düngung 30 g ENTEC 26/Parz. (Var. 1 bis 6 für je 1,5 m² Salat)
09.06.2017	Ansetzen Nährlösung für Var 4,5,6 mit 10 L Wasser und 500 g Ferty 2 (EC=60mS/cm und pH=3,5) je Kanister aufgelöst
09.06.2017	Düngung 80g ENTEC 26 je Parzelle bei Var. 1,2,3
23.06.2017	Var. 1-3 Düngung 80 g ASS/Parz. Und Var. 4-6 je Variante 500 g Ferty 2 aufgelöst in Düngerlösung
07.07.2017	500 g Ferty 2 je Kanister bei Var 4, 5, und 6 aufgelöst
19.07.2017	Var. 1-3 Düngung 80 g ASS/Parz. Und Var. 4-6 je Variante 500 g Ferty 2 aufgelöst in Düngerlösung
28.07.2017	500 g Ferty 2 je Kanister bei Var 4, 5, und 6 aufgelöst
11.08.2017	500 g Ferty 2 je Kanister bei Var 4, 5, und 6 aufgelöst

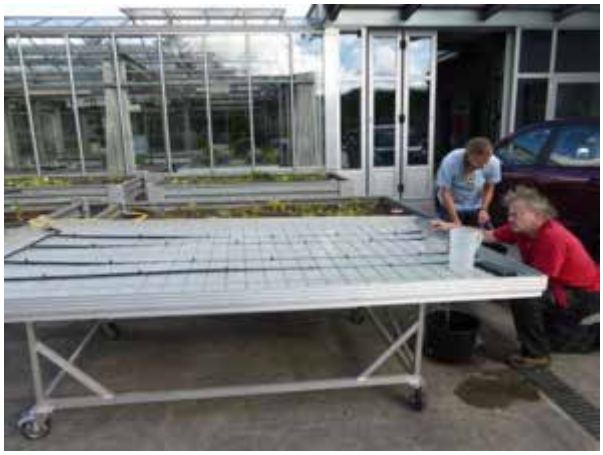


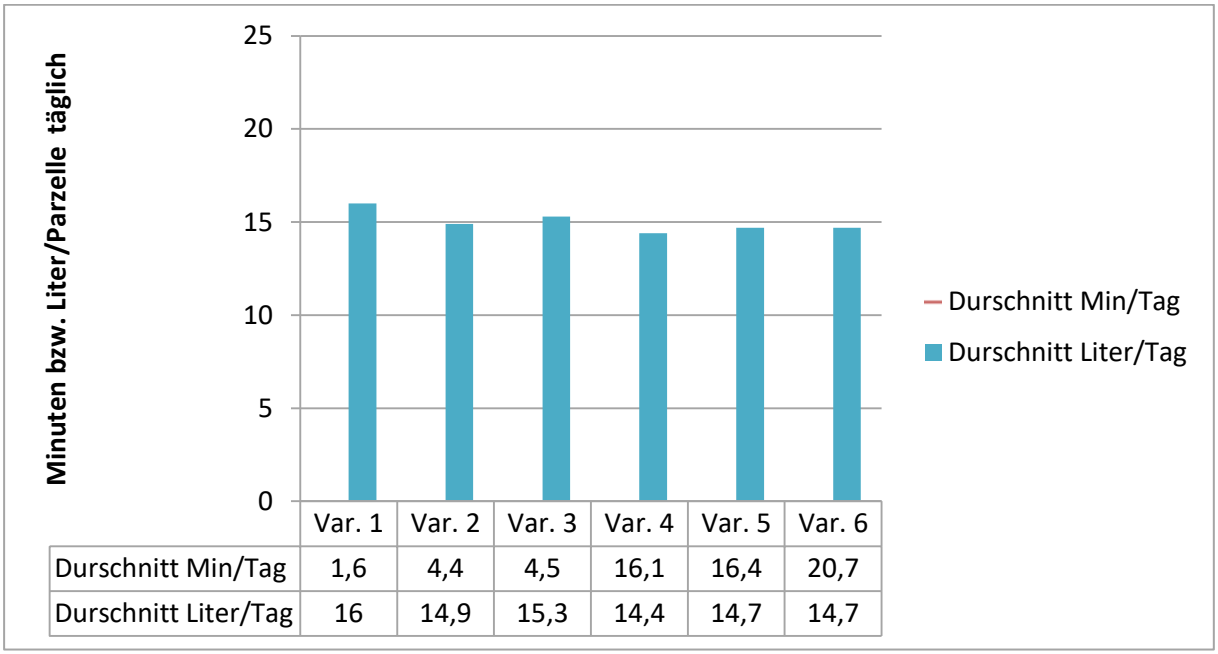
Bild 10: Auslitern eines Bewässerungssystems für ein Dachmodell

Alle Wassergaben wurden im kompletten Versuchsverlauf dokumentiert. Das anfallende Überschusswasser wurde vor allem im Jahr 2016 aufgezeichnet. Dazu wurden die einzelnen Systeme auch ausgelitert (Bild 10). Durch diese Daten und durch Hinzufügen des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung am Standort Veitshöchheim wurden Wasserbilanzen für die jeweiligen Systemaufbauten erstellt.

Tabelle 4: Wassergaben nach Auslitern bei den Varianten auf den Dachmodellen

Variante	Variante 1	Variante 2 und 3	Variante 4 und 5	Variante 6
Bewässerung	Sprinkler (3 bar)	TS 30 (3 bar)	TS 30 (0,4 bar)	TS 50 (0,4 bar)
Auslitern MW in min/Parzelle	10 l/min/Parzelle	3,4 l/min/Parzelle	0,895 l/min/Parzelle	0,71 l/min/Parzelle

Die verschiedenen Begrünungssysteme mit unterschiedlichen Bewässerungseinrichtungen wurden auch in unterschiedlichen Intervallen bewässert. Die Bewässerung war meist so eingestellt, dass anhand des vorherigen Ausliterns ähnliche Wassergaben zwischen den Varianten auftraten (Tabelle 4).
Somit ergaben sich Bewässerungsintervalle von durchschnittlich 1,6 bis über 20 Minuten je Variante (Abbildung 3).



	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
Durschnitt Min/Tag	1,6	4,4	4,5	16,1	16,4	20,7
Durschnitt Liter/Tag	16	14,9	15,3	14,4	14,7	14,7

Abbildung 3: Mittlere Bewässerung und Wassermenge auf den Dachmodellen vom 30.06. bis 30.09.2016

3.1.3. Ergebnisse

3.1.3.1. Substratanalysen

Vor Versuchsbeginn im Juni 2016 wurden in nahezu allen Varianten Stickstoffgehalte um etwa 5 g N/m² gemessen. Lediglich bei Variante 4 war der Wert mit 8,6 g N/m² etwas höher. Die FLL-Richtlinie [4] für einschichtige extensive Gründächer empfiehlt einen Stickstoffgehalt im Dachsubstrat von unter 5 g N/m². Für die optimale Kultur von Gemüse werden aber meist Stickstoffgehalte von 20 bis 35 g N/m² benötigt. Anhand der gewählten Mischpflanzung (Sellerie, Gurke, Blumenkohl) wurde von einem Bedarf von etwa 22 g N/m² ausgegangen und für die weiteren Bedarfsberechnungen aller Varianten genutzt. Etwa vier Wochen nach der ersten Probenahme und etwa 2 Wochen nach der ersten Düngung wurde bei allen Varianten ein Anstieg des Stickstoffgehalts auf über 5 g N/m² festgestellt. Allerdings kam es bei Variante 4, die vorher einen höheren Gehalt aufwies zu einer geringeren Menge an Stickstoff im Dachsubstrat.

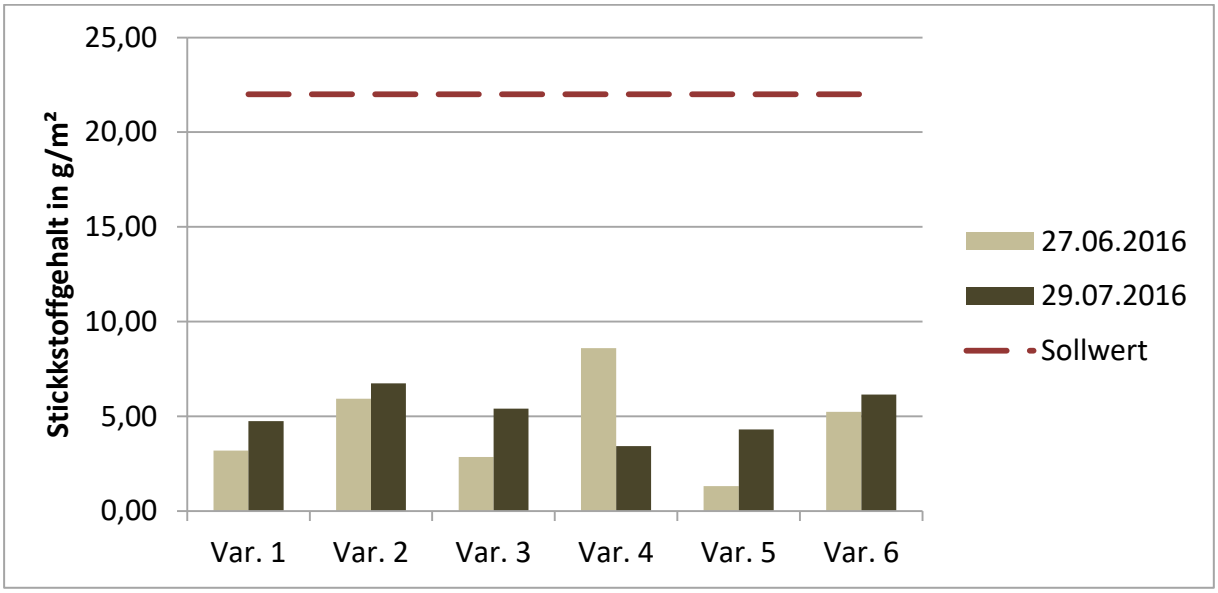


Abbildung 4: Stickstoffgehalt und Sollwert auf den Varianten der Dachmodelle im Versuchsverlauf 2016

Der Humus Gehalt sank im Versuchsverlauf 2016. Bei Versuchsbeginn lag dieser bei maximal 5 %. Nach etwa vier Wochen sank dieser auf bis zu 1 % (Abbildung 5).

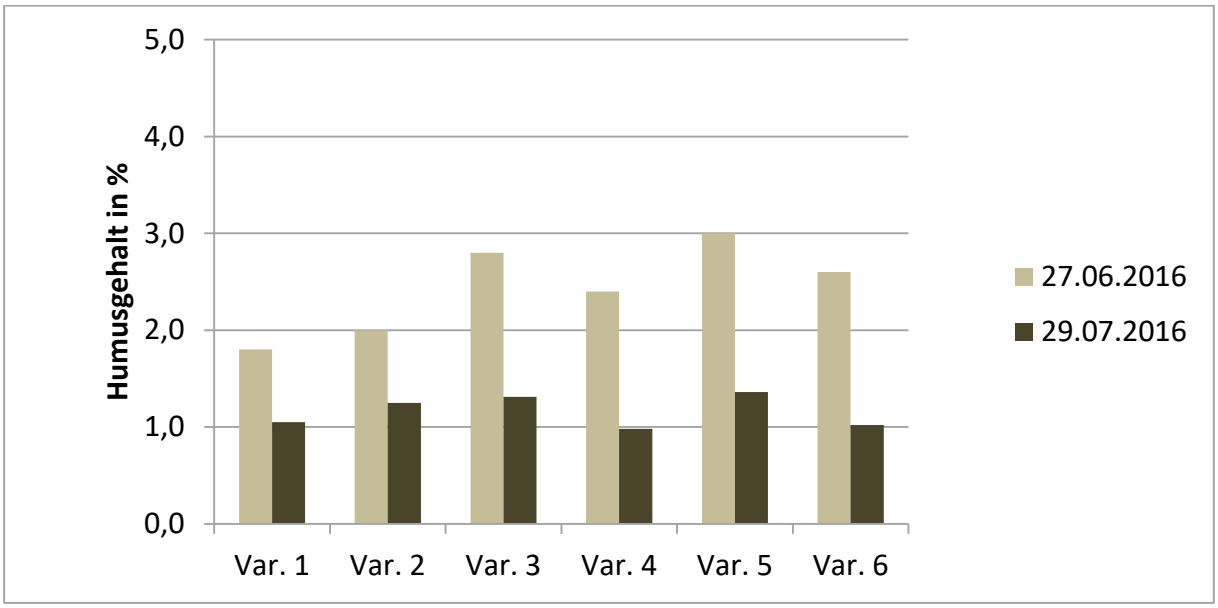


Abbildung 5: Humusgehalt der Varianten bei der Substratanalyse 2016

Das Volumengewicht des Substrates veränderte sich bereits in den ersten vier Wochen des Versuches. Von etwa 900 g/l erhöhte sich die Dichte auf etwa 1100 g/l Substrat (Abbildung 6).

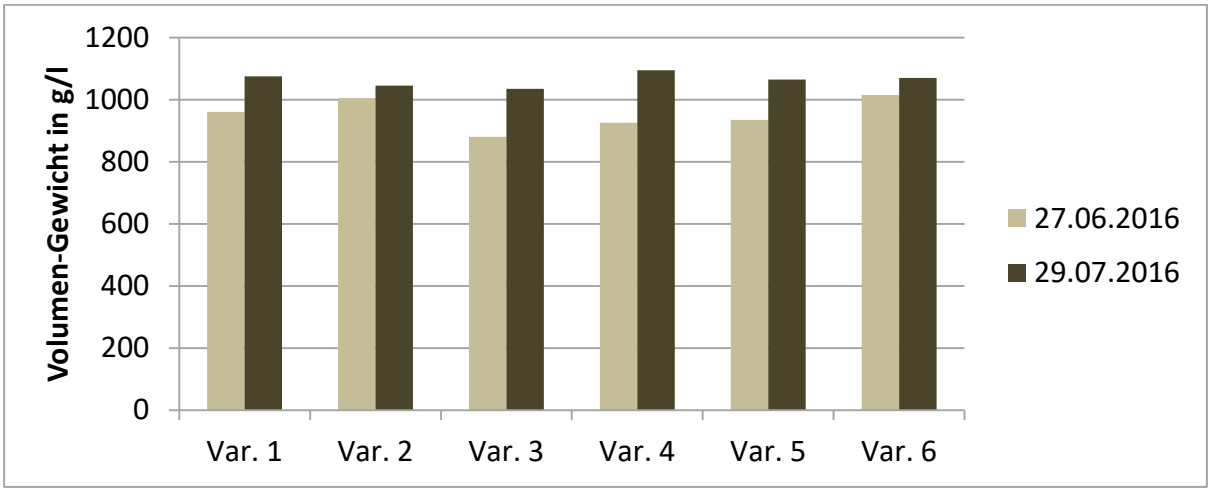


Abbildung 6: Volumen-Gewicht des Substrates der Varianten bei der Analyse 2016

3.1.3.2. Wassergaben, Drainwasser und Wasserbilanz

Anhand der eingestellten Zeitschaltuhren und Bewässerungscomputer wurde eine theoretische Wasserbilanz berechnet. Mit Wasserzählern wurde auch die tatsächliche Wassergabe in das System erfasst. Beide Werte wurden für eine Wasserbilanz je Quadratmeter umgerechnet. Die tatsächlich gegebene Wassermenge in den Wasserzählern war bei allen Varianten um etwa 30 bis 90 Liter pro Quadratmeter geringer als in der berechneten Wasserbilanz (Abbildung 7). Die höchsten Wassergaben waren bei Variante 1 zu verzeichnen. Die Mikro-Sprinkler sind allerdings auch sehr ungenau in der Ausbringung. Die geringste Wassergabe war bei Variante 4 festgestellt worden. Während theoretisch rund 250 Liter je Quadratmeter gegeben wurden, kam es auf dem Wasserzähler nur zu etwa 170 Litern je Quadratmeter. Die ungenauen Wassergaben durch die Bewässerung muss für eine optimale Wasserversorgung und den Abgleich mit Referenzwerten beachtet werden.

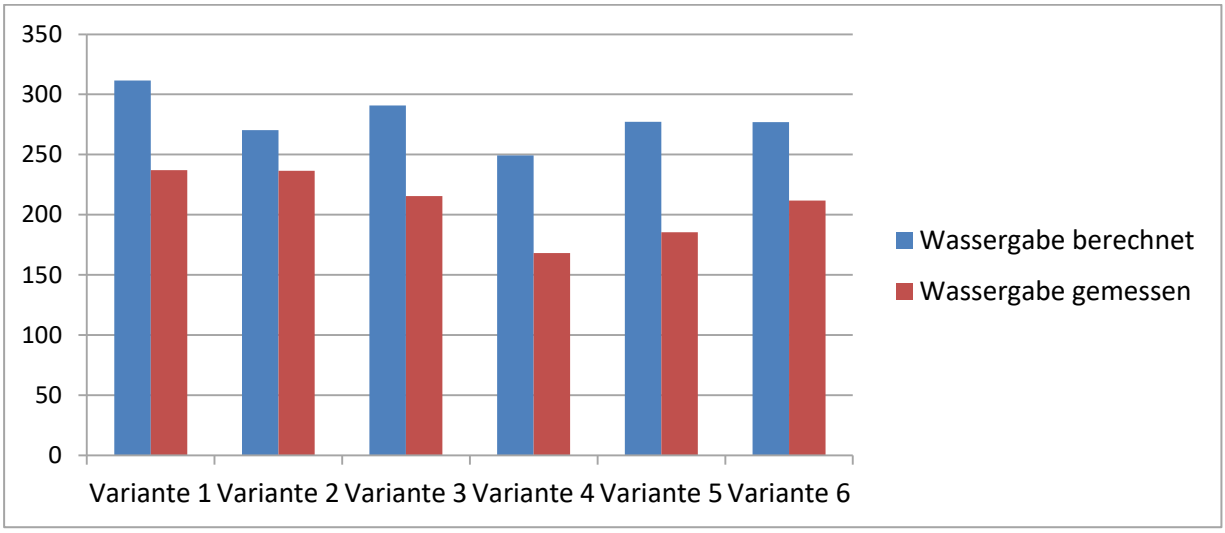


Abbildung 7: Wassergaben auf den Dachmodellen im Sommer 2016

Die erfasste Drainwassermenge im Jahr 2016 unterschied sich stark zwischen den Systemen. Während bei Variante 1 über 50 Liter Wasser je Quadratmeter abliefen, waren es bei den Kreislauf-Varianten 4, 5 und 6 lediglich weniger als 10 Liter je Quadratmeter. Bei den offenen Systemen der Variante 2 und 3 wurden auch Drainmengen von über 25 Liter je Quadratmeter verzeichnet (Abbildung 8).

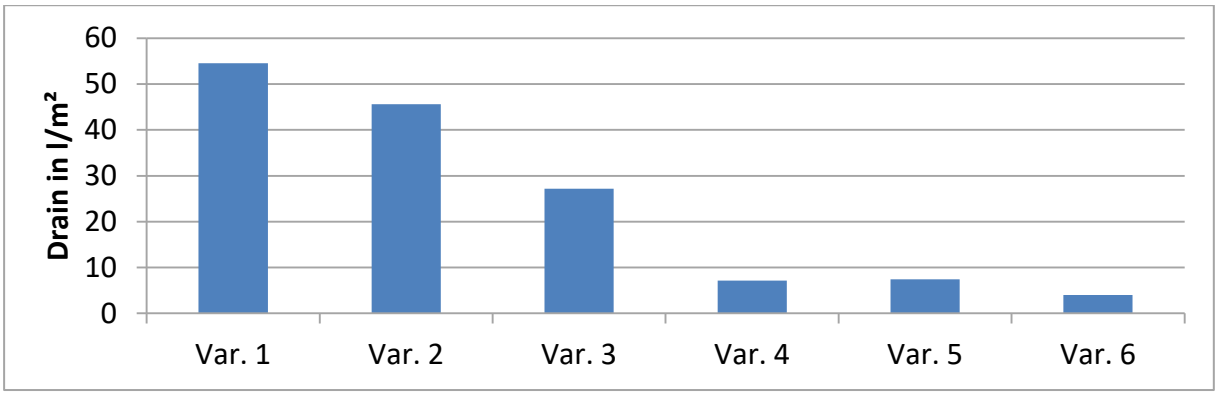


Abbildung 8: Überlaufwasser der Varianten im Jahr 2016

Anhand der tatsächlichen Wassergaben, des Drainwassers, des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung im Versuchszeitraum 2016 wurde eine Wasserbilanz für die verschiedenen Varianten erstellt (Tabelle 5). In Veitshöchheim lag die Niederschlagssumme bei 144 mm und die potenzielle Verdunstung bei 291 mm. Bei einem Frischmasseertrag von etwa 3 kg/m² kann man auch von etwa 3 Liter Wasser je

Quadratmeter im Gemüse ausgehen. Im einfachen Substrataufbau von 8 cm Dachsubstrat wurden etwa 12 Liter Wasser bei maximaler Wasserspeicherung geschätzt. Bei Variante 3 wurde noch die Drainageschicht aus Blähton als zusätzlicher Wasserspeicher hinzugerechnet.

Tabelle 5: Theoretische Wasserbilanz der Varianten im Versuchszeitraum 2016 in Liter je Quadratmeter

Variante	1 Mikro-Sprinkler	2 Tropfschlauch offen	3 Anstau	4 Tropfschlauch Drainage	5 Tropfschlauch einfach	6 Bewässerungsmatte
Zugabe						
Niederschlag	144	144	144	144	144	144
Bewässerung	237	236	215	168	185	212
Abgabe						
Verdunstung	291	291	291	291	291	291
Überlauf	54	46	27	0	0	0
Verbleib						
Gemüse (geschätzt)	3	3	3	3	3	3
Substrat (geschätzt)	12	12	18	12	12	12
Speicher (gerundet)	0	0	0	60	60	60
undefinierter Rest						
+/-	21	28	20	-54	-37	-10

Die Wasserabgabe in den offenen Systemen der Varianten 1, 2 und 3 entsprachen mit maximal 60 Liter je Quadratmeter den Schätzungen im Wasserspeicher der Varianten 4, 5 und 6 mit Kreisläufen. Somit kann durch die Nutzung von Pumpen und Auffangbehältern das Überschusswasser von rund 30 bis 60 Liter je Quadratmeter eingespart werden. Das macht bei einer Bewässerung von über 200 l/m² eine Einsparung von etwa 15 bis 30 %. Im Hinblick auf eine mögliche Düngerauswaschung ist auch die Kreislaufnutzung sinnvoll. Für Veröffentlichungen und für eine übersichtliche Darstellung wurde ein Schaubild der Wasserbilanz erstellt (Abbildung 9).

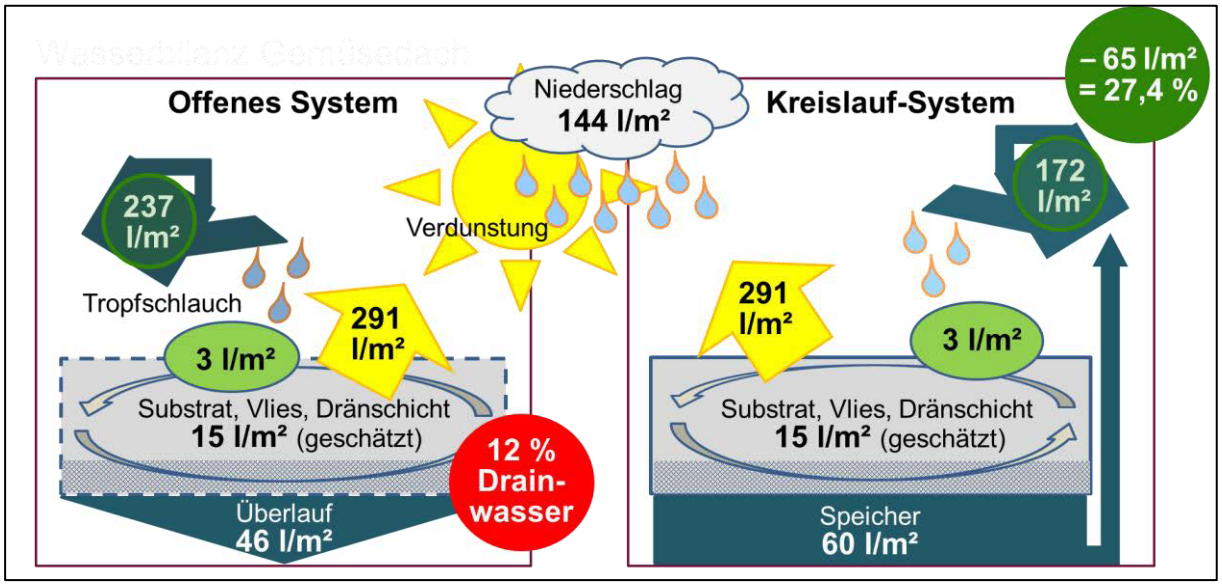


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Wasserbilanz bei unterschiedlichen Systemen auf dem Dach

3.1.3.3. pH- und EC-Verläufe

Der pH des Wassers der Varianten war im Sommer 2016 zwischen 5,2 und 8,4. Dabei ist insgesamt ein leichter Anstieg zu verzeichnen. Bei den offenen Varianten 1, 2 und 3 war der mittlere pH im Drainwasser am höchsten. Bei den Kreislauf-Varianten 4, 5 und 6 war er meist etwas niedriger (Abbildung 10).

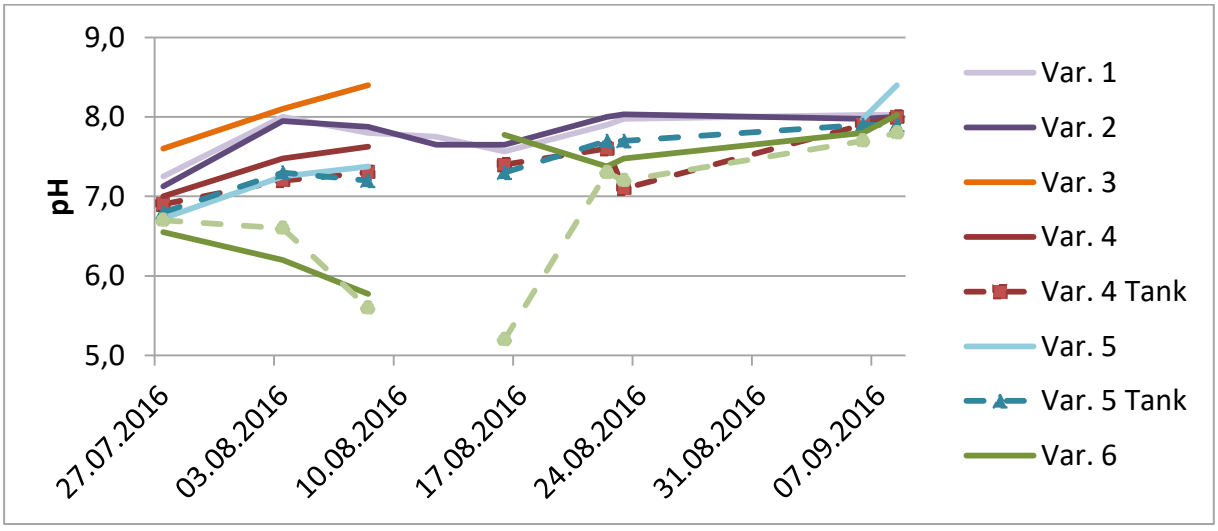


Abbildung 10: Mittlerer pH-Verlauf des Drainwassers der Varianten im Jahr 2016

Auch im Sommer 2017 lagen die pH-Werte zwischen 5,2 und 8,4. Bei der Variante 6 wurde meist der niedrigste pH gemessen. Durch Düngegaben kam es zum pH-Abfall (Abbildung 11).

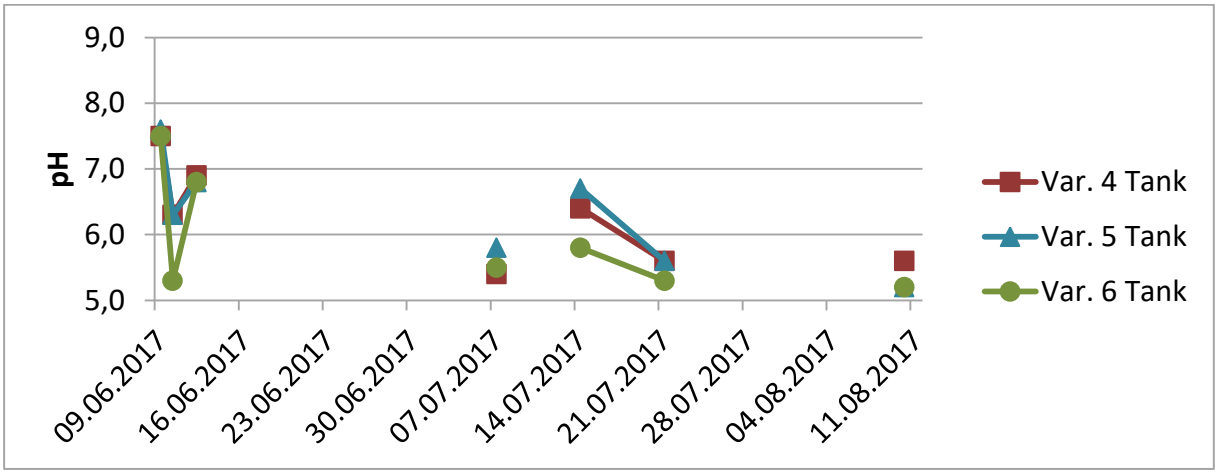


Abbildung 11: pH-Verlauf des Wassers im Tank bei den Kreislauf-Varianten im Sommer 2017

Die mittlere elektrische Leitfähigkeit des Drainwassers der Varianten lag im Sommer 2016 zwischen 0,2 mS/cm und 1,5 mS/cm. Bei den Varianten 1 und 2 betrug das Drainwasser maximal 0,8 mS/cm. Bei Variante 3 wurde nur im ersten Monat der EC des Drainwassers erfasst. Dieser lag bei etwa 1,0 mS/cm. In den Tankbehältern von Variante 4, 5 und 6 wurde eine niedrigere elektrische Leitfähigkeit gemessen, als im Drainwasser dieser Varianten. Im ersten Versuchsmonat wurden im Tank EC-Gehalte von etwa 1,0 mS/cm erzielt (Abbildung 12).

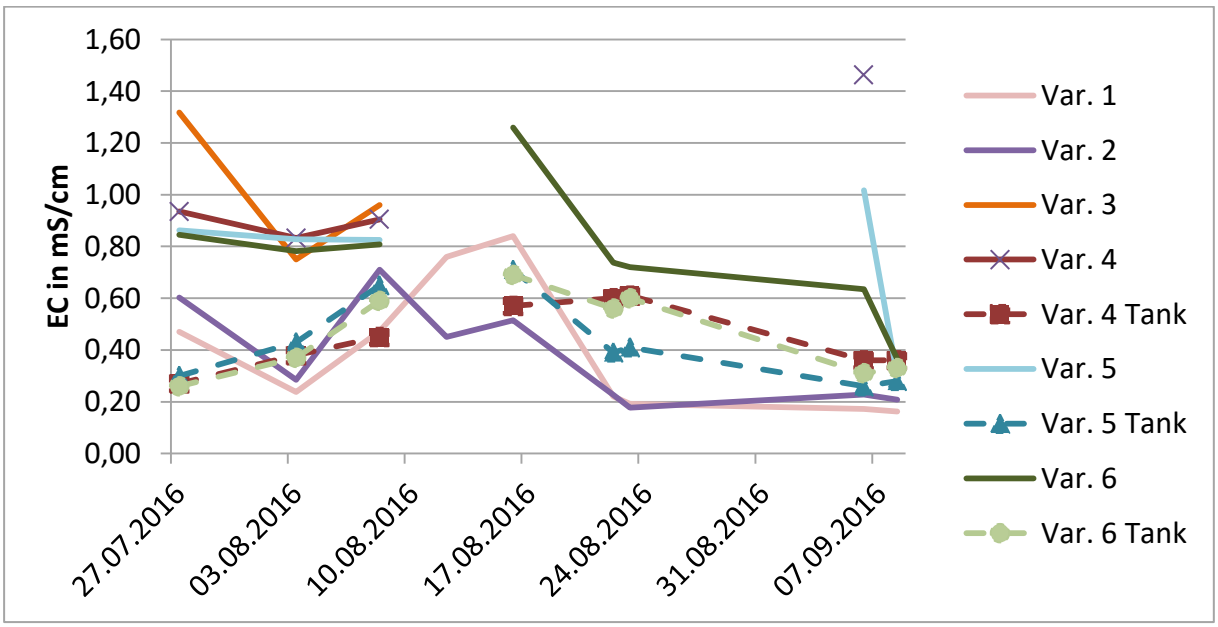


Abbildung 12: Mittlere elektrische Leitfähigkeit des Drainwassers der Varianten im Sommer 2016

Im Jahr 2017 wurde zwischen den Varianten 4, 5 und 6 in den Tanks stets sehr ähnliche EC-Werte gemessen. Im Versuchsverlauf lagen diese zwischen 0,2 mS/cm und 1,8 mS/cm. Während der Wert sich innerhalb von etwa einer Woche sehr stank verringerte, ergab es einen Trend zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit (Abbildung 13).

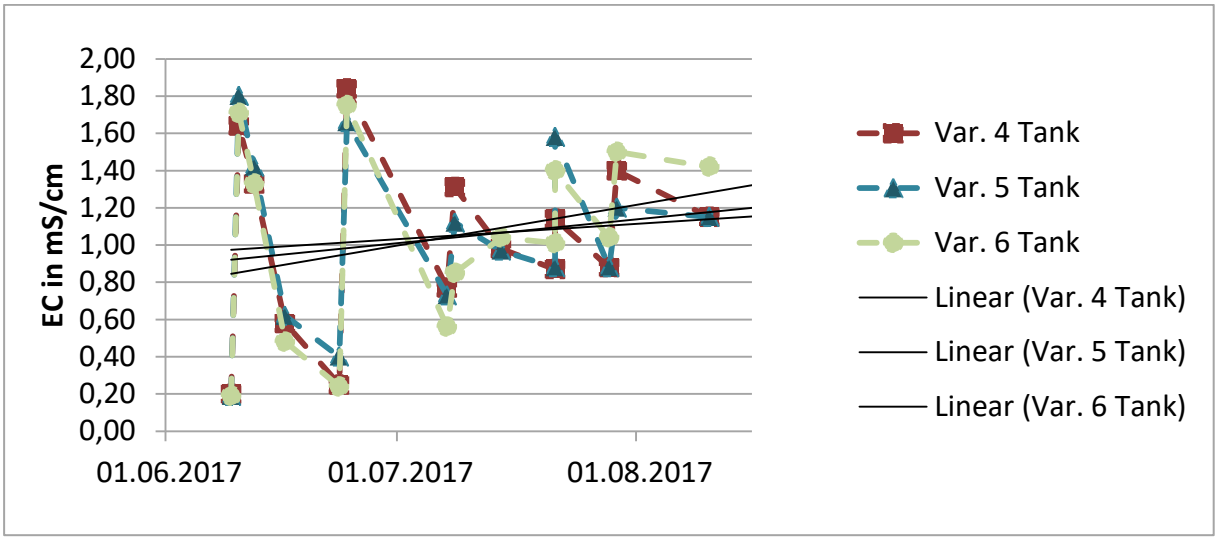


Abbildung 13: Mittlere elektrische Leitfähigkeit des Wassers im Tank der Kreislauf-Varianten im Sommer 2017

3.1.3.4. Vitalität

Die Vitalität und Eigenschaften der Gemüsearten für ihre Marktfähigkeit wurden zwischen den Gemüsearten, Mischungen und Varianten unterschiedlich bewertet. Bei der Mischung im Sommer 2016 gab es einzelne Lücken auf den Dachmodellen (Bild 11). Bei der Mischung im Sommer 2017 konnten sogar die Dachmodelle nahekomplett bedeckt werden (Bild 12).

Bild 11: Dachmodelle mit Gemüsemischpflanzung im September 2016

Bild 12: Dachmodell mit Gemüsemischpflanzung im August 2017

Der Blumenkohl im Sommer 2016 wies bei den Varianten 1, 3 und 6 eine mittlere bis gute Vitalität auf. Bei den anderen Anbausystemen gab es vorwiegend geringe Mängel bei den Pflanzen und es waren nur 20 bis 30% mit einer guten Vitalität (Boniturnote 7 und 9) gekennzeichnet (Abbildung 14).

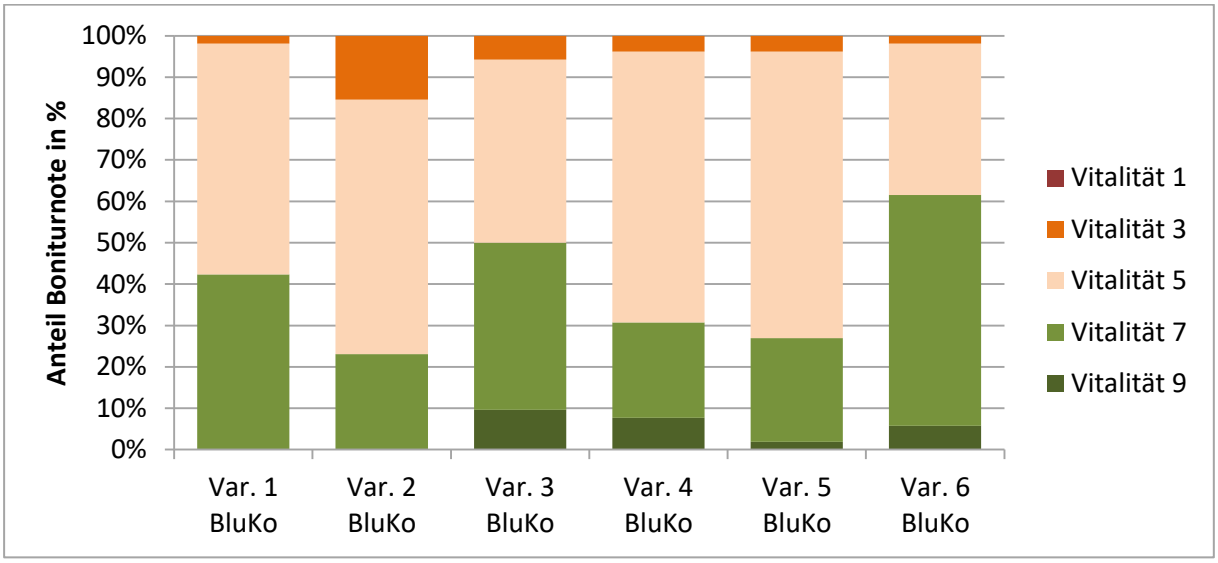


Abbildung 14: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Blumenkohl in der Mischpflanzung im Sommer 2016

Beim Sellerie wurde Variante 4 mit den schlechtesten Pflanzenentwicklungen bonitiert. Dort waren weniger als 20% mit einer guten Vitalität. Rund 50% wiesen bei Variante 4 geringe Mängel auf, und über 30% sogar stärkere Mängel (Vitalität 3). Bei Variante 3 (Anstau) wurde die beste Vitalität festgestellt (Abbildung 15).

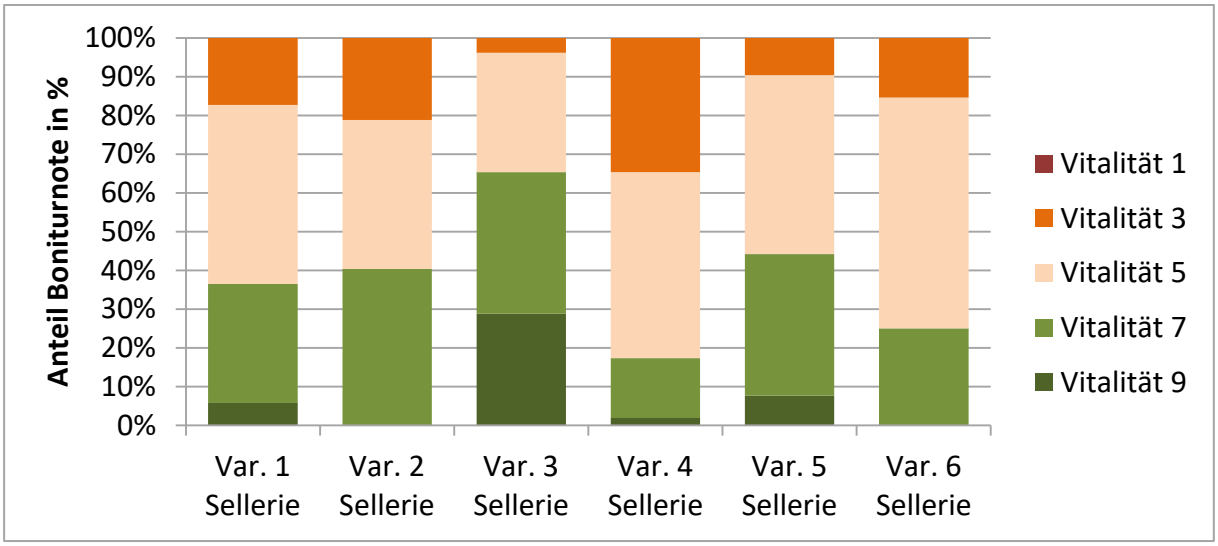


Abbildung 15: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Sellerie in der Mischpflanzung im Sommer 2016

Die Gurken entwickelten sich im Sommer 2016 insgesamt nicht sehr gut. Es gab im Versuchsverlauf teils Komplettausfälle durch Echten Mehltau. Es wurden etwa 15% der Bonituren mit starken Mängeln und etwa 20% mit weiteren Mangelerscheinungen benannt. Die geringen Mängel wurden zu Versuchsbeginn festgestellt und lagen somit bei etwa 20%. Fast keine Pflanze zeigte eine gute Entwicklung (Abbildung 16). Dennoch wurden teils über 30% der geernteten Gurken mit einer guten Qualität (Vitalität 7 und 9) bezeichnet (Abbildung 17).

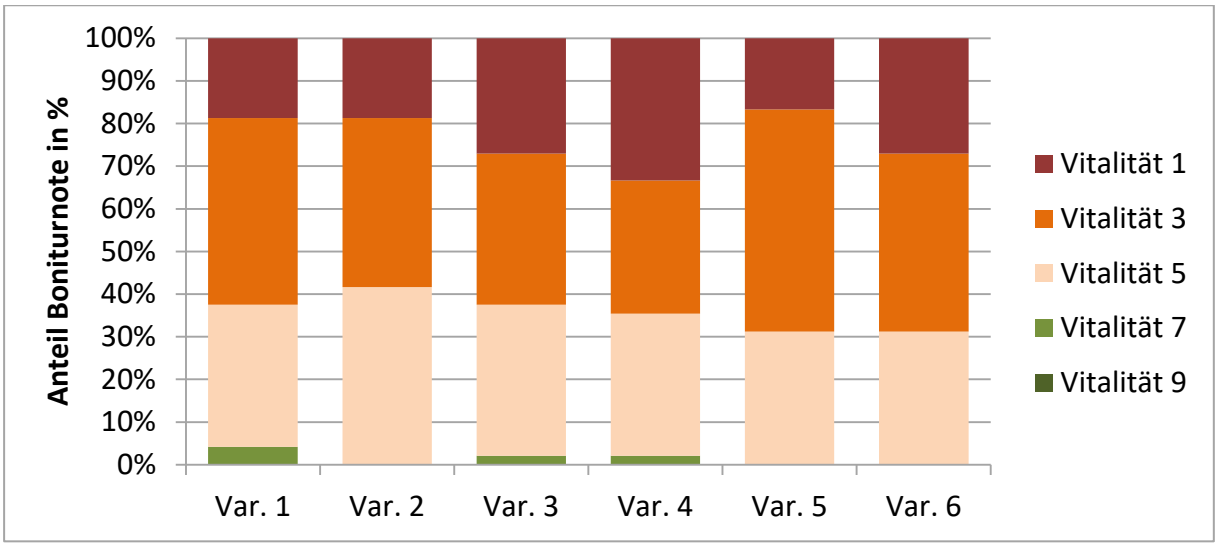


Abbildung 16: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Gurke in der Mischpflanzung im Sommer 2016

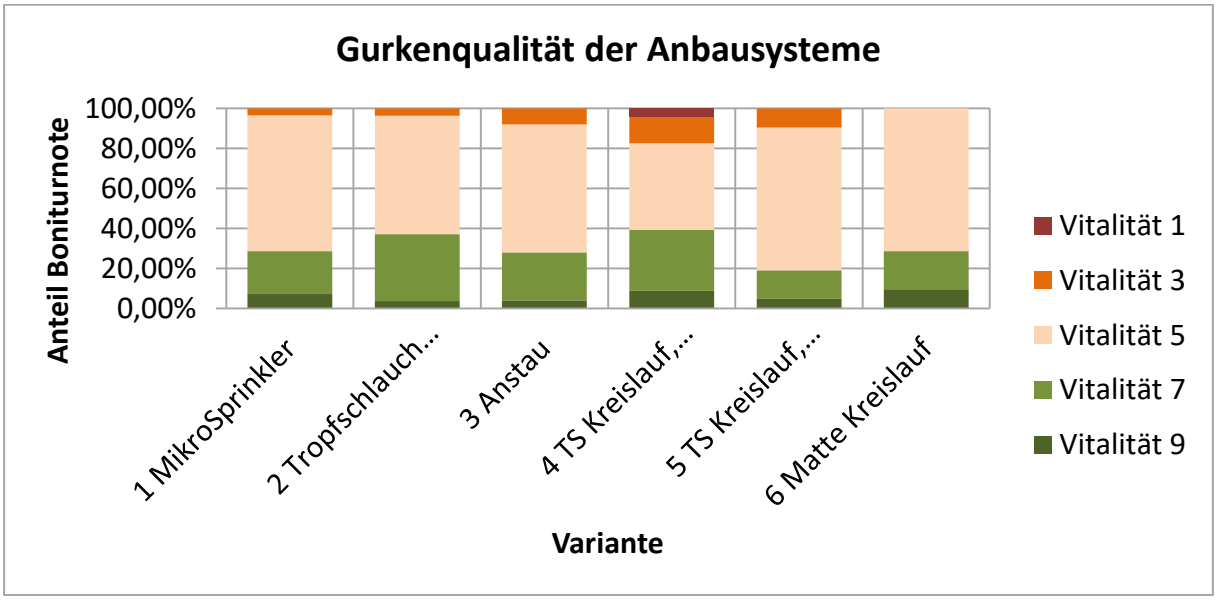


Abbildung 17: Gurkenqualität bei der Ernte im Sommer 2016

Im Sommer 2017 entwickelten sich die Pflanzen auf den Dachmodellen ohne Kreisläufe schlechter als auf den Dachmodellen mit Kreislauf.

Die Auberginenpflanzen bei Variante 3 (Anstau) vielen zum Teil komplett aus. Hier waren nur etwa 25% mit einer guten Vitalität gekennzeichnet. Auch bei Variante 1 und 2 traten teils stärkere Mängel bei den Auberginen auf. Am besten entwickelten sie sich bei Variante 6 (Abbildung 18).

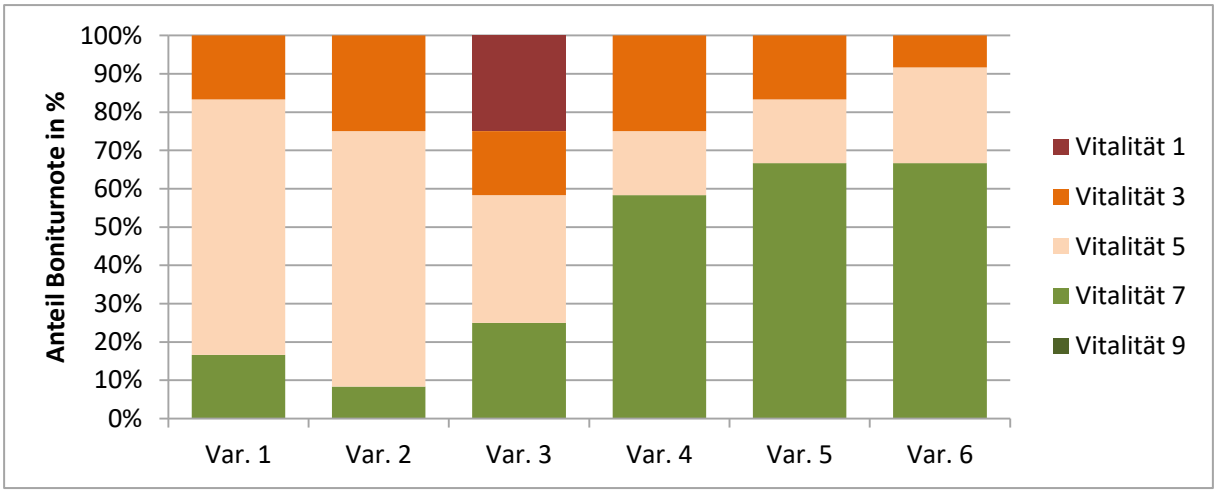


Abbildung 18: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Aubergine in der Mischpflanzung im Sommer 2017

Auch die Zwiebeln entwickelten sich bei Variante 4, 5 und 6 besser als bei den Varianten im offenen System. Bei Variante 1, 2 und 3 kam es bei etwa 10% der Bonituren zu stärkeren Mängeln. Bei Variante 4 wurden sogar über 70% mit der Vitalitätsnote 7 beurteilt. Die restlichen Pflanzen hatten vor allem geringe Mängel (Abbildung 19).

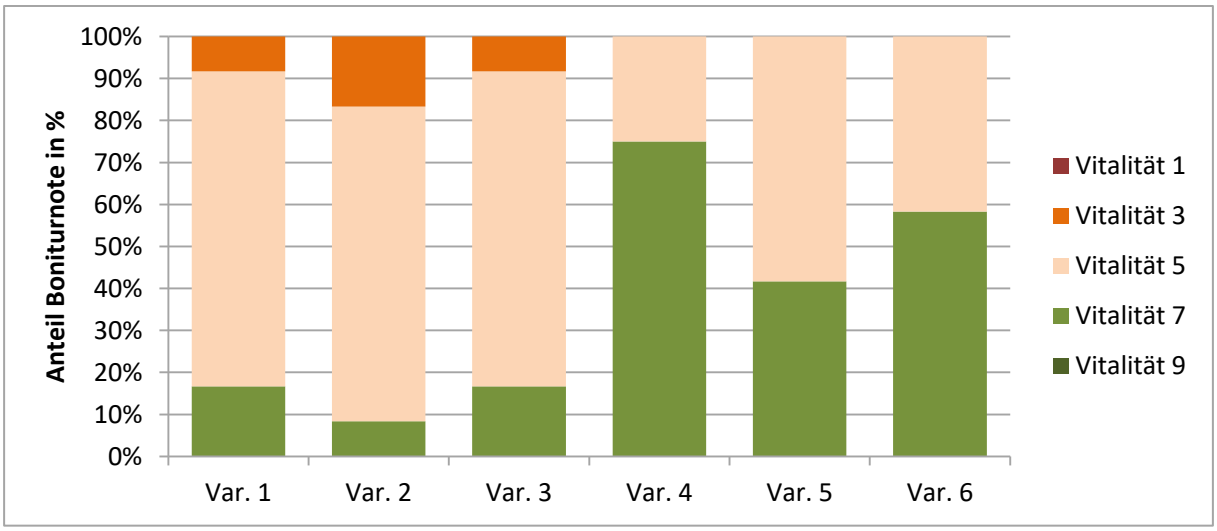


Abbildung 19: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Zwiebel in der Mischpflanzung im Sommer 2017

Bei der Roten Bete waren die Mängel im offenen System teils noch stärker ausgeprägt. Die Vitalität 3 wurde hier bei über 50% der Bonituren bei Variante 1 festgestellt. Am besten wurde Variante 4 beurteilt. Hier waren sogar über 15% sehr gut entwickelt. Jedoch gab es auch dort 10% Mängel. Variante 5 und 6 hatten über 30% gute Rote Bete Pflanzen (Abbildung 20).

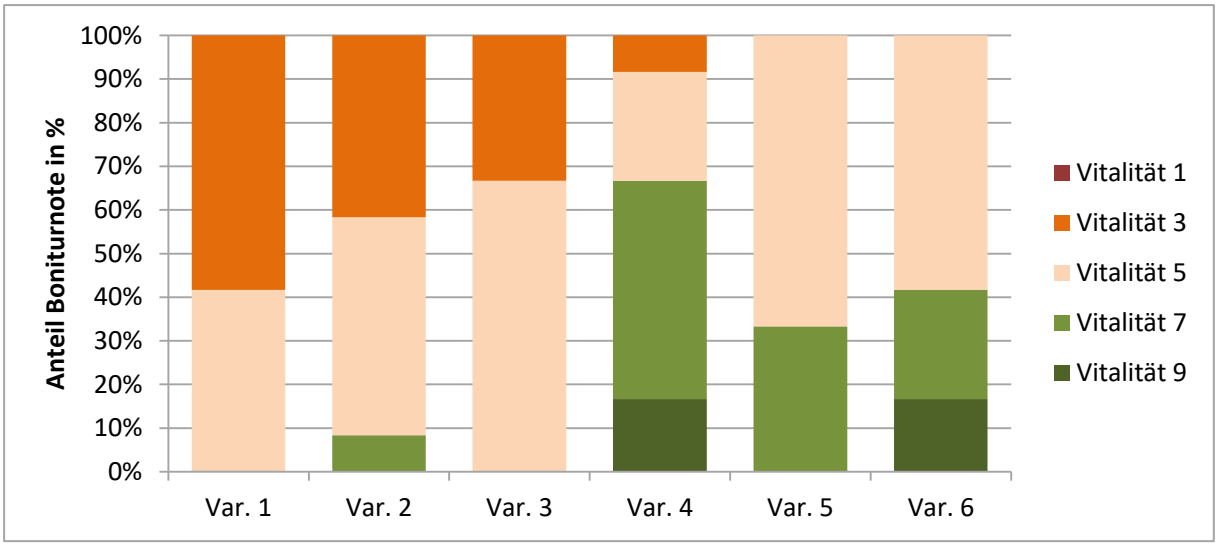


Abbildung 20: Häufigkeiten bei der Bonitur (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung) von Rote Bete in der Mischpflanzung im Sommer 2017

3.1.3.5. Erträge

Neben der allgemeinen Vitalität der Gemüsearten wurden auch die marktfähigen Erträge der Varianten und Kulturen aufgezeichnet und (statistisch) ausgewertet.

Erträge einzelner Pflanzen

Die mittleren Erträge aller Arten je Quadratmeter wurden bei den verschiedenen System-Varianten erfasst und verglichen.

Im Sommer 2016 wurde Sellerie zwischen rund 260 und 780 g/m² geerntet (Abbildung 21). Die höchsten Erträge wurden bei der Anstau-Variante und bei der einfachen Tropfschlauch-Variante mit Kreislauf erzielt.

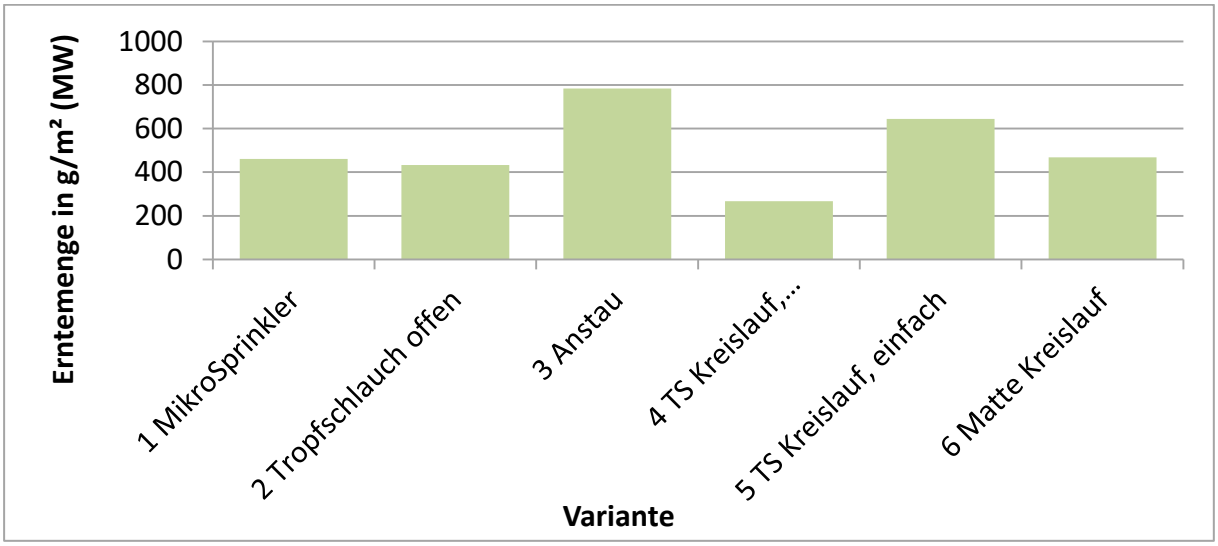


Abbildung 21: Sellerie-Ernte im Sommer 2016

Das mittlere Blumenkohlgewicht 2016 lag zwischen rund 490 g/m² bei Variante 4 und 811 g/m² bei Variante 3 (Abbildung 22). Somit wurde bei der Kreislauf-Variante mit Drainage am wenigsten geerntet (Bild 13).

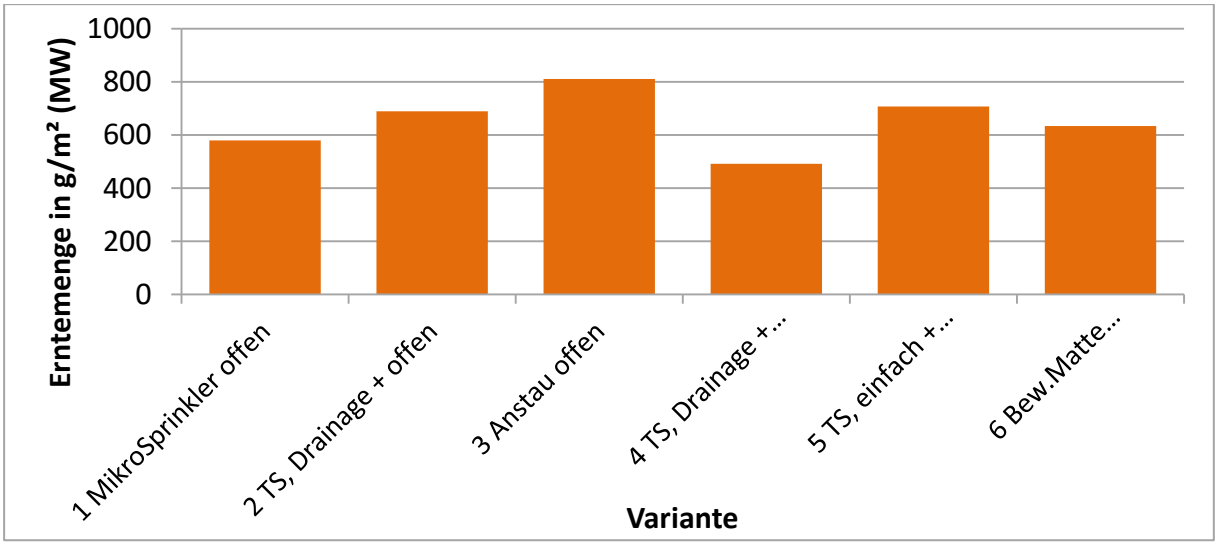


Abbildung 22: Blumenkohl-Ernte im Sommer 2016

Bild 13: Blumenkohl-Ernte der Variante 1 bis 6 am 14.09.2016

Bei allen Varianten wurden im Sommer 2016 lediglich rund 200 bis 300 g Gurken je Quadratmeter geerntet. Bei der Variante 1 mit Mikro-Sprinklern wurde allerdings der höchste mittlere Ertrag von rund 330 Gramm erzielt (Abbildung 23). Die Erträge waren bei den Kreislauf-Varianten am geringsten (Bild 14).

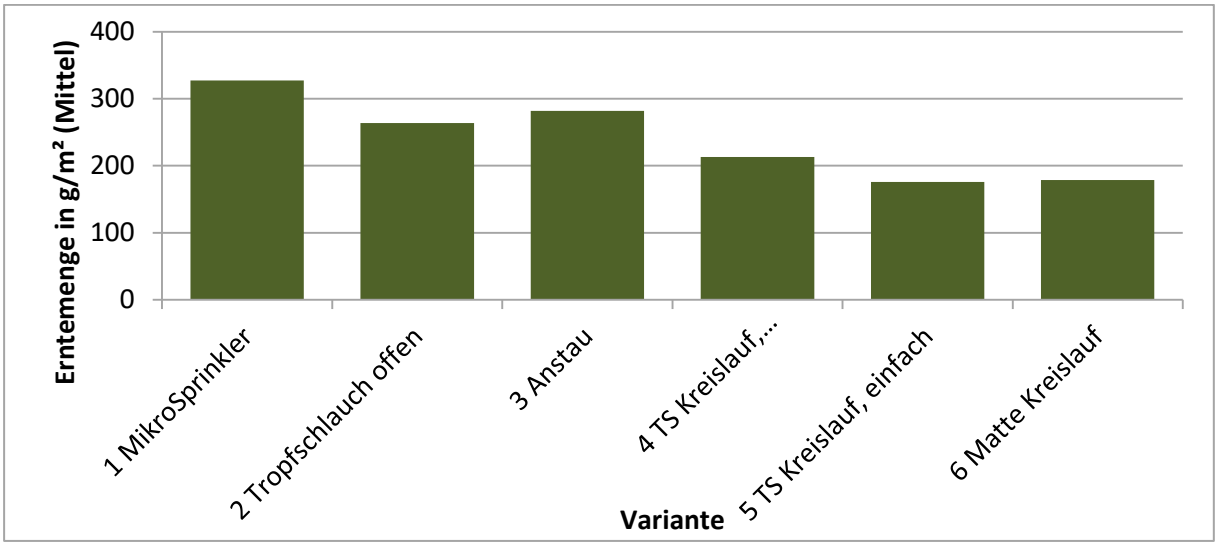


Abbildung 23: Gurken-Ernte 2016

Bild 14: Gurken-Ernte der Variante 1 bis 6 am 21.07.2016

Die Erträge vom roten Eichblatt-Salat lagen bei etwa 1400 g/m² im Jahr 2017. Bei Variante 3 mit Anstau-Bewässerung wurde der höchste Ertrag von über 1800 g/m² festgestellt (Abbildung 24).

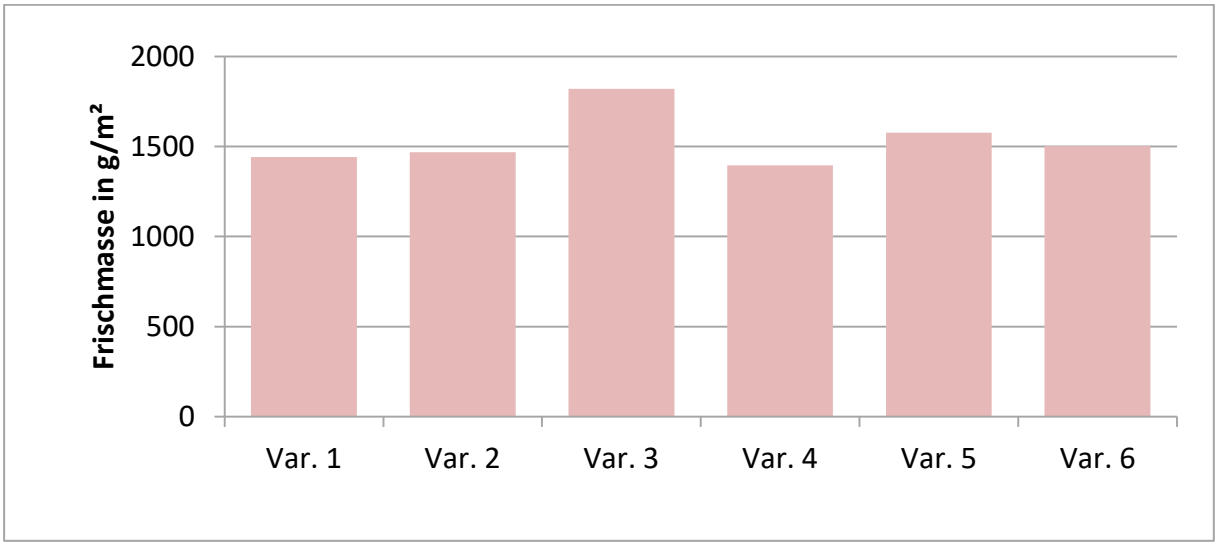


Abbildung 24: Ernte von rotem Eichblatt im Juni 2017

Die Erträge bei Rote Bete im Jahr 2017 unterschieden sich sehr stark zwischen den Varianten. Während die offenen Systeme nur rund 600 bis 900 g/m² aufwiesen, kam es bei den Kreislauf-Varianten zu Erträgen zwischen 3100 und 3900 g/m².

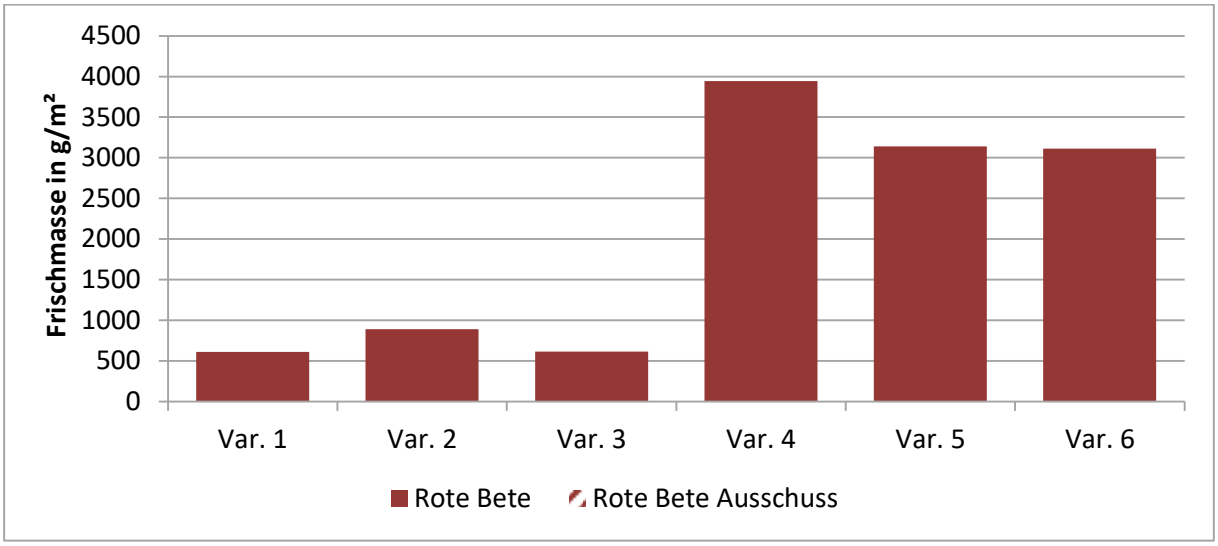


Abbildung 25: Mittlere Frischmasse von Rote Bete bei den Varianten im Sommer 2017

Die Variante mit Tropfschläuchen und Drainage wies mit Rote Bete den höchsten Ertrag auf. Der Ausschuss betrug bei allen Systemen zwischen 200 und 300 g/m². Die nicht-vermarktungsfähige Rote Bete war damit anteilig bei den Varianten 1,2 und 3 höher als bei den Kreislauf-Varianten (Abbildung 25). Bei Variante 4, 5 und 6 waren viele Knollen sehr groß und guter Qualität (Bild 15).

Bild 15: Waschen der Rote Bete Ernte am 04.10.2017

Auch bei den Auberginen wurden in den Kreislauf-Systemen höhere Erträge erzielt als im offenen System. Einige Früchte hatten eine sehr gute äußere Qualität (Bild 16). Der geringste Ertrag wurde bei der Anstau-Variante mit rund 560 g/m² gemessen. Der mittlere Ertrag bei Variante 1 und 2 war um über 200 g höher. Der beste Ertrag wurde bei Variante 6 (Bewässerungsmatte) mit rund 1700 g/m² festgestellt. Variante 4 und 5 lagen etwas darunter (Abbildung 26).

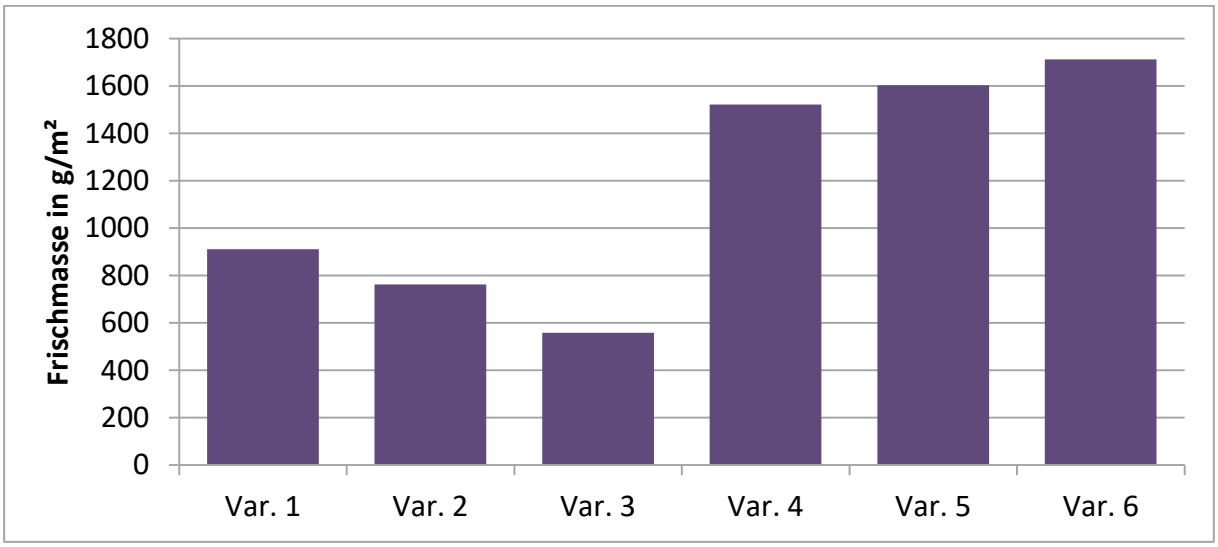


Abbildung 26: Mittlere Frischmasse von Auberginen bei den Varianten im Sommer 2017

Bild 16: Auberginen-Ernte aller Dachmodelle am 02.08.2017

Die Erträge von gesäten Zwiebeln auf den Dachmodell-Varianten waren unterschiedlich. Bei Variante 2 (Tropfschlauch offen) wurde mit rund 1200 g/m² der geringste Ertrag gemessen. Bei Variante 1 (Mikrosprinkler) war der Ertrag mit rund 1390 g/m² etwas höher. Bei Variante 3 (Anstau) wurde mit 2200 g/m² fast der doppelte und damit höchste mittlere Ertrag aller Systeme festgestellt. Die Kreislauf-Varianten wiesen einen Zwiebel-Ertrag von rund 1900 g/m² auf (Abbildung 27). Dennoch war die Erntesumme auf den Dachmodellen reichlich, sodass im Institut einige Zwiebeln direkt zum Trocknen aufgehängt wurden (Bild 17).

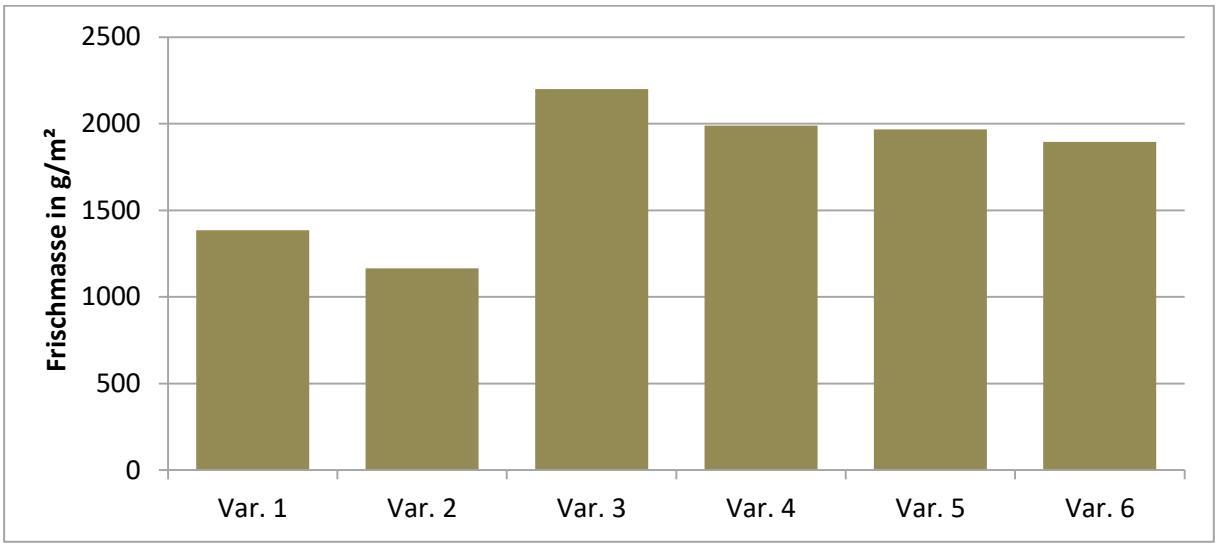


Abbildung 27: Mittlere Frischmasse von Zwiebeln auf den Dachmodellen der Varianten im Sommer 2017

Bild 17: Zum Trocknen aufgehängt Zwiebeln im Herbst 2017

Erträge im Vergleich

Die Gemüseerträge der Mischung aus Gurke, Sellerie und Blumenkohl im Sommer 2016 waren viel geringer als die Erträge der Mischung im Sommer 2017 aus Rote Bete, Zwiebeln und Aubergine. Die Gemüsemischung im Jahr 2016 war bei Variante 3 (Anstau) mit rund 1,8 kg/m² am besten und bei Variante 4 (Kreislauf, Drainage) war der Ertrag mit rund 1 kg/m² am geringsten. Bei den Kreislauf-Varianten wurden im Sommer 2017 die höchsten mittleren Erträge von bis zu rund 7,5 kg/m² festgestellt. Die geringsten mittleren Erträge wurden 2017 bei Variante 1 und 2 mit etwa 2,8 kg/m² erfasst. Im gesamten Versuchsverlauf wurden somit bei Variante 4 (Kreislauf mit Drainage) fast 10 Kilogramm Gemüse je Quadratmeter geerntet. Die anderen Kreislauf-Systeme lagen nur etwas darunter. Die mittleren Erträge der offenen Systeme lagen zwischen rund 5,5 kg/m² und 7 kg/m² im gesamten Versuchsverlauf (Abbildung 28).

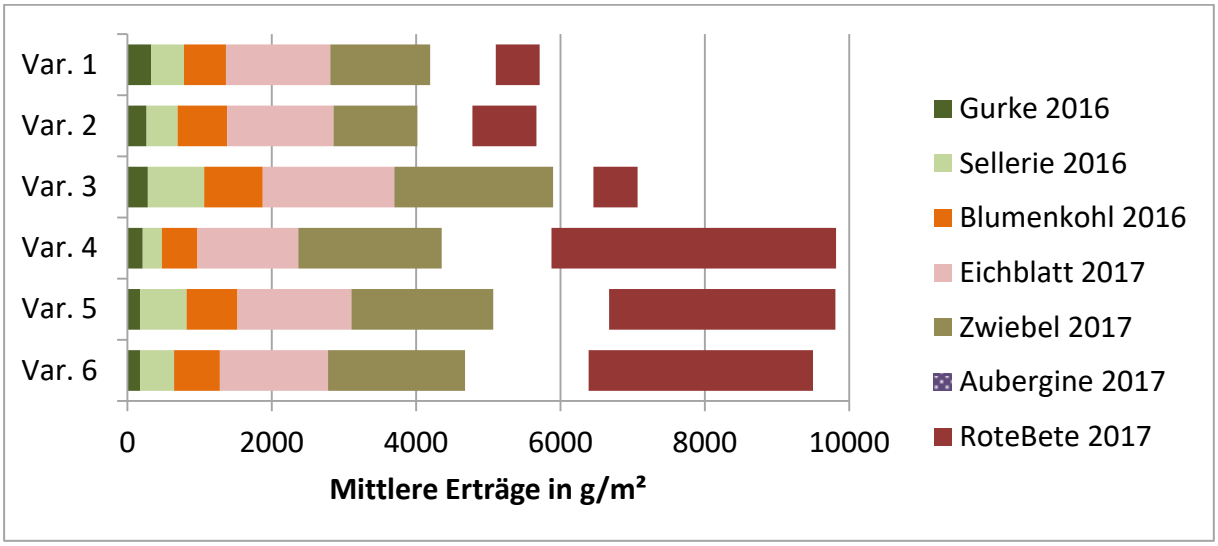


Abbildung 28: Vergleich der mittleren Erträge der Anbausysteme mit unterschiedlichen Mischpflanzungen im Versuchsverlauf 2016 und 2017

3.1.3.6. Deckungsgrad auf den Dachmodellen

Der Deckungsgrad war auf den Dachmodellen in den Jahren 2016 und 2017 unterschiedlich (siehe Bild 18 und Bild 19). Während es 2016 Unterschiede zwischen den Pflanzenarten gab, wuchsen im Jahr 2017 nahezu alle Arten gleichmäßig. Daher waren am Ende im Jahr 2017 auch sehr hohe Deckungsgrade möglich.

Bild 18: Dachmodelle am 27.07.2016

Bild 19: Dachmodelle am 06.09.2016

Der mittlere Deckungsgrad der Varianten auf den Dachmodellen hat sich im Versuchsverlauf im Jahr 2016 meist erhöht. Lediglich bei Variante 4 kam es im Laufe des Septembers 2016 zu einer Verringerung des Deckungsgrades von über 40% auf fast 30%. Der höchste Deckungsgrad wurde bei Variante 3 festgestellt. Dort wurde am Ende der Bonituren eine Deckung von über 60% bewertet (Abbildung 29).

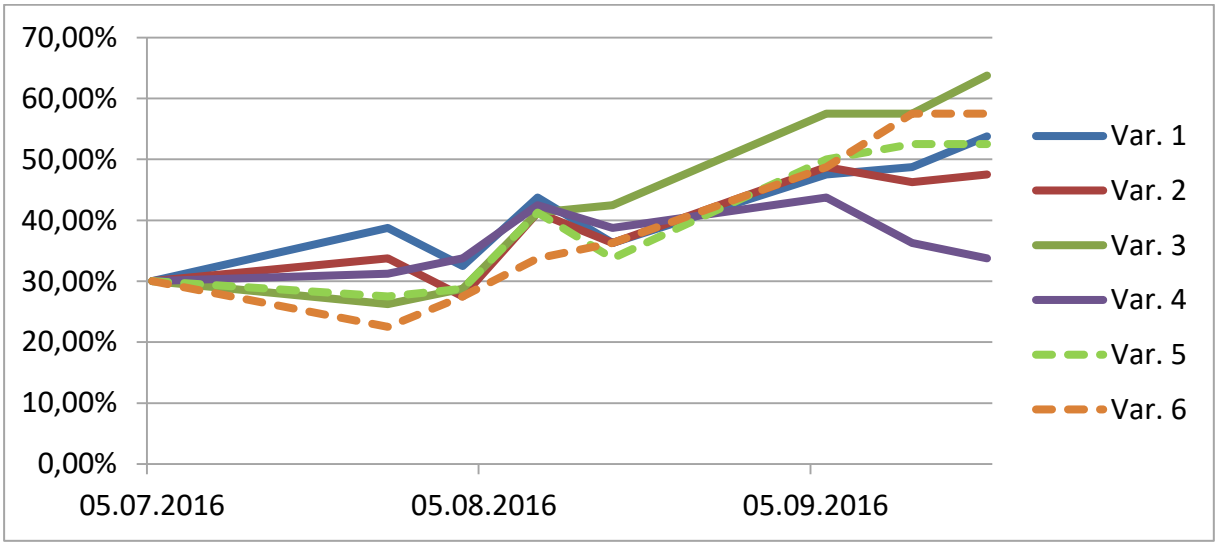


Abbildung 29: Mittlerer Gesamt-Deckungsgrad der Varianten auf den Dachmodellen im Sommer 2016

Der Deckungsgrad der Blumenkohlpflanzen auf den Dachmodellen unterschied sich kaum. Lediglich Variante 3 (Anstau) und Variante 6 (Bewässerungsmatte) wurden mit den höchsten Deckungsgraden bei Blumenkohl im September bezeichnet. Der Blumenkohl deckte hier fast 40% der Oberfläche ab. Zu Versuchsbeginn wurde die geringste Deckung bei etwa 10% gemessen. Bei Variante 4 waren nur 20% mit Blumenkohl bedeckt (Abbildung 30).

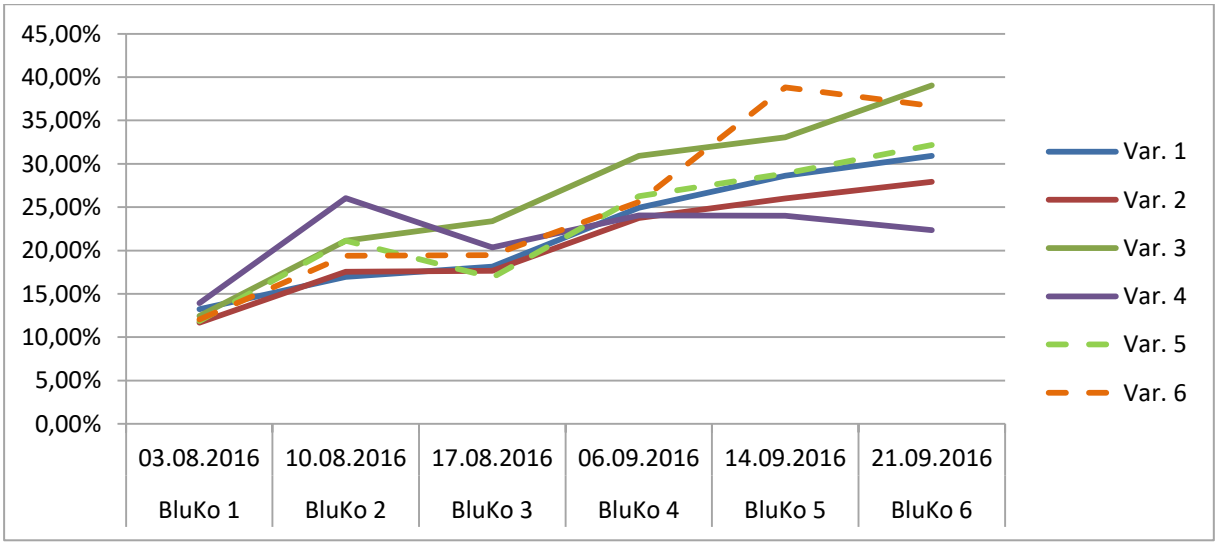


Abbildung 30: Deckungsgrad von Blumenkohl auf den Dachmodellen im Versuchsverlauf 2016

Der Deckungsgrad von Sellerie lag bei den Dachmodellen zum Versuchsbeginn im August 2016 bei maximal 8%. Im September wurde eine Deckung von rund 25% bei

Variante 3 (Anstau) durch Sellerie festgestellt. Variante 4 hatte zu diesem Zeitpunkt durch Sellerie nur eine Deckung von 11% (Abbildung 31).

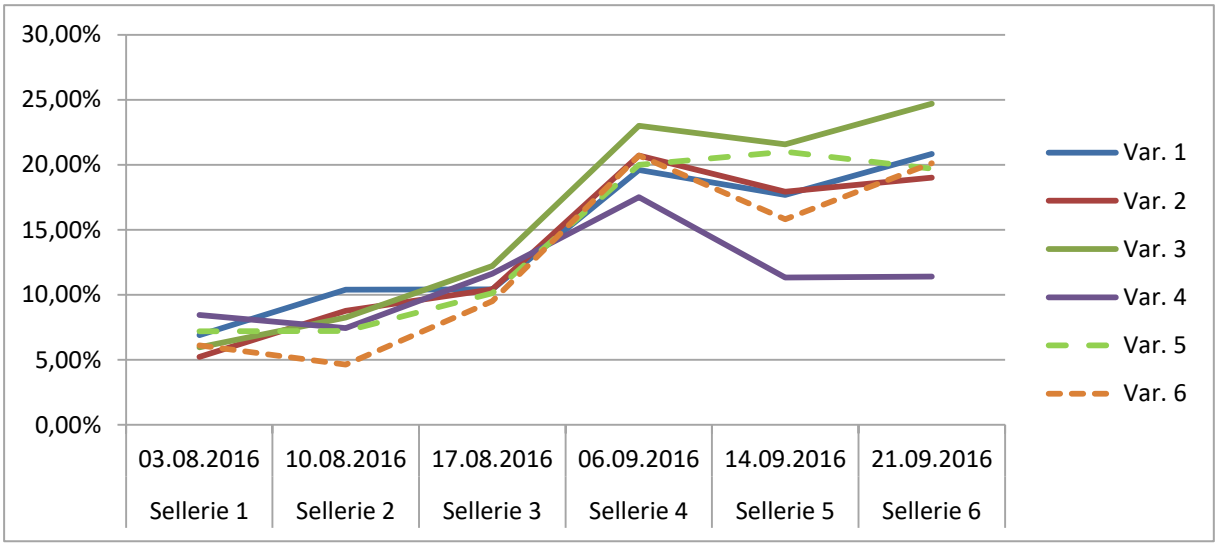


Abbildung 31: Deckungsgrad von Sellerie auf den Dachmodellen im Versuchsverlauf 2016

Der Deckungsgrad der Gurkenpflanzen lag zu Beginn im August 2016 bei rund 10%. Bei den meisten Varianten stieg der Deckungsgrad in der folgenden Woche um bis zu weitere 5% an. Allerdings sank der Deckungsgrad der Gurkenpflanzen bei allen Systemen im Versuchsverlauf bis September auf nahezu 0%. Ein Großteil der Pflanzen war bis zu diesem Zeitpunkt ausgefallen (Abbildung 32).

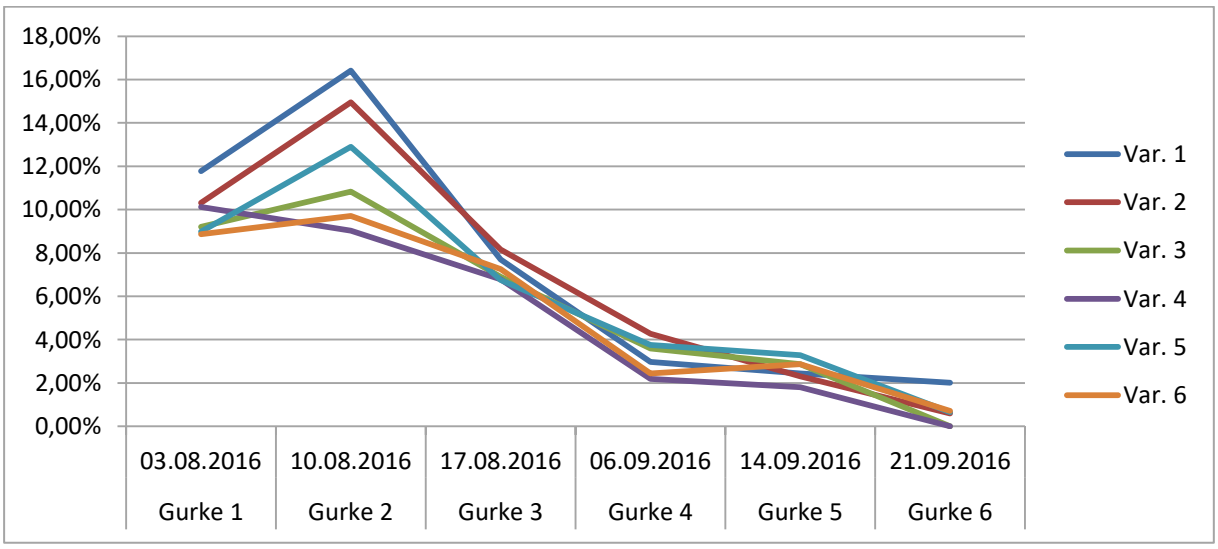


Abbildung 32: Deckungsgrad von Gurkenpflanzen auf den Dachmodellen im Versuchsverlauf 2016

3.1.3.7. Pflegeaufwand auf den Dachmodellen

Die notwendige Pflege der Dachmodelle verlief in den beiden Jahren teils unterschiedlich. Bei Variante 3 (Anstau) war allerdings stets der Höchste Pflegebedarf für Beikraut usw. festgestellt worden. Während im Herbst 2016 nur rund 2,5 AKmin/m² nötig waren, wurden im Sommer und Herbst 2017 insgesamt fast 10 AKmin/m² gemessen. Der größte Arbeitszeitbedarf wurde am 31.Juli 2017 gemessen, der geringste am 08.Juni 2017. Bei den meisten Varianten lag im Versuchszeitraum 2016 und 2017 die Summe an Arbeitskraftminuten bei etwa 5-6 (Abbildung 33).

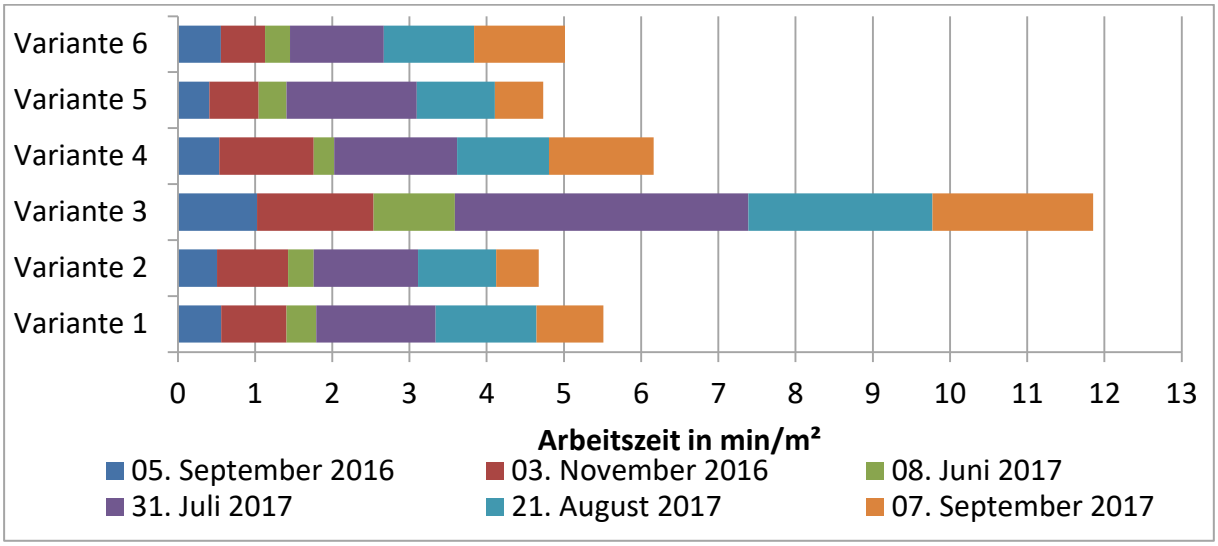


Abbildung 33: Arbeitsbedarf für die Unkrautpflege auf den Dachmodellen 2016 und 2017

3.1.4. Schlussfolgerungen

3.1.4.1. Pflanzenauswahl

Die Mischpflanzung mit Sellerie, Blumenkohl und Gurke entwickelte sich im Sommer 2016 weniger gut. Vor allem die Gurkenpflanzen entwickelten sich auf den Dachmodellen nicht gut und sind in der Mischpflanzung nicht zu empfehlen.

Bei der Mischpflanzung mit Rote Bete, Zwiebeln und Aubergine sind vor allem in den Kreislaufsystemen sehr gute Erträge erzielt worden. In der Pflanzenentwicklung waren allerdings bei den Zwiebeln kaum Unterschiede zwischen den Systemen zu verzeichnen. Hier ist der Bedarf an Wasser und Dünger geringer. Für Rote Bete und Auberginen sind möglichst optimale Nährstoff- und Wasserversorgungen nötig.

3.1.4.2. Wasserbilanz

Im Kreislaufsystem wird in etwa die Wassermenge eingespart, die im offenen System ins Grundwasser gelangen würde. Vor allem in Hinblick auf die Wasserversorgung und Wassereinsparung sind Kreislaufsysteme auf dem Dach zu empfehlen. Allerdings sind dafür meist Pumpen und eine technische Anlage, z.B. mit Zeitschaltuhr nötig.

3.1.4.3. Düngung

Der Einsatz eines Kreislaufsystems verringert die Düngerauswaschung. Somit können sich auch die Pflanzen optimal entwickeln. Die Düngung erfolgt im Idealfall über die Bewässerung. Die Ausbringung ist leichter und der Dünger ist besser für die Pflanzen verfügbar. In trockenen Monaten, während der Wasser- und Düngebedarf sehr hoch ist aber wenige Niederschläge fallen, kann der Dünger nur in geringem Maße über das Granulat aufgelöst werden.

3.1.4.4. Bestandsbildung

In der Sellerie, Blumenkohl und Gurke Mischung gab es nur einen Deckungsgrad von maximal 60%. Um nachhaltig auch im Sommer eine gute Deckung in der Stadt zu erzielen ist dies nicht ausreichend. Es müssten mehr Zwischenansaaten genutzt werden. Der Bestand aus Rote Bete, Zwiebeln und Aubergine wies im Sommer 2017 eine sehr gute Deckung bei den Kreislaufsystemen auf. Diese Mischpflanzung ist für solche Systeme sehr zu empfehlen.

3.1.5. Weiterer Forschungsbedarf

Beim Urban Gardening besteht auch der Bedarf für verschiedene Düngerarten. Organischer Dünger wurde bisher auf den Dachbegrünungssystemen mit Gemüse kaum untersucht. Weitere Mischpflanzungskonzepte sind sowohl für die Stadtplanung als auch für Verbraucher, Restaurants und Urban Gardening Initiativen interessant und sollten weiter untersucht werden.

3.2. Versuch zur Düngung auf Dachmodellen mit Kreisläufen

An der LWG wurden bereits Untersuchungen mit Kreislaufsystemen und mineralischen Düngern durchgeführt. Dabei wird beim Urban Gardening regelmäßig nach dem Einsatz von organischen Düngern nachgefragt. Somit bedarf es an einem Versuch zur unterschiedlichen Düngung auf einem Dach-System mit Nahrungspflanzen.

3.2.1. Zielsetzung

Vergleich verschiedener Verabreichungsformen von Dünger zur Versorgung von Gemüsemischungen auf Systemen zur dünnschichtigen Dachbegrünung. Dabei soll im Sommer 2018 ein Mischungskonzept von „italienischer Arrabbiata“ genutzt werden. Es sollen sowohl mineralische, organische Dünger, als auch die Düngung über die Bewässerung getestet werden.

3.2.2. Material und Methode

3.2.2.1. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau der Dachmodelle vom Versuch im Kapitel 3.1.2.1 wurde auch für den Versuch zur Düngung auf Dachmodellen mit Kreisläufen genutzt. Für diesen Versuch wurden die Varianten 4, 5 und 6 genutzt und in Variante 1, 2 und 3 umbenannt (Tabelle 6). Die Drainagematten wurden lediglich bei der Variante mit Unterflur-Bewässerung gelassen. Die drei Varianten unterschieden sich vor allem in der Verabreichung des Düngers. Das Substrat des vorherigen Versuchs wurde entfernt und neu homogenisiert und auf den Dachmodellen verteilt.

Tabelle 6: Versuchsvarianten auf den Dachmodellen 2018

Variante	Systemaufbau von unten nach oben
1. Kreislauf einfach, mineralisch	• Substrat • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm) • mineralischer Stickstoffdünger über Substrat
2. Kreislauf einfach, organisch	• Substrat • Tropfschläuche (4 Reihen, TA 30 cm) • organischer Mehrnährstoffdünger über Substrat
3. Unterflur-Bewässerung Kreislauf, flüssig	• Drainagematte (25 mm) • Bewässerungsmatte aus Bändchengewebe mit Tropfschläuchen (3 Reihen, TA 50 cm) • Substrat • mineralischer Mehrnährstoffdünger über Bewässerung

3.2.2.2. Pflanzenauswahl

Für den Sommer 2018 wurde ein Mischungskonzept „italienische Arrabbiata“ entwickelt. Am 24.05.2018 wurden je Dachmodell 5 Pflanzen Tomate 'Principe Borghese' 4 Paprika-Pflanzen 'Sweet Dreams', 3 Chili-Pflanzen 'De Cayenne' ausgebracht und dazwischen 34 Gramm (inklusive Sojaschrot) der Ansaatmischung ausgebracht. Die Mischung enthält Karotten, Schnittknoblauch, Zwiebeln und italienische Kräuter (Tabelle 7). Geerntet wurde vom 17.07.2018 bis 15.10.2018.

Tabelle 7: Zusammensetzung der Gemüsemischung "italienische Arrabbiata"

Kultur - Direktsaat	Aussaatmenge in Gramm je m²
Karotten 'Ochsenherz'	0,005
Schnittknoblauch	0,1
Zwiebel 'Stuttgarter Riesen'	0,05
Rosmarin	0,0065
Thymian	0,05
Oregano	0,02
Basilikum	0,015
Petersilie	0,05
Schnittsellerie 'Gewöhnlicher Schnitt'	0,025
Estragon	0,0065
Voranzucht	
Chili 'De Cayenne'	0,005
Tomaten 'Principe Borghese'	0,0025
Paprika 'Sweet Dreams'	0,0075
Summe alle	0,343 g/m²

3.2.2.3. Düngung und Bewässerung

Der Düngebedarf wurde anhand von Literaturangaben zu Gemüse bestimmt [3]. Aufgrund des geringen Stickstoffgehaltes im Dachsubstrat und ausreichenden Gehaltes an Phosphor, Kalium und Magnesium wurde vor allem die Stickstoffversorgung in Höhe von 30 Gramm Stickstoff je Quadratmeter über im Betrieb verfügbare Dünger abgedeckt.

Tabelle 8: Verlauf der Düngung auf den Dachmodellen 2018

	Var. 1 (je Parz.)	Var. 2 (je Parz.)	Var. 3 (in Tank)
30.05.2018	176 g ENTEC 26 176 g ASS	904 g Biosol SW	562 g Ferty 2
05.06.2018	1. Substratprobe und Gießwasserprobe		
11.06.2018	-	-	562 g Ferty 2
20.06.2018	-	-	562 g Ferty 2
27.06.2018	176 g ENTEC 26 176 g ASS	904 g Biosol SW	562 g Ferty 2
04.07.2018	2. Substratprobe und Gießwasserprobe		
05.07.2018	-	-	562 g Ferty 2
12.07.2018	-	-	562 g Ferty 2

Der Stickstoff-stabilisierte Dünger ENTEC 26 und der schneller wirkende ASS wurden bei Variante 1 auf zwei Düngergaben verteilt. Bei Variante 2 wurde ausschließlich der organische Dünger Biosol SW verwendet. Variante 3 erhielt sechsmal eine Portion Ferty 2 im Wassertank. Im Versuchsverlauf wurden zwei Substrat- und Gießwasserproben genommen und analysiert (Tabelle 8).

In die Wasserbehälter der jeweiligen Varianten wurde regelmäßig frisches Wasser nachgefüllt. Mit einer Wasseruhr wurden die Wassergaben aufgezeichnet und in einem Diagramm dargestellt (Abbildung 34). Im Verlauf war die nachgefüllte Wassermenge sehr ähnlich.

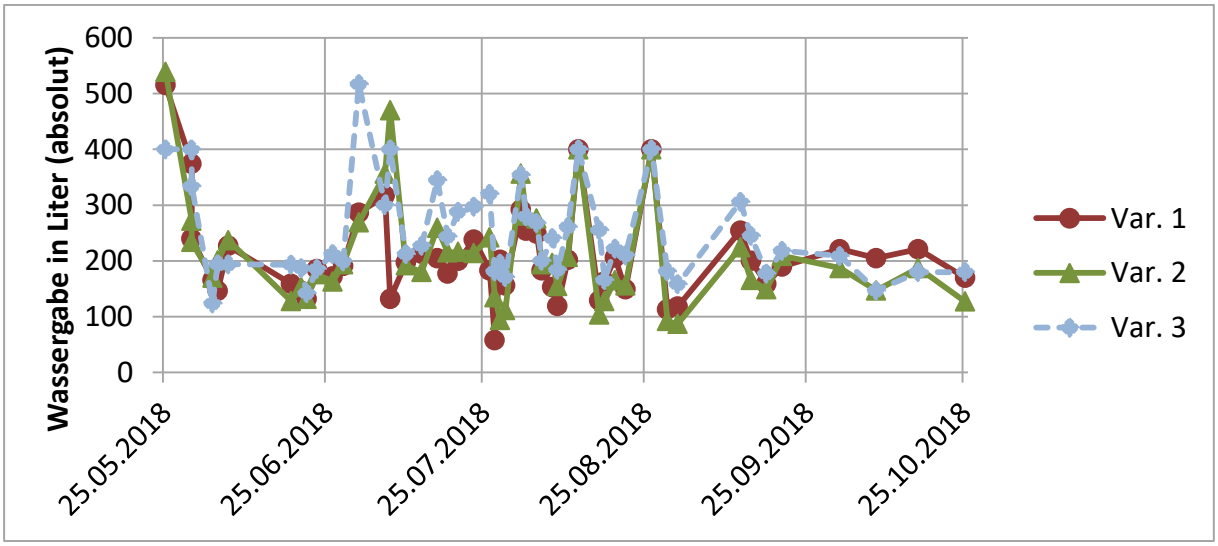


Abbildung 34: Verlauf der Wassergaben der Varianten im Sommer 2018

Bei Variante 1 und 2 wurden rund 600 Liter je Quadratmeter im Versuchszeitraum verbraucht. Bei Variante 3 mit Unterflur-Bewässerung war der Verbrauch mit rund 700 l/m² etwas höher (Abbildung 35).

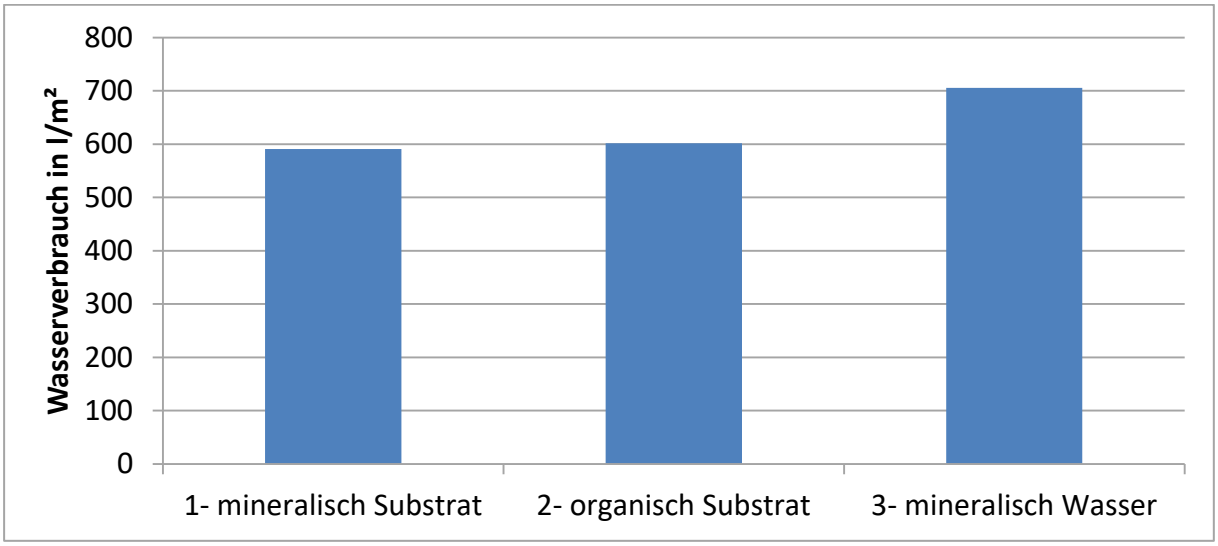


Abbildung 35: Summe der Wassergaben der Varianten im Sommer 2018

3.2.3. Ergebnisse

3.2.3.1. Vitalität der Pflanzen

Die Vitalität der unterschiedlichen Arten unterschied sich zwischen den Dünger-Varianten. Der Paprika wurde bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) mit über 50% Vitalität 7 am besten bewertet. Bei Variante 1 (mineralisch, Substrat) wurden über 10% sehr schlecht bewertet. Bei der Variante mit organischem Dünger gab es meist geringe Mängel (Abbildung 36).

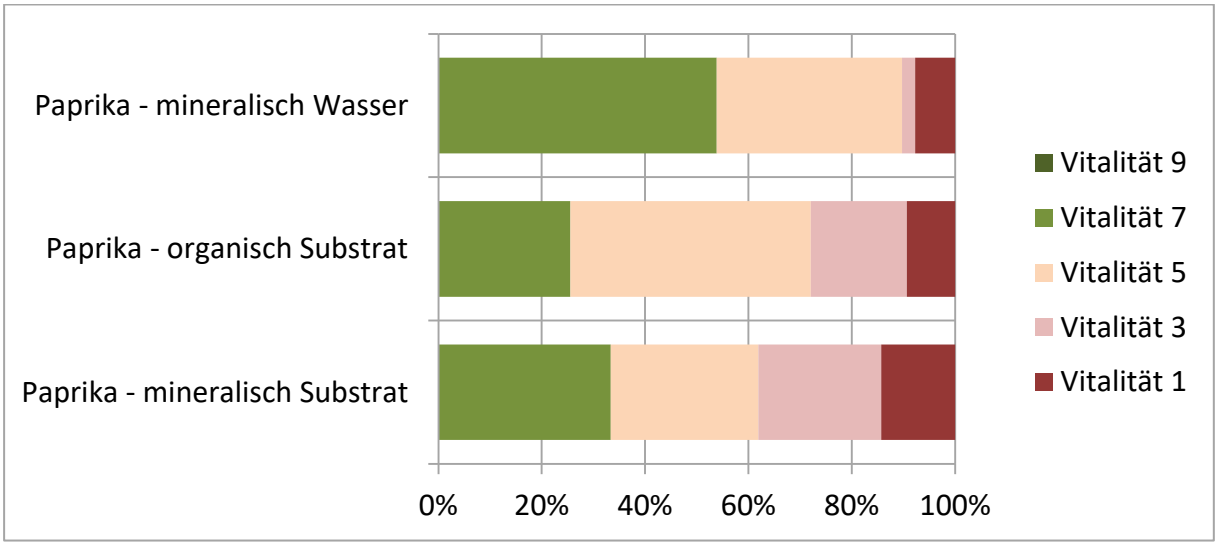


Abbildung 36: Vitalität von Paprika ‚Sweet Dreams‘ in der Arrabbiata-Mischpflanzung bei unterschiedlichen Anbausystemen auf Dachmodellen (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung, n=124)

Die Chili-Pflanzen bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) hatten auch zu rund 50% die Boniturnote 7 mit einer guten Vitalität. Dort wurden aber auch über 20% mit der Boniturnote 1 bewertet. Bei Variante 1 (mineralisch, Substrat) rund 40% mit geringen Mängeln. Bei organischer Düngung gab es sowohl eine gute, mittlere und schlechte Pflanzenentwicklung zu rund 25% (Abbildung 37).

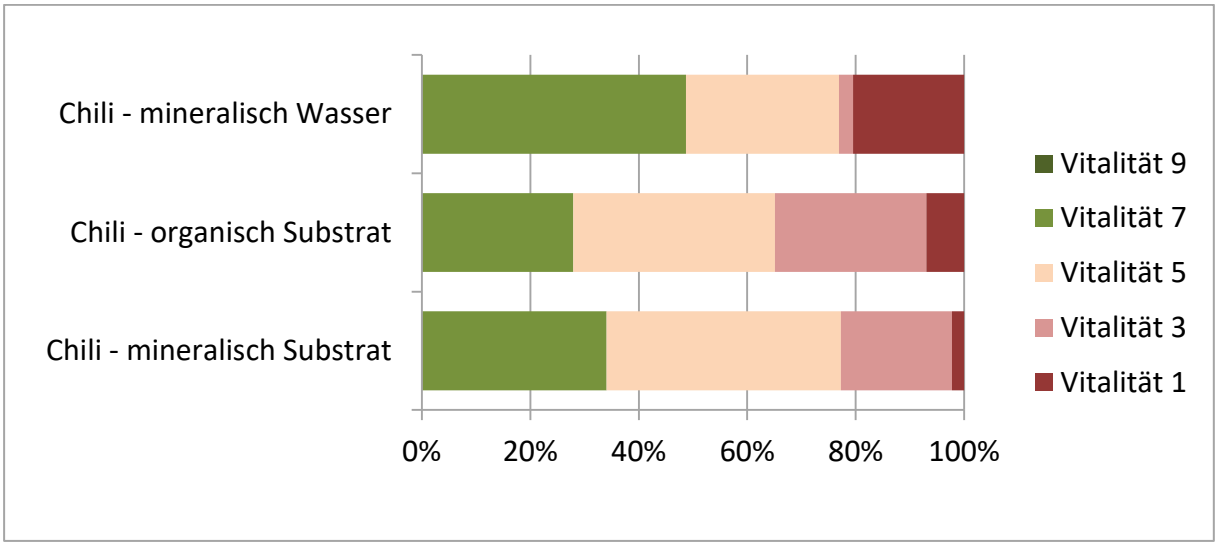


Abbildung 37: Vitalität von Chili ‚De Cayenne‘ in der Arrabbiata-Mischpflanzung bei unterschiedlichen Anbausystemen auf Dachmodellen (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung, n=126)

Die Tomatenpflanzen hatten bei allen Varianten zu rund 30% aller Bonituren geringe bis stärkere Mängel. Bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) wurden über 30% mit sehr guter Vitalität bewertet (Abbildung 38).

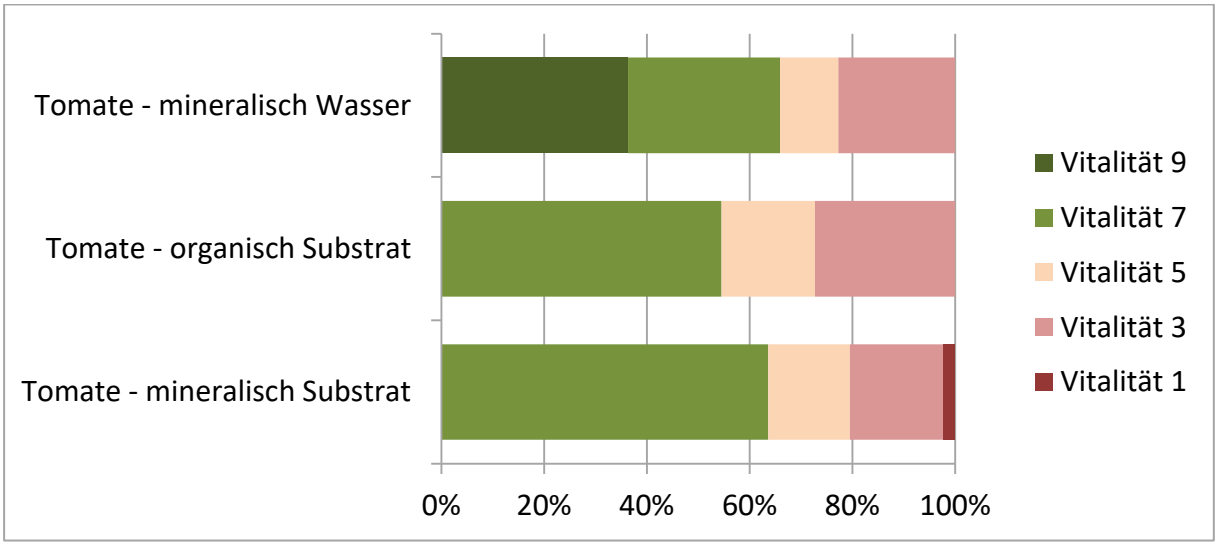


Abbildung 38: Vitalität von Tomaten ‚Principe Borghese‘ in der Arrabbiata-Mischpflanzung bei unterschiedlichen Anbausystemen auf Dachmodellen (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung, n=144)

Die Pflanzentwicklung der Kräuter wurde zu maximal 30% bei Variante 1 (mineralisch, Substrat) als gut bewertet. Bei allen Varianten wurden Mängel von über 40% und geringe Mängel von rund 30% festgestellt (Abbildung 39).

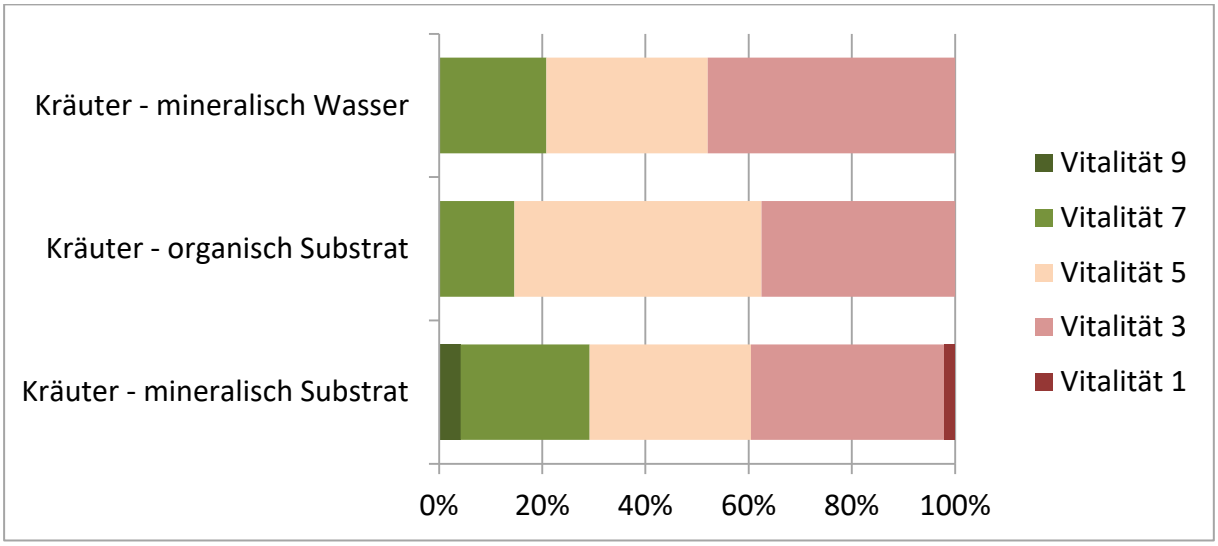


Abbildung 39: Vitalität von gesäten Kräutern in der Arrabbiata-Mischpflanzung bei unterschiedlichen Anbausystemen auf Dachmodellen (1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung, n=144)

3.2.3.2. Erträge der Arten

Die mittleren Erträge waren bei den Gemüsearten zwischen den Dünger-Varianten unterschiedlich. Bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) wurden bei nahezu allen Kulturen die höchsten Erträge erfasst.

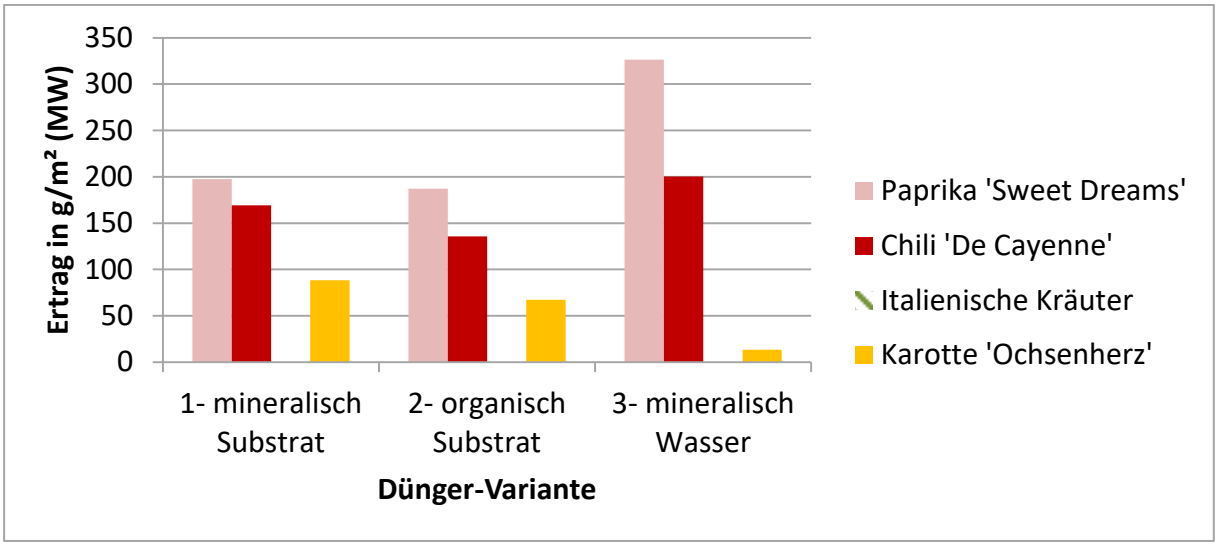


Abbildung 40: Mittlerer Ertrag der Gemüsearten bei den Düngervarianten auf den Dachmodellen im Sommer 2018

Bei Paprika betrug der Ertrag rund 326 g/m², Chili und Kräuter lagen bei rund 200 g/m². Lediglich die Karotten erbrachten nur 13 g/m². Bei den anderen Varianten waren die Karotten-Erträge mit rund 50 g/m² etwas höher. Die Chili- und Paprika-Erträge lagen bei Variante 1 und 2 bei maximal 200 g/m², die Kräuter-Erträge bei maximal 150 g/m² (Abbildung 40).

Am kräftigsten entwickelten sich im Sommer 2018 die Tomaten. Teilweise war das komplette Dachmodell mit Tomatenpflanzen bedeckt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Dachmodelle der Varianten mit Gemüse-Mischung "italienische arrabbiata" im Sommer 2018

Variante 1: Mineralisch über Substrat	Variante 2: Organisch über Substrat	Variante 3: Mineralisch über Bewässerung (Anstau)

Auch bei den Tomaten-Erträgen wurden bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) die höchsten festgestellt. Dort wurden durchschnittlich über 10 kg/m² geerntet. Bei Variante 1 und 2 waren die Erträge mit maximal 7 kg/m² wesentlich geringer, aber für die Kultur im Freiland sehr hoch (Abbildung 41).

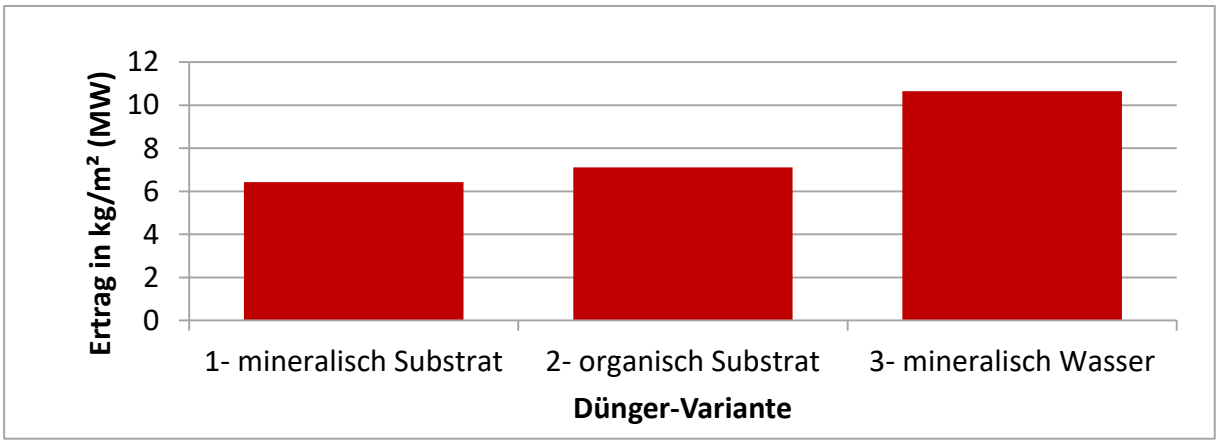


Abbildung 41: Mittlerer Tomaten-Ertrag bei den Düngervarianten auf den Dachmodellen 2018

3.2.3.3. Nährstoff- und Wasseranalysen

Die Nährstoffgehalte, gemessen etwa 2 Wochen nach Versuchsbeginn, waren zwischen den Varianten unterschiedlich. Während bei Variante 2 und 3 nur maximal 80 g N/l Substrat auftraten, war bei Variante 1 bereits mehr als das 5-fache an Stickstoff im Substrat verfügbar. Die Nährstoffgehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium waren zwischen den Varianten beim ersten Termin im Substrat sehr ähnlich (Abbildung 42).

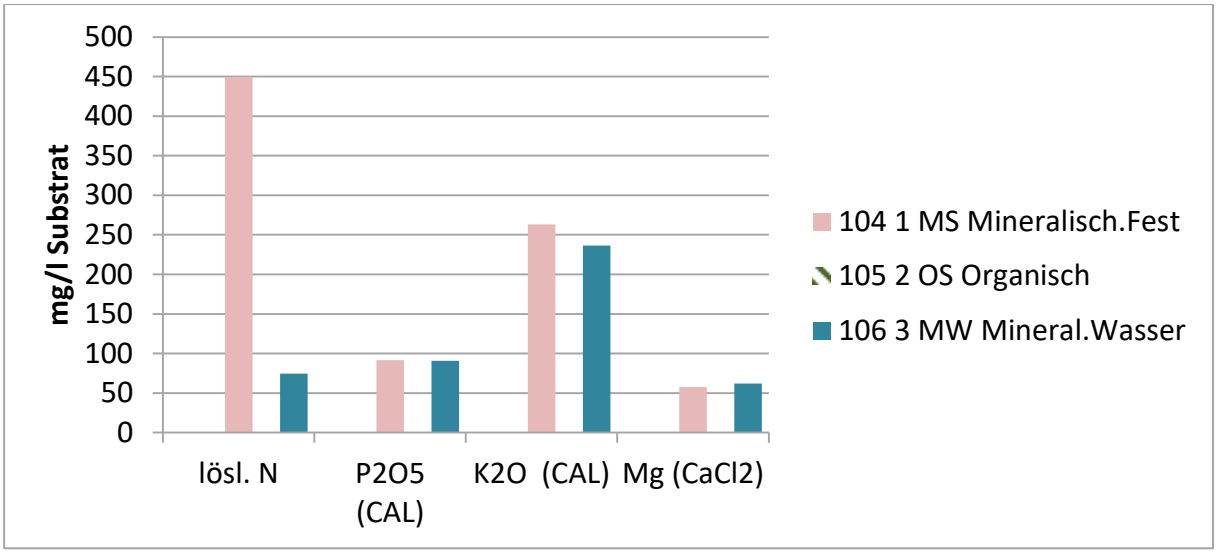


Abbildung 42: Nährstoffgehalte im Substrat bei der 1. Probenahme auf den Dachmodellen der Varianten am 05.06.2018

Bei der zweiten Substratprobe, nach etwa 4 Wochen, waren die Nährstoffgehalte bei den Varianten vergleichbar zur ersten Substratprobe. Lediglich bei Variante 1 (mineralisch, Substrat) wurde eine noch höhere Menge an verfügbarem Stickstoff gemessen. Der Stickstoffgehalt war mehr als 4-fach so hoch und betrug etwa 1700 g/l. Bei den anderen beiden Variante wurde lediglich ein N-Gehalt unter 100 g/l erfasst (Abbildung 43).

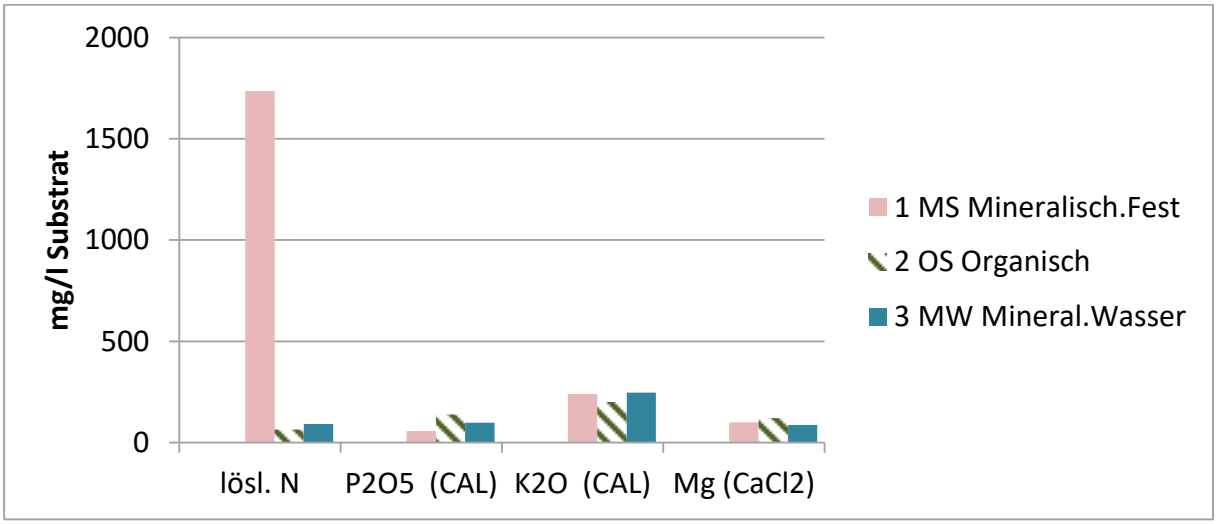


Abbildung 43: Nährstoffgehalte im Substrat bei der 2. Probenahme auf den Dachmodellen der Varianten am 04.07.2018

Die Nährstoffgehalte im Gießwasser waren bei den Varianten auf den Dachmodellen anders ausgeprägt als im Substrat. Bereits bei der ersten Probenahme waren deutliche Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen. Bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) wurden die höchsten Nährstoffgehalte im Gießwasser festgestellt. Während bei Variante 1 und 2 rund 40 mg NO_3/l gemessen wurden, waren es beim Gießwasser von Variante 3 über 140 mg NO_3/l. Auch Kalium wurde mit über 70 mg/l in einer wesentlich höheren Menge bei Variante 3 erfasst, als bei Variante 1 und 2 (Abbildung 44).

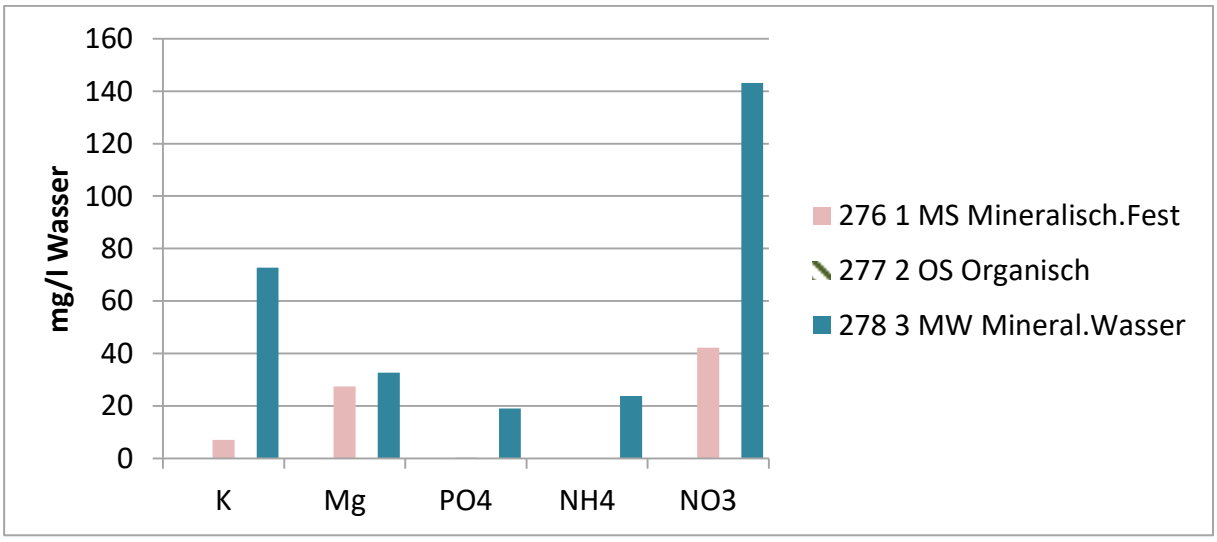


Abbildung 44:Nährstoffgehalte im Gießwasser bei der 1. Probenahme 2018 auf den Dachmodellen der Varianten am 05.06.2018

Bei der zweiten Gießwasserprobe der Dachmodell-Varianten wurden ähnliche Nährstoffgehalte wie bei der ersten Gießwasserprobe gemessen. Bei allen Varianten erhöhte sich der Stickstoffgehalt. Bei Variante 1 (mineralisch, Substrat) war dieser im Juli bei fast 150 mg/l Wasser. Bei Variante 3 (mineralisch, Wasser) lag der Nitratgehalt bei fast 250 mg/l Wasser. Der Stickstoffgehalt bei Variante 2 (organisch, Substrat) erhöhte sich im Versuchsverlauf nur leicht (Abbildung 45).

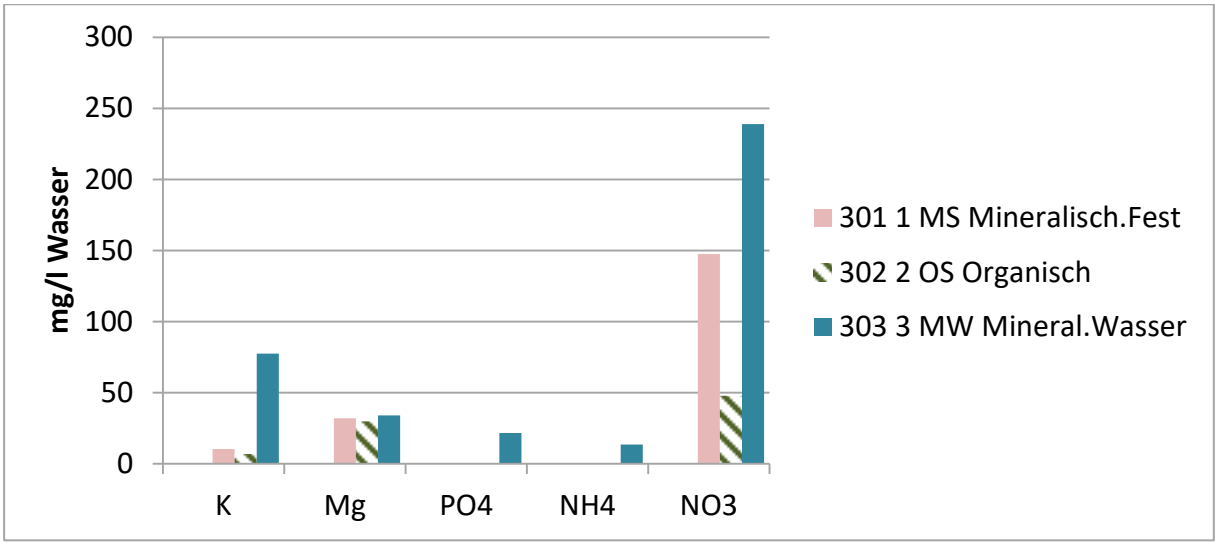


Abbildung 45: Nährstoffgehalte im Gießwasser bei der 2. Probenahme 2018 auf den Dachmodellen der Varianten am 04.07.2018

3.2.4. Schlussfolgerungen

Es eignen sich generell verschiedene Düngerformen für die Nahrungsmitteproduktion auf dünnschichtigen Dachbegrünungssystemen. Damit die Nährstoffe auch für die Pflanzen verfügbar werden, muss die Versorgung an die gegebenen Bewässerungssysteme und den Niederschlag angepasst werden. Am Standort Veitshöchheim waren im Sommer 2018 sehr geringe Niederschläge zu verzeichnen. Die im Substrat ausgebrachten Dünger konnten sich nur im geringen Maße beim Einsatz einer Tropfbewässerung im Substrat umsetzen. Zwischen dem Einsatz von mineralischem Dünger und organischen Dünger in Granulatform im Substrat gab es kaum Unterschiede in Pflanzenentwicklung und Ertrag. Bei Tomaten konnten sogar höhere Erträge durch die organische Düngung erzielt werden.

Im Hinblick auf mögliche Auswaschungen aus dem Begrünungssystem sollten beim Einsatz von optimalen Düngermengen für Gemüse ausschließlich Kreislaufsysteme verwendet werden. Bei der direkten Düngergabe über die Bewässerung kann der Dünger auch voraussichtlich eingespart werden und die Erträge erhöht werden. Auch die Handhabung für den Anbau auf dem Dach ist bei der Düngung über die Bewässerung besser zu bewerkstelligen.

3.2.5. Weiterer Forschungsbedarf

Bei der Düngung im Substrat könnte auch die Über-Kopf-Bewässerung mit Sprinklern oder Regnern genutzt werden. Für die optimale Pflanzenentwicklung auf dem Dach wären verschiedene Düngermengen und Düngerformen hilfreich. Vor allem im Interesse der Urban Gardening Bewegung sollten näher weitere organische Dünger auf dem Dachsubstrat für Gemüse untersucht werden.

Während die intensive Kultur von Gemüse auf dünnschichtigen Dachbegrünungen generell möglich ist, sollte auch die extensive Nutzung weiterer Nahrungspflanzen untersucht werden. Extensive Dachbegrünungen können manchmal nicht mit einer Bewässerung ausgestattet werden oder es ist kein Kreislaufsystem möglich. Für solche Anlagen sollten spezielle Düngerformen, Pflanzenarten und Bewässerungstechniken erprobt werden.

3.3. Versuch zur Düngung auf Dachsubstrat in Kisten

Im Bereich „Urban Gardening“ sollen vermehrt organische Dünger eingesetzt werden. Allerdings ist bisher der Einsatz solcher Dünger bei der Nahrungsmittelproduktion auf dünnschichtigen Dachbegrünungssystemen kaum untersucht.

3.3.1. Zielsetzung

In einem Kistenversuch sollen unterschiedlicher Dünger und unterschiedlicher Düngermengen auf die Entwicklung von Nahrungspflanzen auf einem Dachsubstrat getestet werden. Es sollen mineralische, organische und flüssige Dünger verwendet werden. Gleichzeitig sollen unterschiedliche Arten an Nahrungspflanzen untersucht werden.

3.3.2. Material und Methode

Im Sommer 2018 wurde der Kistenversuch im Freiland auf Dachmodellen gestartet. Auf zwei leeren Dachmodellen (siehe 3.1.2.1 und 3.2.2.1) mit leichtem Gefälle von ca. 2% wurden 24 Kisten zu je ca. 40 cm x 60 cm (0,24 m²) ausgelegt (Bild 20). Die Kisten waren mit einem Ablauf, Geotextil und 8 cm mineralisches Dachbegrünungssubstrat (etwa 19 Liter, für extensive Einschichtbegrünung) ausgestattet. Die Kisten wurden in 8 Varianten zu je 3 Wiederholungen eingeteilt (Abbildung 46). Zusätzlich wurde eine Variante 9 mit Topfsubstrat als Kontrolle mit 2 Wiederholungen zwischen die beiden Dachmodelle platziert.

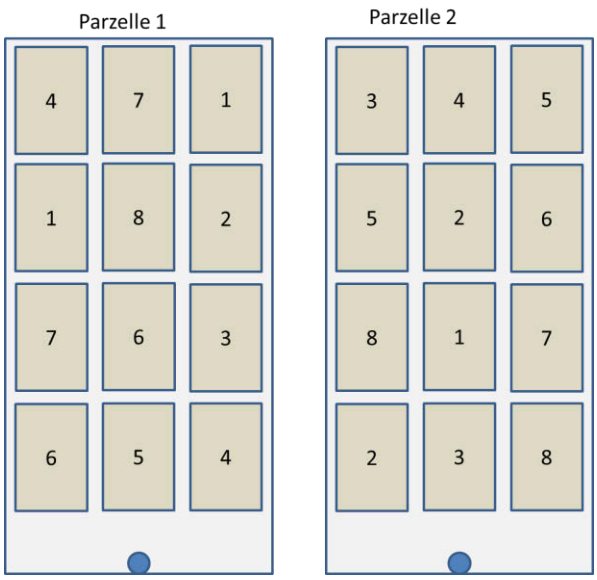


Abbildung 46: Parzellenplan der Varianten im Kistenversuch 2018

Von Ende Mai bis Mitte Juli wurde Namenia (Rübstielmus, siehe Bild 21) und von Anfang August bis Mitte Oktober Spinat auf den Kisten angebaut. Regelmäßig wurden Düngegaben angepasst an die Varianten durchgeführt (Tabelle 10).

Bild 20: Kisten bei der Aussaat im Mai 2018

Bild 21 Namenia bei den Kisten am 11.07.2019

Tabelle 10: Versuchsverlauf bei den Kisten 2018

Datum	Aktion
28.05.2018	Aussaat 1 g Blattstielgemüse Namenia je Kiste
30.05.2018	erste Pflanzen keimen
01.06.2018	erste Düngung + 1 Liter Wasser je Kiste
20.06.2018	zweite Düngung + 1 Liter Wasser je Kiste
16.07.2018	Ernte Namenia
02.08.2018	Aussaat 1g Spinat 'Butterflay'/ Kiste+ 10 min Angießen
20.08.2018	erste Düngung + 0,5 Liter Wasser je Kiste
05.09.2018	1. Ernte Spinat
05.09.2018	zweite Düngung + 0,5 Liter Wasser je Kiste
14.09.2018	2. Ernte Spinat
15.10.2018	3. Ernte Spinat

Die Bewässerung erfolgte über einen Regner, der die komplette Versuchsanlage bewässerte. Der Verbrauch lag bei 11,6 Liter je Minute. Im Versuchsverlauf wurde die Anlage meist zwischen 5 und 15 Minuten täglich bewässert (Abbildung 47).

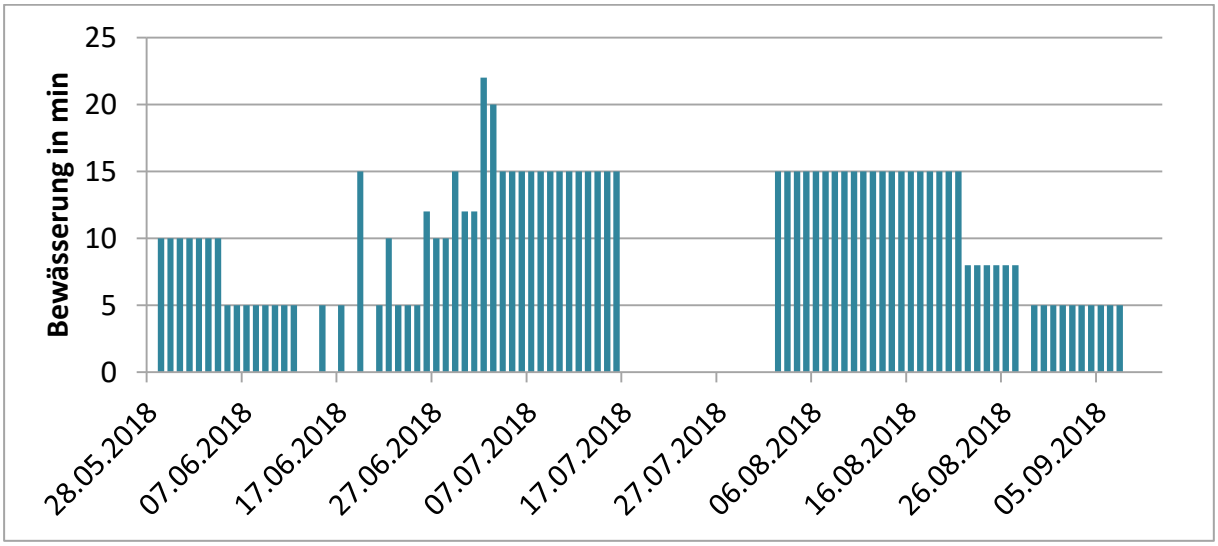


Abbildung 47: Bewässerungszeit der Regenanlage bei den Kisten

Die neun Varianten wurden unterschiedlich mit Nährstoffen versorgt. Variante 1 war auf einem Dachsubstrat ohne Düngung, Variante 9 auf einem Topfsubstrat ohne Düngung. Die Varianten 2 und 5 wurden mit nur 5 g N/m² ausgestattet. Das entspricht der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie für extensive Einschichtbegrünungen. Alle anderen Varianten wurden mit der bedarfsgerechten Düngermenge von 20 g N/m² für Spinat und Namenia versorgt. Variante 4 wurde als einziges mit einem in Wasser aufgelösten Mehrnährstoffdünger versorgt. Die anderen Varianten wurden mit Düngern in Granulatform ausgestattet (Tabelle 11).

Tabelle 11: Düngervarianten bei den Kisten

Var.	Düngergabe		Entspricht g N/m²	Zusammensetzung Dünger			Düngerart
	Düngung	Düngung		N	P	K	
1	0 g	0 g	0 g	0	0	0	Ohne
2	4,6 g ENTEC 26	0	5 g N/m²	26	0	0	Mineralisch
3	9,2 g ENTEC 26	9,2 g ENTEC 26	20 g N/m²	26	0	0	Mineralisch
4	16 g Ferty 2	16 g Ferty 2	20 g N/m²	15	5	15	Mineralisch, Wasser
5	17 g Biosol SW	0	5 g N/m²	7	1	1	Organisch
6	34 g Biosol SW	34 g Biosol SW	20 g N/m²	7	1	1	Organisch
7	68,5 Kleepura	68,5 Kleepura	20 g N/m²	3,5	0,8	3,4	Organisch
8	30 g Orgapur	30 g Orgapur	20 g N/m²	8	6	6	Organisch
9	Keine / Topfsubstrat	Keine / Topfsubstrat	0	0	0	0	Ohne

Im Versuchsverlauf wurden regelmäßige Bonituren zur Vitalität der Pflanzen durchgeführt. Der Nährstoffgehalt im Namenia wurde auch untersucht. Die Erträge von Namenia und Spinat wurden aufgezeichnet und analysiert.

3.3.3. Ergebnisse

3.3.3.4. Vitalität und Pflanzenentwicklung

Die Vitalität der Namenia- und Spinat-Pflanzen fiel unterschiedlich aus und die Vitalität zwischen den Varianten unterschied sich teils stark.

Sowohl bei Spinat als auch bei Namenia wurden bei den Varianten ohne Düngung die schlechtesten Vitalität festgestellt. Bei Variante 9 im Topfsubstrat wurden allerdings teils sehr gute Entwicklungen mit Vitalität der Boniturnote 9 kurz nach der Aussaat verzeichnet.

Bei Variante 5 wurde beim Namenia/Rübstielmus ausschließlich Vitalität mit geringen oder stärkeren Mängeln festgestellt. Bei allen anderen Varianten gab es bei den Namenia-Pflanzen auch gute Entwicklungen. Variante 4und 6 waren mit über 30% der Boniturnoten mit guter Vitalität gekennzeichnet (Abbildung 48).

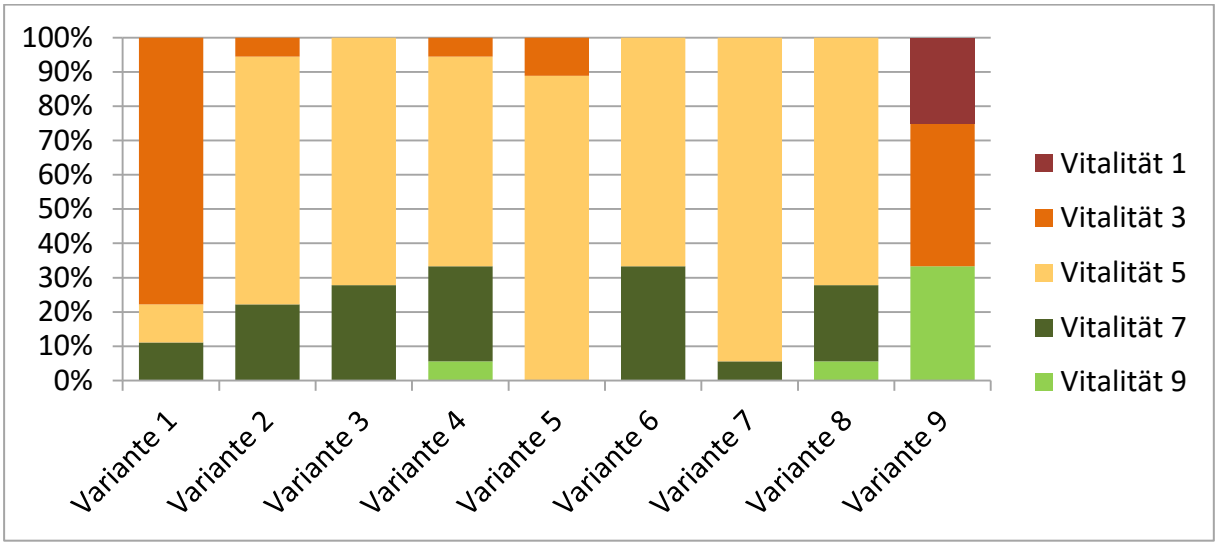


Abbildung 48: Vitalität von Namenia/Rübstielmus bei den Kisten im Sommer 2018

Beim Spinat gab es bei Variante 3 und 4 zu rund 70% gute Vitalität. Bei Variante 5 wurden vor allem stärkere Mängel festgestellt. Alle anderen Varianten hatten sowohl geringe bis stärkere Mängel, als auch eine gute Pflanzenentwicklung von jeweils 50% beim Spinat (Abbildung 49).

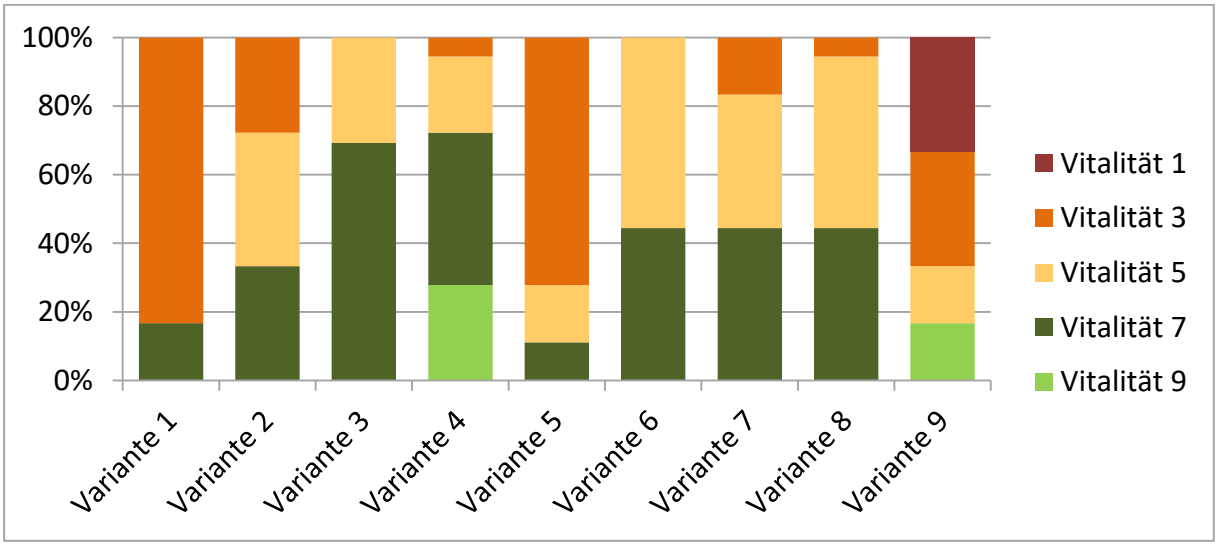


Abbildung 49: Vitalität von Spinat bei den Kisten im Sommer 2018

3.3.3.5. Nährstoffanalyse von Namenia/Rübstielmus

Die Nährstoffgehalte im Rübstielmus vielen zwischen den Varianten unterschiedlich aus. Im Vergleich zum Referenzwert aus der Literatur war der Phosphorgehalt bei allen Varianten etwas geringer. Der Gehalt an Kalium, Magnesium und Calcium war hingegen beim Rübstielmus im Versuch höher als üblich, bei einzelnen Varianten teils doppelt so hoch. Vor allem bei Variante 4 wurde ein sehr hoher Kaliumgehalt von über 500 mg/100g FM gemessen. Bei Variante 3 wurde der höchste Calcium-Gehalt von über 400 mg/100g FM festgestellt (Abbildung 50).

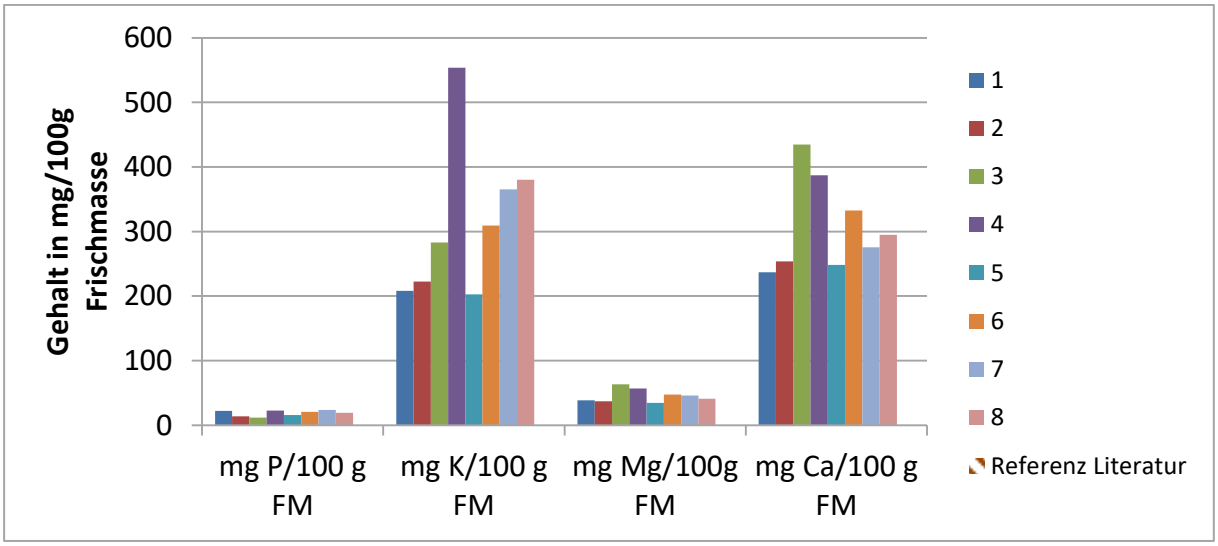


Abbildung 50: Nährstoffgehalte im Namenia-Rübstielmus der Dünger-Varianten

Der Stickstoffgehalt war auch bei den einzelnen Varianten unterschiedlich und lag zwischen 1,2% und 3,4% (Abbildung 51). Bei den Varianten 2 und 5, die nur mit 5 g N/m² gedüngt wurden, wiesen die geringsten N-Gehalte auf. Bei Variante 1, die mit gar keinem Dünger versorgt wurde, war der Stickstoffgehalt sogar etwas höher. Der höchste Gehalt wurde bei Variante 3 mit stickstoffstabilisiertem Dünger gemessen.

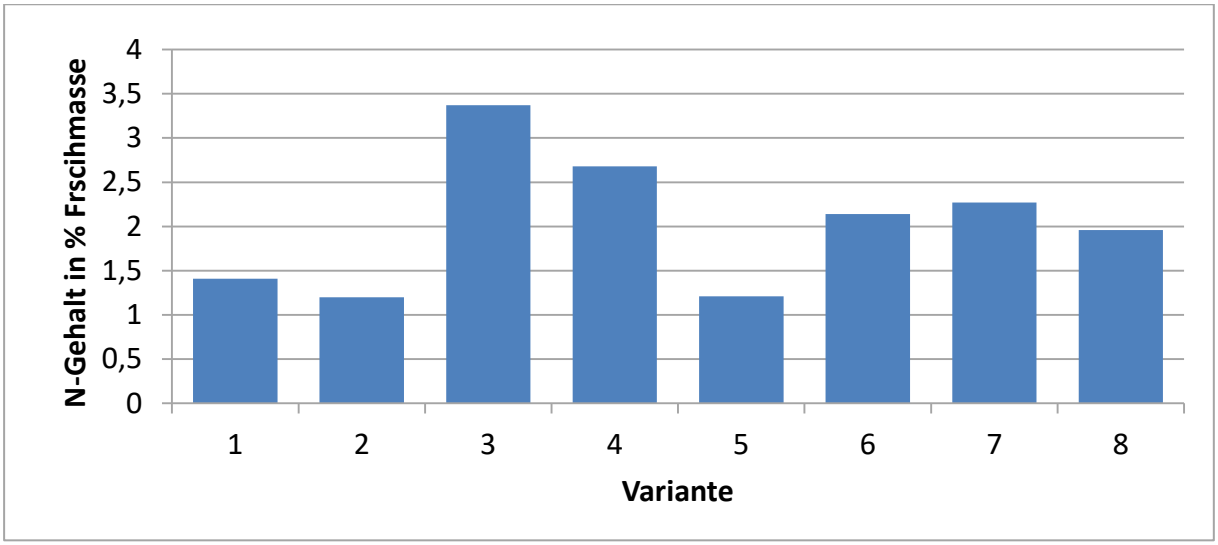


Abbildung 51: Stickstoffgehalte im Namenia-Rübstielmus der Dünger-Varianten

3.3.3.6. Erträge von Namenia und Spinat

Die Erträge der einzelnen Düngervarianten entwickelten sich bei den beiden Kulturen unterschiedlich.

Die Einzelgewichte der Parzellen mit Namenia waren unterschiedlich. Während ohne Düngung die geringsten Erträge verzeichnet wurden, gab es auch bei einzelnen Parzellen, wie bei Variante 4 geringe Erträge. Der höchsten Erträge wurden bei Kisten der Varianten 3, 4 und 8 erfasst. Hier wurde Namenia mit über 350 g geerntet (Abbildung 52).

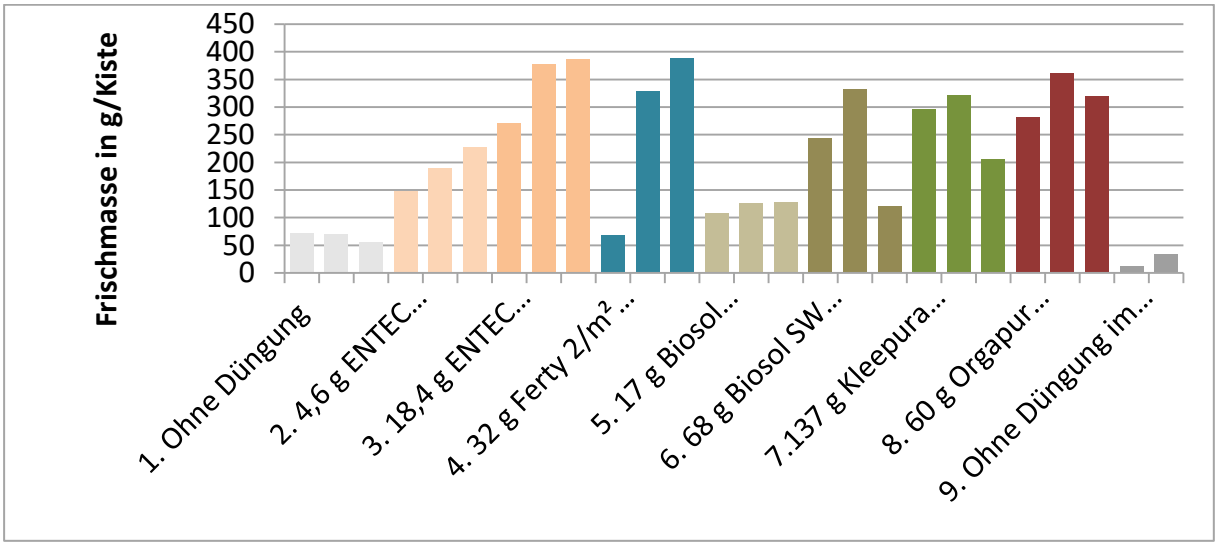


Abbildung 52: Einzelerträge von Namenia/Rübstielmus

Der mittlere Spinatertrag war bei den Varianten an den einzelnen Ernteterminen unterschiedlich. Bei den Varianten 1, 5 und 9 konnte überhaupt kein marktfähiger Spinat geerntet werden. Beim 2. Termin am 14.09.2018 wurde die höchste Menge bei allen Varianten geerntet. Der mit Abstand höchste mittlere Ertrag wurde bei Variante 4 (Düngung über Wasser) mit insgesamt rund 1,3 kg/m² gemessen. Bei den anderen Varianten konnten nur 500 g/m² geerntet werden. Die Erträge von den organischen Dünger-Varianten 6 und 8 waren sogar höher als bei der mineralischen Dünger-Variante 2 (Abbildung 53).

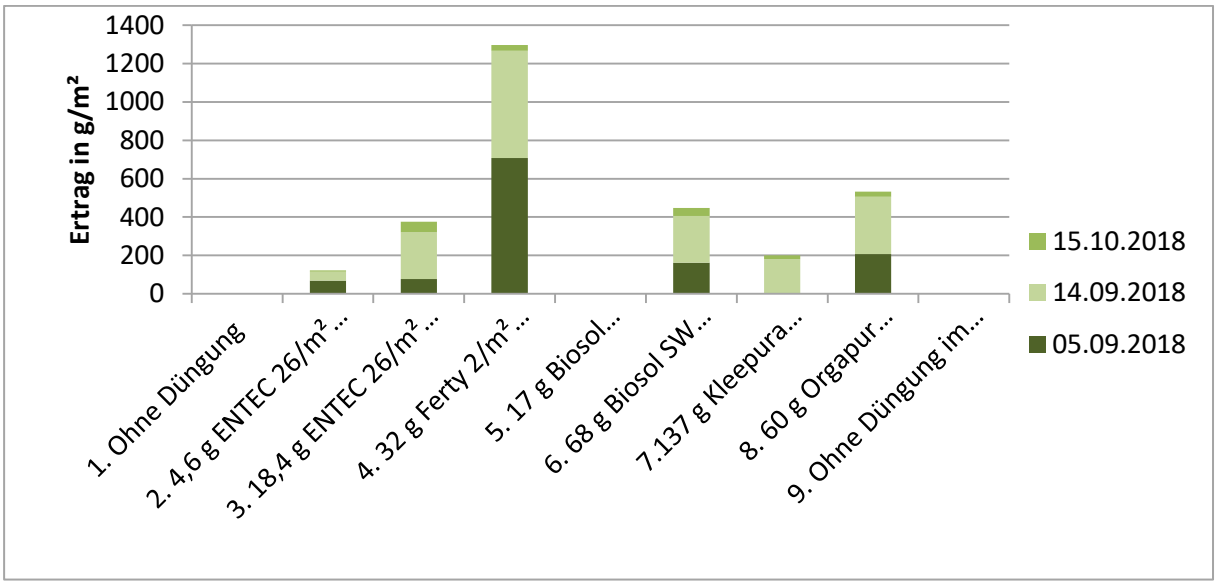


Abbildung 53: Aufsummierter Mittlerer Spinatertrag an den Ernteterminen

Der mittlere Ertrag je Kiste unterschied sich auch zwischen den Kulturen. Während meist mehr Namenia als Spinat geerntet wurde, kam es bei Variante 4 zu einem höheren Spinatertrag als dem Ertrag von Namenia bei der Variante. Dort wurde der Dünger in Wasser aufgelöst ausgebracht (Abbildung 54).

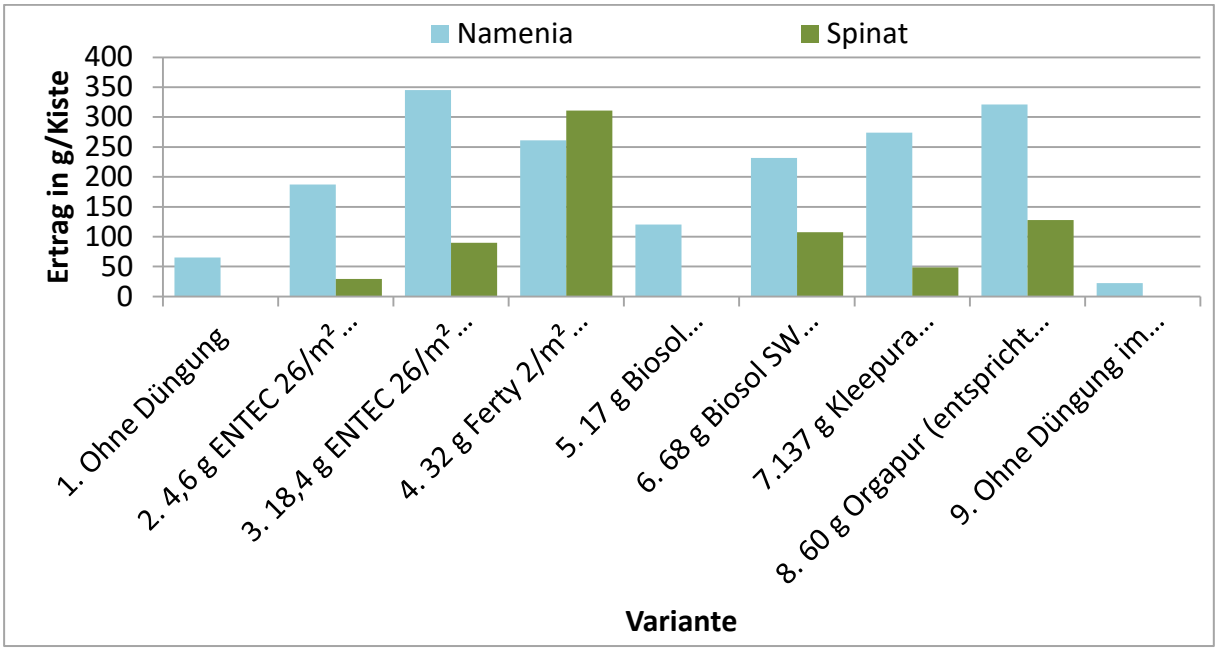


Abbildung 54: Mittlerer Gesamtertrag von Spinat und Namenia/Rübstielmus bei den Varianten auf den Kisten 2018

3.3.4. Schlussfolgerungen

Sowohl mineralische als auch organische Dünger können bei einer Über-Kopf-Beregnung auf einem dünnschichtigen Dachsubstrat zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden. Die Erträge und Pflanzenentwicklung verschlechtern sich meist durch die verringerte Düngung von nur 5 g N/m², die der FLL-Empfehlung für diese Systeme entspricht. Zwar entwickeln sich die Pflanzen direkt nach der Keimung im Topfsubstrat sehr gut. Ohne weitere Düngergaben kommen die Pflanzen aber dort nicht zurecht. Im Dachsubstrat ohne Düngung ist hingegen eine bessere Pflanzenentwicklung zu verzeichnen, als im Topfsubstrat. Der Ertragsfaktor durch die geringe Düngung von 5 g N/m² gegenüber der Variante ohne Düngung ist sehr gering. Wenn gute Gemüseerträge erzielt werden sollen, muss eine ausreichende Düngung gewährleistet sein.

3.3.5. Weiterer Forschungsbedarf

Verschiedene organische, mineralische und Bewässerungs-Dünger müssen noch mit verschiedenen Anbausystemen untersucht werden. Vor allem mit Mikro-Sprinklern auf dünnschichtigen Dachbegrünungen wurde noch keine organische Düngung getestet. Auch organische Düngerlösungen oder andere Nährstoffformen können in weiteren Versuchen für die Nahrungsmittelproduktion erprobt werden.

3.4. Versuch auf ehemals extensiven Dachbegrünungen an unterschiedlichen Standorten

In Stadtgebieten ist mit anderen Standortbedingungen zu rechnen als in vorstädtischen oder ländlichen Gebieten, wie Veitshöchheim. Mögliche Aufnahmen von Schadstoffen bei Stadtgemüse wurden bisher nur in begrenzten Umfang untersucht. Vor allem bei unterschiedlichen Gemüsekulturen sind unterschiedliche Aufnahmen zu erwarten.

3.4.1. Zielsetzung

Es soll der Einsatz von Nahrungspflanzen auf Dächern mit ehemaliger extensiver Dachbegrünung untersucht werden. Das vorher in Veitshöchheim entwickelte und erprobte System soll an weiteren Standorten im Vergleich eingesetzt werden. Vor allem in Hinsicht auf die Belastung mit Schadstoffen sollen Untersuchungen sowohl im ländlichen als auch im städtischen Raum durchgeführt werden. Dazu sollen geeignete Standorte mit ähnlichen Bedingungen wie Veitshöchheim gefunden und mit Nahrungspflanzen kultiviert werden. Unterschiedliche Gemüsearten sollen auf Ihre Aufnahme von Schwermetallen geprüft werden. Die Vergleichsfläche dient auch als weitere Variante im Ertragsvergleich.

3.4.2. Material und Methode

Im Projektverlauf wurde nach geeigneten Flachdächern für das Versuchsvorhaben gesucht. Neben dem Versuchsdach in Veitshöchheim wurde am Standort Würzburg ein Dach mit vormals extensiver Dachbegrünung für den Versuch mit Gemüsepflanzen umgestaltet. Es wurden die Erträge erfasst und Bonituren zur Vitalität der Pflanzen durchgeführt. Das Gemüse wurde auf Schwermetallgehalte untersucht und verglichen.

3.4.2.1. Suche nach Standorten

Am Projektbeginn im Frühjahr 2016 wurde nach verschiedenen Standorten für eine Umgestaltung zur Nahrungsmittelproduktion gesucht. Dabei wurden Behörden, Supermärkte und Vereine kontaktiert. Es wurden verschiedene Standorte in Ballungsräumen in Bayern mit bestimmten Kriterien abgefragt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Kriterien für die Auswahl als Versuchsdach

Versuchsdach
Flach geneigtes Dach (ca. 2%) mit extensiver Dachbegrünung oder Kiesdach
Nutzlastreserve 100-200 kg/m²
Wasseranschluss oder gute Möglichkeit für Wasserversorgung, funktionierende Entwässerung
Guter Zugang, Anhängepunkte oder Möglichkeit für Absperrung (2-Meter-Grenze)
Nähe zu stärker befahrenen Straße / Innenstadtnähe
Mindestens 20 m² potenzielle Versuchsfläche

In Würzburg wurden verschiedene Behörden kontaktiert. Nach der Besichtigung von drei potenziellen Dächern wurde schnell die Entscheidung für das Dach der Landesgewerbeanstalt in Würzburg getroffen. Die dortige Dachfläche von mehr als 100 m² extensive Dachbegrünung mit Umkehrdach lag teils nah an der stärker befahrenen Dreikronenstraße. Der Standort war nicht weit von Veitshöchheim und doch in der Nähe des Stadtgebietes (Bild 22). Der Zugang zum Dach war leicht über ein Fenster bzw. die Feuerleiter möglich. Ein Wasseranschluss konnte gut installiert werden.

Bild 22 Standort LWG in Veitshöchheim und LGA in Würzburg [5]

Die Suche nach weiteren Standorten im Ballungsraum Nürnberg und München blieb erfolglos. Einige potenzielle Dächer entsprachen nicht ganz den Anforderungen für den Versuch. Vor allem der Zugang zum Dach und die Möglichkeit zum Wasseranschluss waren bei den extensiven Dachbegrünungen nur schwer umsetzbar.

3.4.2.2. Versuchsdurchführung

Sowohl am Standort Veitshöchheim als auch am Standort Würzburg wurde eine Versuchsfläche von etwa 50 m² ausgewählt und abgesteckt. Bei der Fläche der LGA

wurden das Substrat und die Pflanzen der ehemals extensiven Dachbegrünung herausgenommen und neues Substrat ausgebracht (Bild 23, Bild 24, Bild 25). Die Kanten der Versuchsfläche wurden mit einem Rahmen abgetrennt.

Bild 23: Versuchsfläche bei der LGA vor Austausch des Substrates

Bild 24: Abgeräumtes Versuchsdach bei der LGA mit Einrandung für Versuchsfläche

Auf dem 8 cm dick aufgeschütteten Dachsubstrat wurden wie in Veitshöchheim mehrere Reihen Tropfschläuche im Abstand von etwa 40 cm verlegt. Die Flächen wurden für den Versuch im Sommer 2017 zu je 4 Wiederholungen blockweise eingeteilt. Zur Arbeitssicherheit wurden auf dem Dach der LGA mit 2 Meter Abstand vom Rand des Dachs Absperrketten aufgestellt (Bild 26).

Bild 25: Ausbringen Dachsubstrat auf dem Versuchsdach der LGA

Bild 26: Auslegen der Bewässerung auf dem Versuchsdach der LGA und Absperrkette zur Sicherung

Im Jahr 2017 wurden unter anderem Eissalat, Fenchel, Radieschen, Petersilie und Paprika angebaut. Zudem wurde im Sommer eine Asia-Salat-Mischung getestet (Tabelle 13). Beim Dach in Würzburg wurden die einzelnen Arten Reihenweise mit ausgebracht und in Parzellen eingeteilt (Abbildung 55).

Tabelle 13: Arten im Verlauf 2017

Frühling 2017	Sommer 2017	Herbst 2017	Winter 2017/18
Fenchel		Chinakohl	Chinakohl
Petersilie	Petersilie	Petersilie	Petersilie
Radieschen		Endivie	Endivie
Paprika	Paprika	Ringelblumen	Ringelblumen
Eissalat	Asia-Salat	Asia-Salat	Asia-Salat

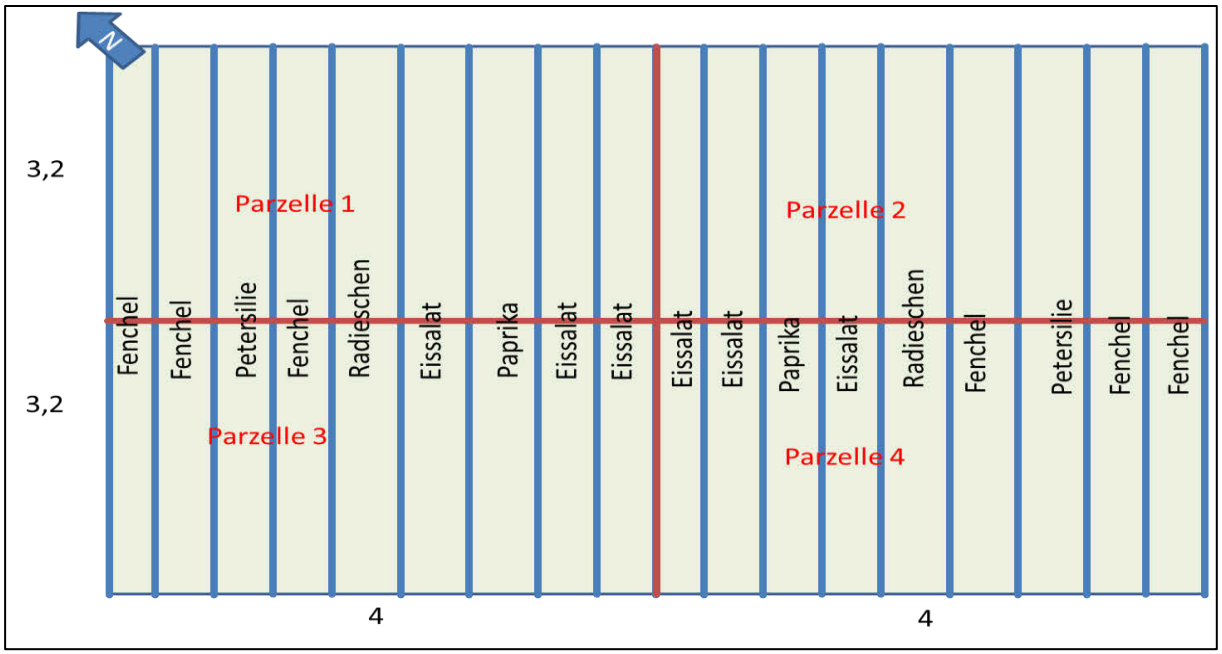


Abbildung 55: Einteilung der Dachfläche bei der LGA im Sommer 2017

Tabelle 14: Versuchsverlauf im Jahr 2017 auf den Dachflächen

Datum	Dach Veitshöchheim	Dach Würzburg
13.02.2017	Voranzucht Aussaat Auberginen, Eissalat, Pflücksalat	
19.04.2017	Pflanzung (Fenchel, Petersilie, Eissalat, Radieschen 'Sora')	
26.04.2017	Keimbeginn Radieschen	keine Bewässerung (wegen Frostgefahr)
27.04.2017	Niederschlag	
04.05.2017	Düngung 100g Hakaphos je 12 Petersilie und 38,5g ENTEC26 bei jeweils Radieschen (3m) bzw. 10xFenchel bzw. 10x Eissalat	
04.05.2017	Vlies herunter, Nachpflanzung	Vlies herunter
17.05.2017	Beginn Bewässerung	
17.05.2017	Radieschen entfernt	
22.05.2017	Düngung je 10 Fenchel bzw. 10 Eissalat, bzw. je 7 Paprika ('Sweet Dreams') je 38,5 g ASS	
09.05.2017	Düngung 38,5 g ASS je Paprika-Parz.	
31.05.2017	Pflanzung 7x Paprika je Parz. Und Düngung 38,5g ENTEC 26 je Paprika-Parzelle und 5 L Wasser (Angießen)	
09.06.2017	Düngung Paprika je 7 Pflanzen je 38,5g ENTEC26	
27.06.2017	Düngung Paprika je 7 Pflanzen je 38,5g ASS	
12.07.2017	Ernte Petersilie	
12.07.2017		0,25 AkH Unkraut
21.07.2017	Aussaat 1,5 g Ringelblume/Parz. Und 4 g Asia-Salat-Mischung (Red Giant, Mizuna, Moutarde rouge metis, Green in snow) je Parz.	
21.07.2017	Düngung 30g ASS je Parzelle mit 7 Paprika und je Parzelle mit 12 Petersilie	
09.08.2017	Düngung 30g ASS bei Paprika/Ringelblume je Parz. Und bei Asia-Salat je Parzelle	
22.08.2017	Pflanzung 9x Endivie und 9xChinakohl je Parzelle	
23.08.2017	Düngung 30 g ASS bei Asia-Salate und 3x30 g ENTEC 26 bei jeweils Petersilie, Paprika, Ringelblume, Chinakohl und Endivie zusammen verteilt	
07.09.2017	Unkraut/Pflege 4,5 AkH	

Auf den beiden Dächern in Veitshöchheim und Würzburg wurden meist am selben Tag die gleichen Versuchsarbeiten durchgeführt (Tabelle 14). Es gab regelmäßig bedarfsgerechte Düngungen und einmal monatlich wurde das Unkraut entfernt bzw. nach Kulturende Pflanzenreste entfernt (Bild 27 und Bild 28).

Bild 27: Ernte auf dem Dach in Würzburg im Sommer 2017

Bild 28: Abräumen auf dem Dach in Veitshöchheim 2017

Beide Dächer wurden im Jahr für einen weiteren Versuch mit Mischpflanzungen genutzt (Siehe Kapitel 3.5). Am Ende des Forschungsprojekts wurde das Dach der LGA wieder zurückgebaut. Dazu wurde die Bewässerung abgebaut, die Gemüsepflanzen entfernt und im März 2019 neue Stauden für extensive Dachbegrünungen ausgebracht (Bild 29). Auch in Veitshöchheim wurde eine Teil-Fläche zurückgebaut und mit Stauden bestückt. Für weitere Versuche wurde teilweise die Gemüse-Fläche belassen (Bild 30).

Bild 29: Auslegen der Stauden-Bepflanzung beim Rückbau auf dem Dach der LGA im Jahr 2019

Bild 30: Pflanzung der Stauden als neue Versuchs-Variante auf dem Gemüse-Dach in Veitshöchheim

3.4.2.3. Schwermetalluntersuchungen

Bei Versuchsbeginn im April 2017 wurde bei beiden Substraten der Dachflächen eine Analyse auf die Schwermetalle Chrom, Cadmium, Blei und Nickel durchgeführt. Am 27.06.2017 wurden Gemüseproben vom Dach in Würzburg und Veitshöchheim von Radieschen, Petersilie, Eissalat und Fenchel genommen und auf Blei und Cadmium untersucht.

3.4.3. Ergebnisse

Die Pflanzenentwicklung und Erträge zwischen den Varianten und Wiederholungen wurden bewertet und dargestellt. Auch die Ergebnisse zum Schadstoffgehalt im Substrat und Gemüse wurden erfasst.

3.4.3.1. Pflanzenentwicklung

Die unterschiedlichen Arten entwickelten sich bei beiden Dächern sehr ähnlich. Die Vitalität der Paprikafrüchte war bei der Ernte sehr gut (Abbildung 56). Lediglich bei einer Parzelle auf dem Dach in Veitshöchheim gab es geringe Mängel an den Paprika-Früchten.

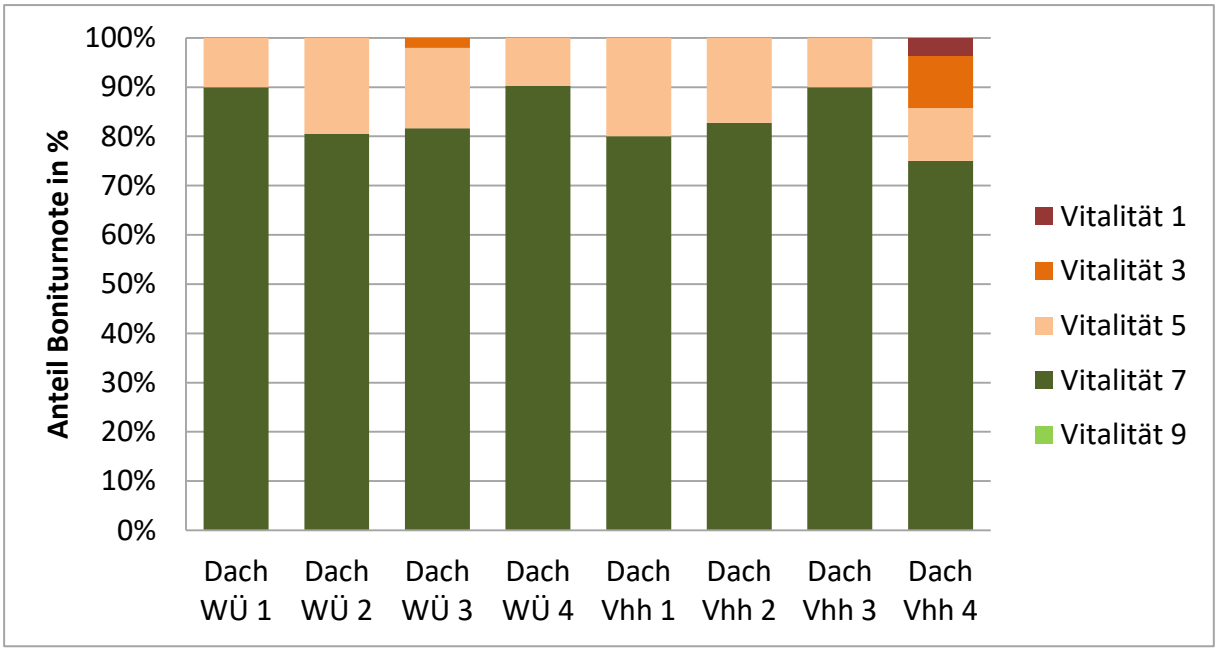


Abbildung 56: Vitalität der Paprikafrüchte bei der Ernte auf den Dächern

3.4.3.2. Erträge der Gemüsearten

Die Erträge auf den Dächern waren allerdings teils sehr unterschiedlich. Sowohl zwischen den verschiedenen Dächern als auch bei den Wiederholungen gab es Unterschiede im Ertrag.

Die höchsten Paprika-Erträge wurden auf dem Dach in Würzburg erzielt. Hier wurden im mittel über 1 kg/m² geerntet, variierte aber zwischen 900 und 1600 g. Auf dem Dach in Veitshöchheim lag der Ertrag bei maximal und im Mittel bei etwa 0,8 kg/m² (Abbildung 57). Bei dem Dach in Würzburg wurde vor allem mehr grüner Paprika geerntet.

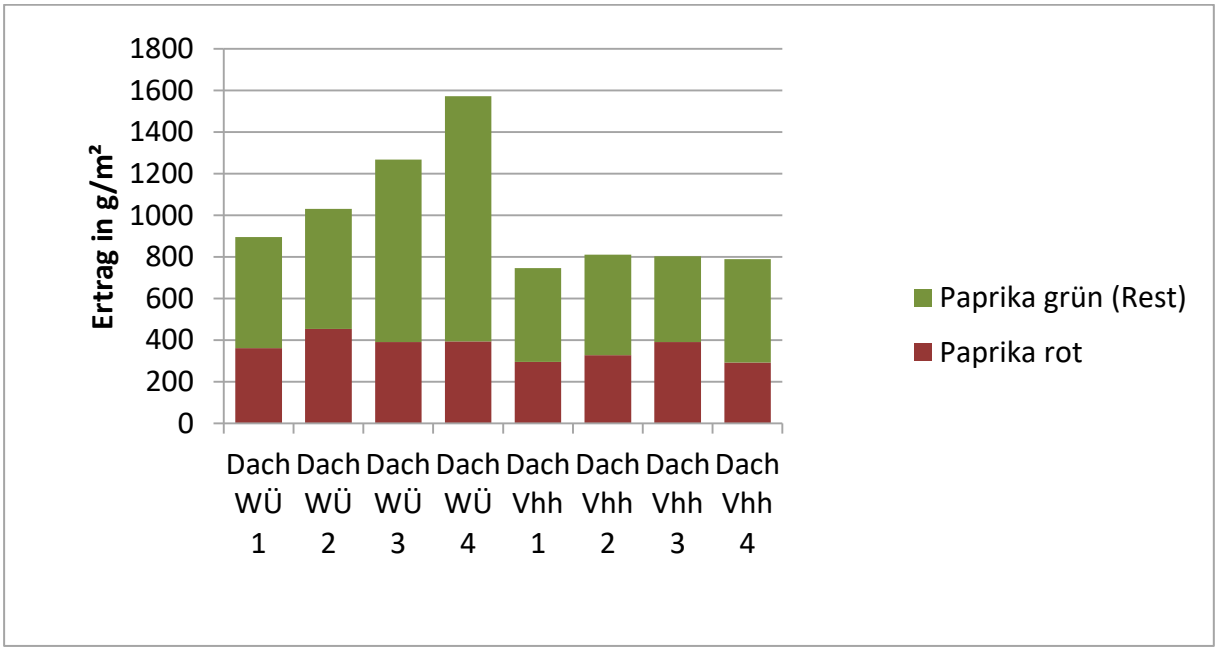


Abbildung 57: Paprika-Ertrag der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

Der Fenchelertrag wurden zwischen Knolle, Laub und Wiederaustrieb unterschieden (Abbildung 58). Die Erträge der Fenchelknollen waren zwischen rund 500 und 1200 g/m². Hier wurden kaum Unterschiede zwischen den Dachflächen festgestellt. Bei allen Parzellen wurde auch Fenchel aus dem Wiederaustrieb im August geerntet. Die Erntesumme bei Fenchel lag beim Dach in Veitshöchheim bei allen Parzellen bei etwa 2,5 kg/m². Beim Dach in Würzburg lag die Erntesumme bei zwischen 1,5 und über 3,5 kg/m².

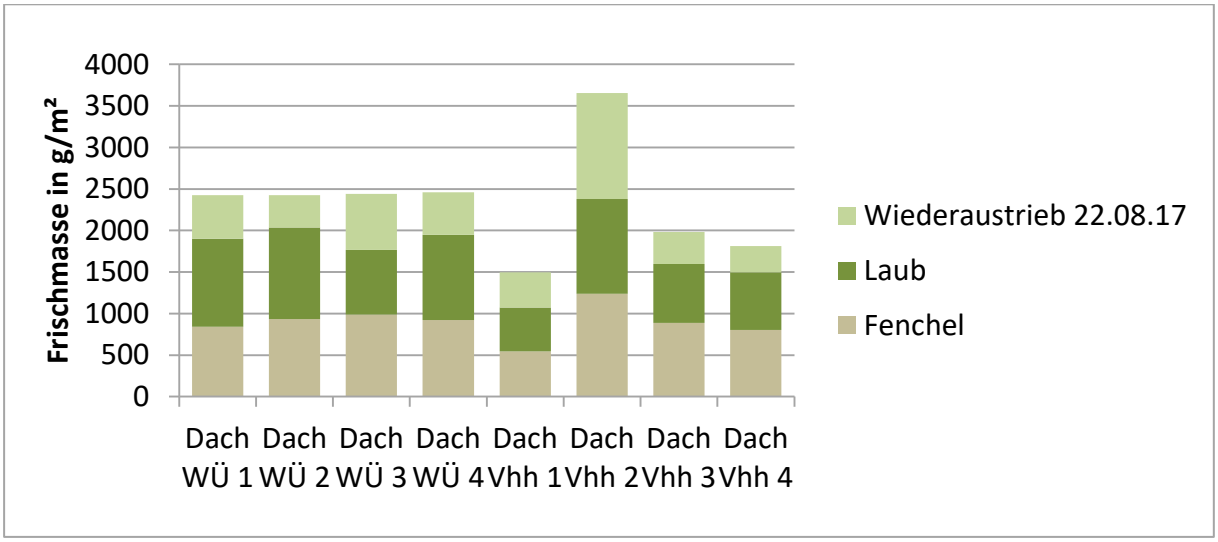


Abbildung 58: Fenchel Ertrag der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

Die Erträge von Eissalat lagen zwischen 2,9 und 5,6 kg/m² beim Dach in Würzburg. Beim Dach in Veitshöchheim wurden zwischen 3,8 und 4,2 kg/m² Eissalat geerntet. Damit gab es kaum Unterschiede zwischen beiden Dachflächen (Abbildung 59).

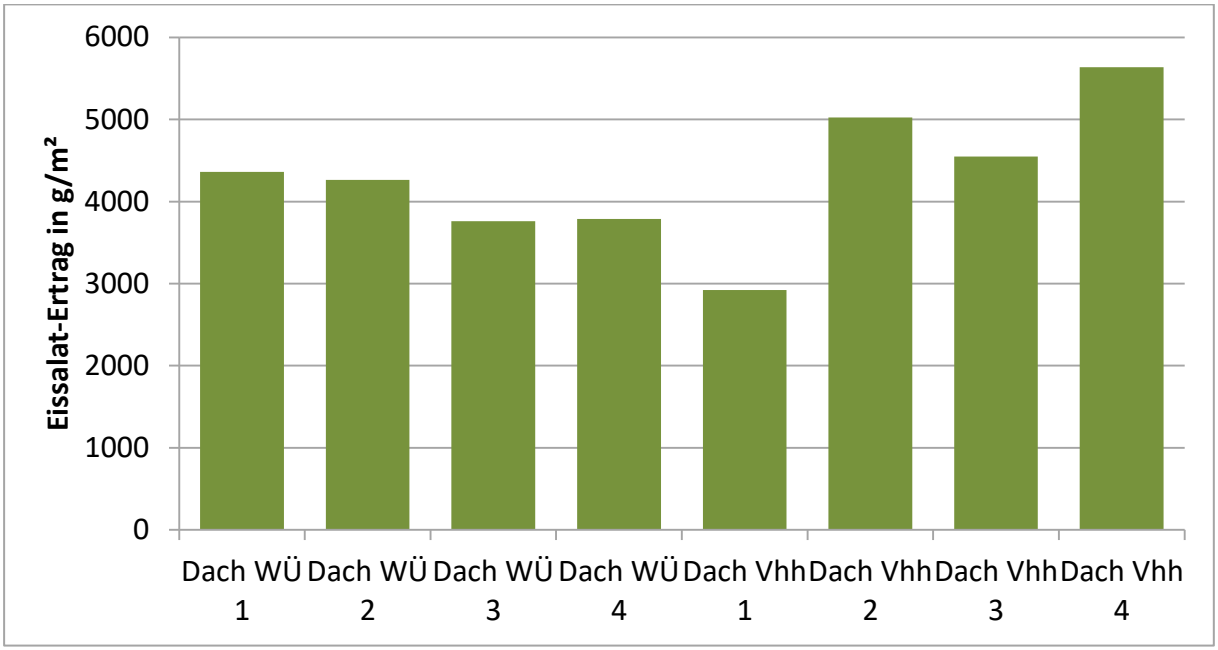


Abbildung 59: Eissalat Ertrag der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

Der Ertrag von Petersilie auf dem Dach in Veitshöchheim war geringer als der Ertrag in Würzburg. In Veitshöchheim wurden lediglich zwischen 0,3 und 0,8 kg/m² geerntet. Auf dem Dach der LGA lag dieser bei 0,9 bis 1,4 kg/m² (Abbildung 60).

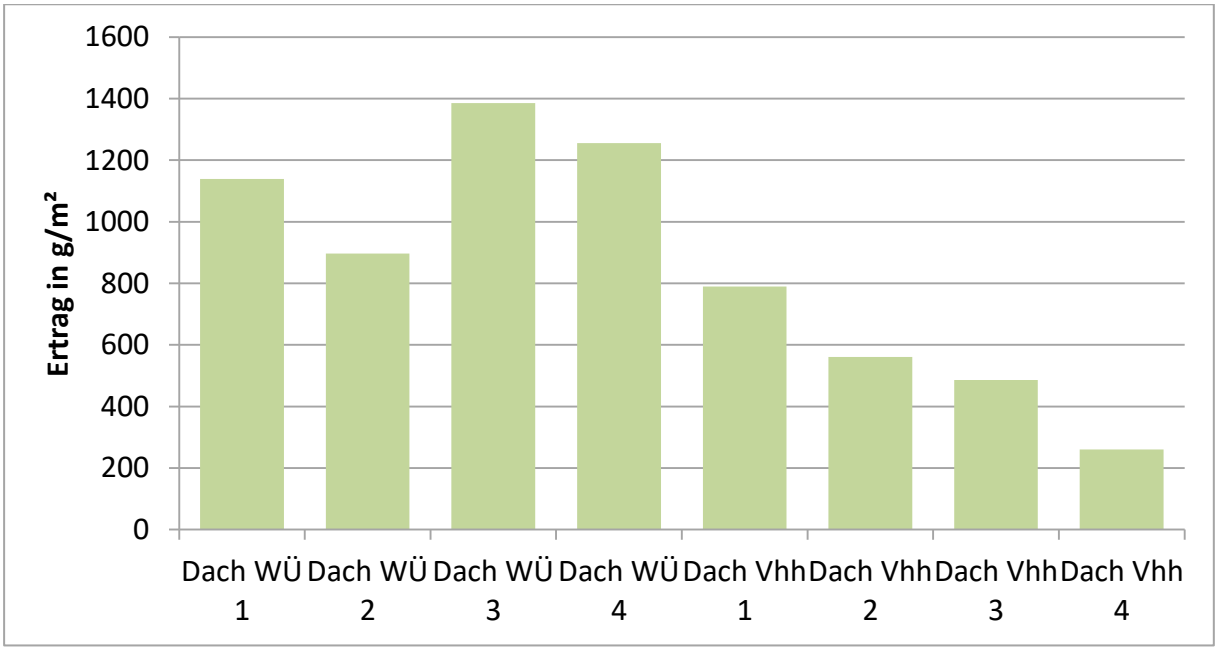


Abbildung 60: Petersilie-Ertrag (glatt und kraus) der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

Die Asia-Salat wurden von August bis Oktober mehrmals geerntet. Während auf dem Dach in Würzburg nur 0,2 und 0,5 kg/m² geerntet wurden, kam es beim Dach in Veitshöchheim zu Erträgen zwischen 0,5 und 1,1 kg/m² (Abbildung 61).

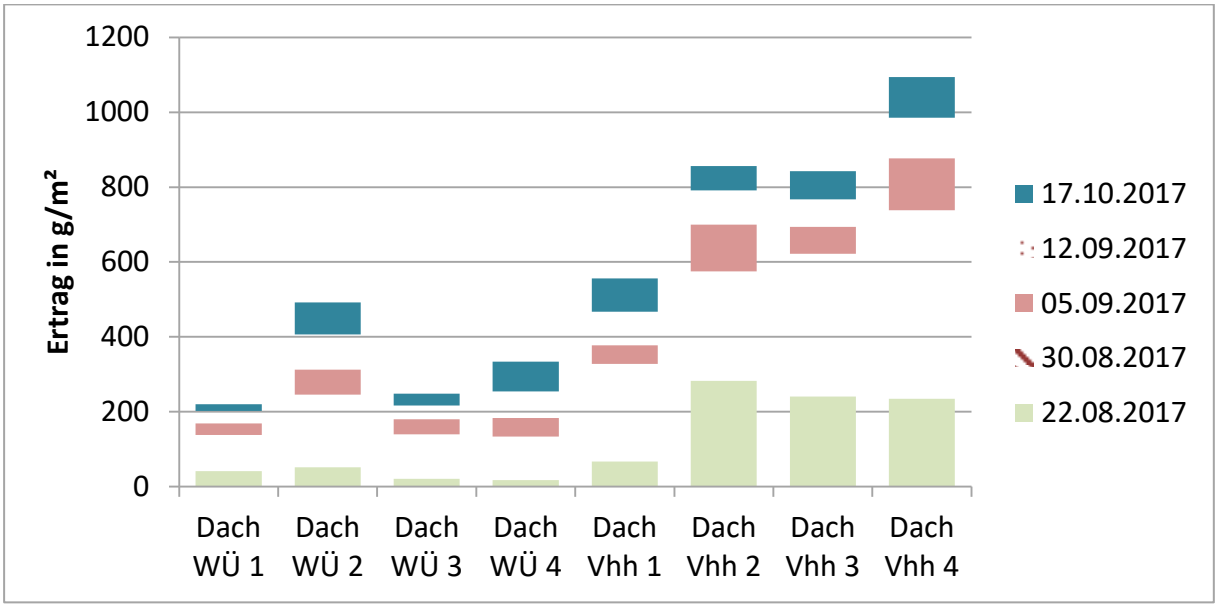


Abbildung 61: Asia-Salat Ertrag der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

Im Jahresverlauf waren die gesamten Gemüseerträge auf den beiden Dächern wiederum sehr ähnlich. Während in Würzburg bei allen Parzellen etwa 9 kg/m² geerntet wurden, kam es bei den Parzellen in Veitshöchheim zwischen 7 kg/m² und 11 kg/m². Dort unterschieden sich die Erträge stärker zwischen den Parzellen (Abbildung 62).

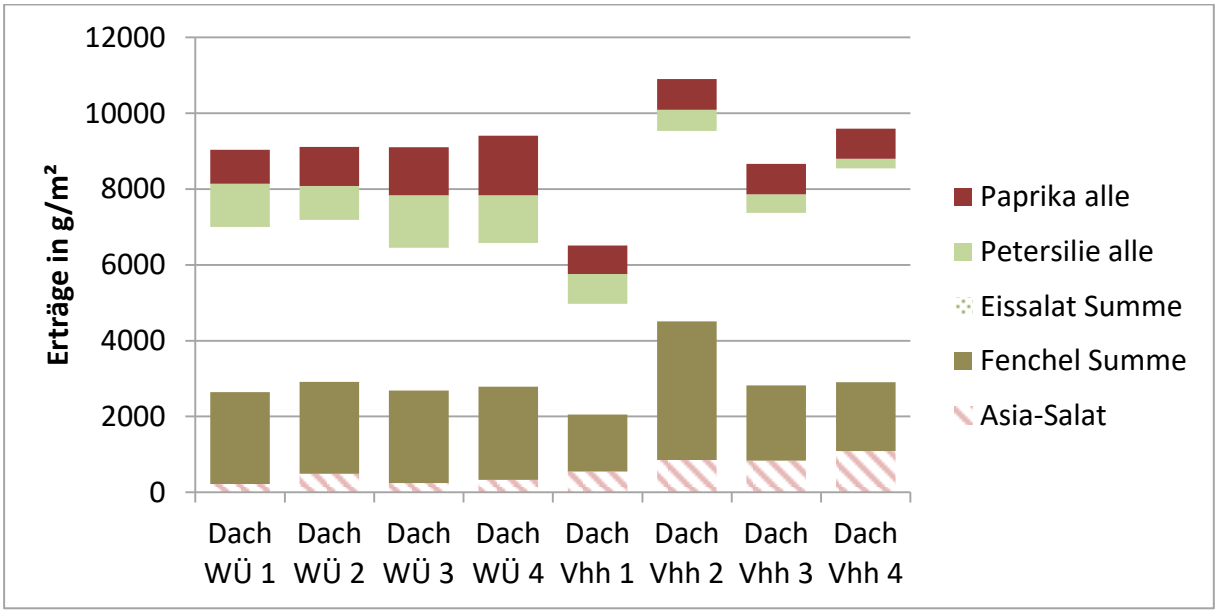


Abbildung 62: Gesamterträge der Parzellen bei 3 m²/Parzelle

3.4.3.3. Schadstoffgehalte in Substrat und Gemüse

Im Dachsubstrat wurden nahezu keine Überschreitungen von Empfehlungswerten für Gemüseböden festgestellt. Lediglich beim Dachsubstrat am Standort Würzburg wurde ein erhöhter Gehalt an Nickel gefunden. In vorhergehenden Untersuchungen an der LWG wurde allerdings auch bei erhöhten Gehalten mit Nickel im Substrat kein Nickel im Gemüse festgestellt. Da es für Blei und Cadmium nur verpflichtende Grenzwerte im Gemüse gibt wurden die weiteren Untersuchungen auf diese beschränkt.

Der Gehalt von Blei (Pb) und Cadmium (Cd) im Sommer 2017 beim Gemüse auf dem Dach in Würzburg und Veitshöchheim war nahezu bei allen Arten unterhalb der Nachweisgrenze von 0,1 mg/kg TM (Trockenmasse). Bei Petersilie wurden 0,1 mg Pb/kg TM festgestellt. Diese Menge ist allerdings bezogen auf dem Frischmasse wesentlich geringer als der Grenzwert von 0,3 mg Pb/kg FM (Frischmasse). Somit ist das Gemüse auf dem Dach in Würzburg und Veitshöchheim bezogen auf die Schwermetallbelastung durch Blei und Cadmium unbedenklich verzehrbar.

3.4.4. Schlussfolgerungen

Auf beiden Dachflächen konnten ähnliche Ertrags-Summen von rund 9 kg/m² im Jahr 2017 erzielt werden. Sowohl Eissalat als auch Kräuter und Asia-Salate wuchsen ähnlich. Im Dachsubstrat können Schwermetalle auftreten. Im Gemüse wurden allerdings kaum Schwermetalle nachgewiesen. In Petersilie ist nur eine unbedenkliche Menge an Blei vorhanden.

3.4.5. Weiterer Forschungsbedarf

Weitere Arten sind in Mischungskonzepten auf der Praxisfläche Dach interessant. Dort können weitere Ertragspotenziale erfasst werden und Empfehlungen ausgesprochen werden.

Beim Anbau von Größeren Flächen in der Stadt sind auch weitere Schadstoffmessungen interessant. Neben den Schwermetalluntersuchungen könnten auch weitere Schadstoffe wie zum Beispiel Reifenabrieb oder Feinstaubpartikel untersucht werden.

3.5. Versuch zu Ansaatmischungen auf dem Dach

Verschiedene Gemüsekulturen eignen sich für den Anbau auf dünnschichtigen Dachbegrünungssystemen. Die flächige Mischansaat vereinfacht die Ausbringung der Arten und ermöglicht eine regelmäßige Ernte über das Anbaujahr. Die unterschiedlichen Standortbedingungen zwischen Stand und Land können auf die Entwicklung der Pflanzen Einfluss nehmen. Die Aufnahme von Schadstoffen und Feinstaubpartikeln bei Stadtgemüse wurden bisher kaum untersucht. Vor allem bei unterschiedlichen Gemüsekulturen sind unterschiedliche Aufnahmen zu erwarten.

3.5.1. Zielsetzung

Zur attraktiven und praxisnahen Umsetzung von Urban Gardening auf ehemaligen extensiven Dachbegrünungen sollen spezielle Mischungs-Rezepte entwickelt werden. Sowohl eine herkömmliche Gemüse-Mischung als auch eine Asia-Gemüse-Mischung soll konzipiert und auf dem Anbausystem getestet werden. Dabei soll gestalterisch eine möglichst große Vielfalt an Arten und gleichzeitig eine möglichst einfache Ausbringung ermöglicht werden. Die Mischungen sollen auch im Interesse des Garten- und Landschaftsbaus den gestalterischen Aspekt bedienen und auch eine gute Flächendeckung aufweisen. Die Gemüsemischungen sollen auch über Öffentlichkeitsarbeit bekannt gemacht werden.

3.5.2. Material und Methode

Auf den beiden Dachflächen in Veitshöchheim und Würzburg aus dem vorhergehenden Versuch im Jahr 2017 (3.4) in Würzburg (Abbildung 64) und Veitshöchheim (Abbildung 63) wurden als zwei Varianten mit vier Wiederholungen unterschiedliche Mischungen getestet Im April bzw. Mai wurden die ersten Jungpflanzen ausgebracht und ein Teil der Mischung direkt gesät.

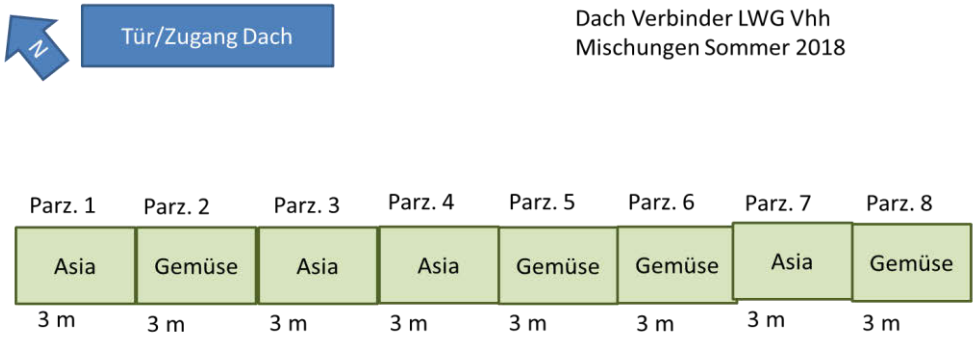


Abbildung 63: Einteilung der Dachfläche der LWG im Sommer 2018

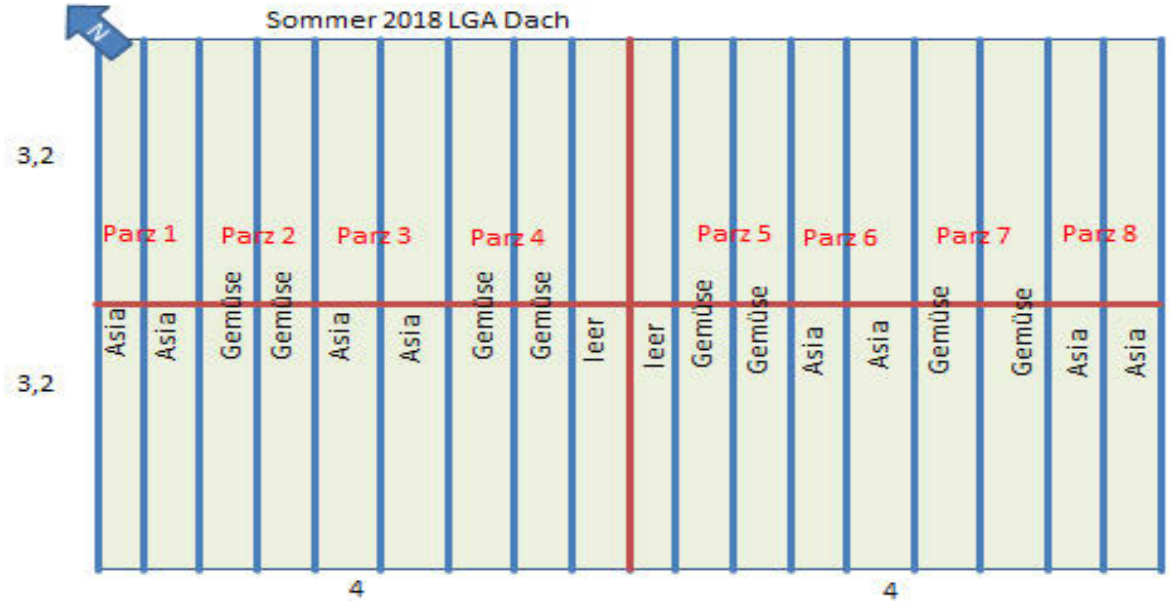


Abbildung 64: Einteilung der Dachfläche der LGA im Sommer 2018

Die (regionale) Gemüse-Mischung in Würzburg und Veitshöchheim wurde zuerst mit 12 Schnittlauch-Pflanzen je Parzelle (etwa 3 m²) ausgestattet. Dazwischen wurden 66 g aus Sojaschrot und Saatgut aus der zusammengestellten Mischung verstreut (Tabelle 15).

In den anderen Parzellen wurde die Asia-Mischung verteilt. Je Parzelle von ca. 3 m² wurden 6 Chili, 6 Paprika, 6 Aubergine, 6 Okra und 3 Thai-Chili-Pflanzen ausgebracht. Dazwischen wurde der Rest des Saatguts mit Sojaschrot zu je 60 g je Parzelle verteilt (Tabelle 16).

Tabelle 15: Zusammensetzung der Gemüsemischung für 100 m²

Gemüse-Mischung (Direktsaat April 2018)	In g/100 m²
Radieschen 'Rudi'	20
Petersilie glatt	10
Romana Mini 'Little Gem'	1
Schnittlauch	10
Grünkohl 'Westländer Winter'	1
Rote Bete 'Ägyptische Plattrunde'	10
Gelbe Bete	10
Mangold 'Lucullus'	10
Steckrübe 'Willhelmsburger'	2
Zwiebel 'Stuttgarter Riesen'	20
Kopfsalat Lucinde	0,25
Voranzucht	
Schnittlauch	10
Aussaat Juli	
Rettich 'Runder Schwarzer Winter'	1
Summe	105,25

Tabelle 16: Zusammensetzung der Asia-Gemüse-Mischung für 100 m²

Asiatische Mischung (Direktsaat April 2018)	In g/100 m²
Zitronengras	0,15
Koriander	4
Thaibasilikum	0,8
Spargelsalat 'chinesische Keule'	0,08
Frühlingszwiebel/Lauchzwiebel 'Ischikrona'	1,5
Zuckererbse 'Ambrosia'	120
Wasabino	1
Karotte 'Ochsenherz'	0,7
Voranzucht	
Chili 'De Cayenne'	0,2
Aubergine 'Malaysian Dark red'	0,2
Okra 'Clemson Spineless'	0,5
Paprika 'Sweet Dreams'	0,3
Direktsaat Juli	
Pak-Choi 'White Celery Mustard'	2
Chinakohl 'Atsuko'	0,2
Rettich 'Runder Schwarzer Winter'	2
Summe	**133,63**

Im Versuchsverlauf wurden regelmäßig Düngungen und Pflegearbeiten durchgeführt. Die Ansaat und Anpflanzung erfolgte beim Dach in Würzburg rund zwei Wochen später als auf dem Dach in Veitshöchheim (Tabelle 17).

Tabelle 17: Versuchsverlauf bei den Dächern in Veitshöchheim und Würzburg

Datum	LWG Veitshöchheim	LGA Würzburg
26.04.2018	Aussaat Gemüse-Mischung (66 g/Parz.) und Asia Mischung (60 g/Parz.) und Pflanzung Schnittlauch (4 je qm) und Angießen, Bewässerung an automatisch 2x 15 min täglich	
26.04.2018	Düngung 30 g ENTEC 26 je Parzelle/Doppelreihe bei Asia-Mischung	
09.05.2018		Pflanzung Schnittlauch und Aussaat Gemüse-Mischung, Aussaat Asia-Mischung und Pflanzung Chili, Aubergine
09.05.2018	Pflanzung Paprika, Chili, Aubergine	
23.05.2018	1. Bonitur Dächer; Pflanzung bei Asia: 6x Okra/Parz., 3x Thai-Chili/Parz	
28.05.2018	Unkraut 11 AKH	
30.05.2018	Düngung 30 g ENTEC 26 / Parz	
18.06.2018	Unkraut 9,25 AKH	Unkraut 5,8 AKH
19.06.2018		Unkraut-Pflege , Nachsaat: 20 g Asia und 20 g Gemüse/Parz.
04.07.2018	Nachsaat Rettich Schwarz, PakChoi, Chinakohl	
18.07.2018		Unkraut 13,7 AKH
27.08.2018		Unkraut 9,5 AKH
06.09.2018	Bewässerung von 60 min auf 15 min täglich	
24.10.2018	Bewässerung aus	
14.11.2018	Unkraut 10 AKH	

Als Vergleichs- und Demonstrationsfläche wurde ein weiteres Gemüsedach angelegt. Im Zuge der Landesgartenschau in Würzburg im Jahr 2018 entstand die Klima-Forschungs-Station in Kooperation mit der LWG und dem ZAE Bayern (Zentrum für Angewandte Energieforschung). Auf einer Versuchs-Garage wurde eine intensive Dachbegrünung (15 cm Substrathöhe) angelegt die mit der Gemüse-Mischpflanzung und mit einzelnen Pflanzen der Asia-Mischung ausgestattet wurde.

Bild 31: Gemüsedach im Sommer 2018 auf der Klima-Forschungs-Station auf der Landesgartenschau Würzburg

Die Aussaat erfolgte am 24.04.2018. Die Pflanzenentwicklung wurde dort lediglich fotografisch erfasst. Die Demonstrationsfläche wurde mit einem Spiegel für die Besucher und einer Möhre als Kennzeichnung ausgestattet (Bild 31).

3.5.3. Ergebnisse

Die Pflanzenentwicklung auf den Dachflächen in Veitshöchheim und Würzburg wurde fotografisch erfasst. Alle Arten wurden einzeln bonitiert und auf ihre Vitalität verglichen. Die Erträge der einzelnen Arten in den Parzellen wurden miteinander verglichen.

3.5.3.1. Pflanzenentwicklung und Vitalität

Auf den Dachflächen in Veitshöchheim und Würzburg wurde Ende April und Anfang Mai das Gemüse ausgesät und gepflanzt. Etwa 6 Wochen später sind einige Pflanzen gut gekeimt und eine gute Pflanzenentwicklung erfolgt (siehe Bild 32 und Bild 33). Nach insgesamt rund 20 Wochen haben sich die Pflanzen bei der Asia-Gemüse-Mischung und der regionalen Gemüse-Mischung in Veitshöchheim so gut entwickelt, dass die komplette Versuchsfläche bedeckt ist (siehe Bild 34 und Bild 35). Der Pflanzenbestand der beiden Mischungen auf dem Dach in Würzburg war rund 20 Wochen nach Aussaat etwas geringer und wies eine geringere Flächendeckung auf (siehe Bild 36 und Bild 37).

Bild 32: Asia-Mischung in Veitshöchheim am 18.06.2018

Bild 33: Gemüse-Mischung in Veitshöchheim am 18.06.2018

Bild 34: Asia-Mischung in Veitshöchheim am 08.08.2018

Bild 35: Gemüse-Mischung in Veitshöchheim am 08.08.2018

Bild 36: Asia-Mischung in Würzburg 21.08.2018

Bild 37: Gemüse-Mischung in Würzburg21.08.2018

Die Vitalität der Arten in den Mischungen unterschied sich teils stark. Auch zwischen den beiden unterschiedlichen Dachflächen in Würzburg und Veitshöchheim wurden die Gemüse-Arten unterschiedlich bonitiert.

Beim Asia-Gemüse in Veitshöchheim haben sich vor allem Aubergine und Okra sehr gut entwickelt. Dort wurden rund 50% der Pflanzen mit guter Vitalität (Boniturnote 7) ausgezeichnet. Am schlechtesten entwickelte sich die Zuckererbse. Diese war auf dem Dach in Veitshöchheim nur kaum zu verzeichnen (Abbildung 65). Die Pflanzen der Asia-Gemüse-Mischung auf dem Dach in Würzburg haben sich schlechter entwickelt als auf dem Dach in Veitshöchheim. Die Auberginen, Okra und Thai-Chili wurden hier am besten bewertet. Die im Juli gesäten Kulturen konnten gar nicht bewertet werden, da diese nicht gekeimt sind (Abbildung 66).

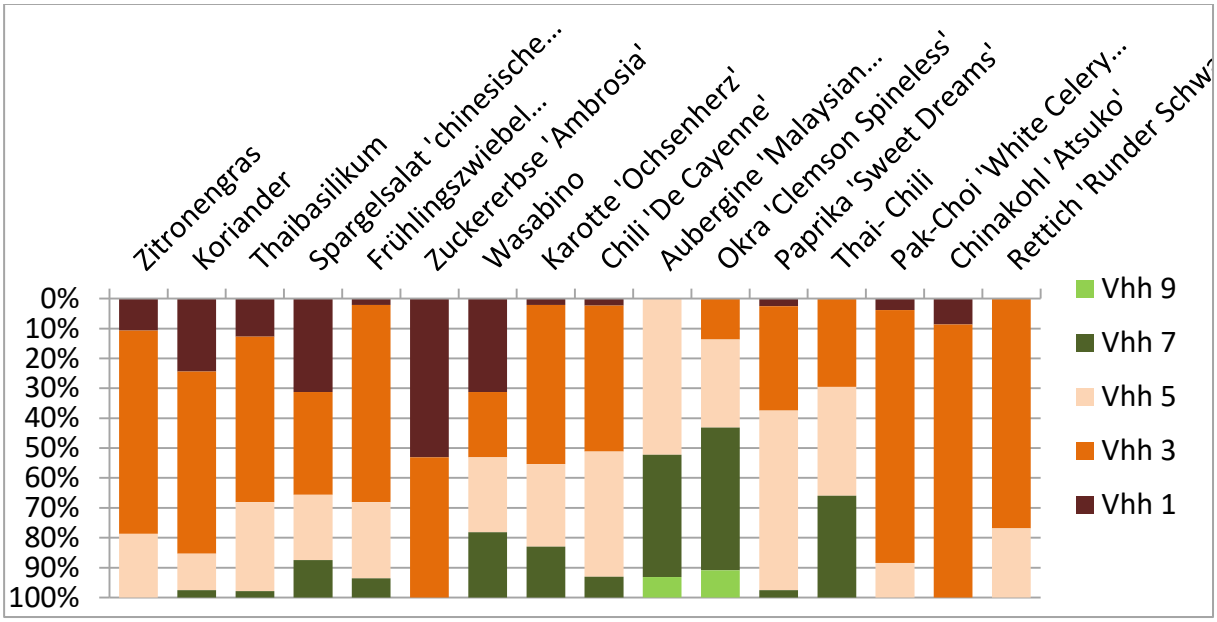


Abbildung 65: Häufigkeiten der Vitalität bei der Bonitur unterschiedlicher Arten in der Asia-Gemüse-Mischung im Sommer 2018 auf dem Dach der LWG in Veitshöchheim (Vhh 1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung)

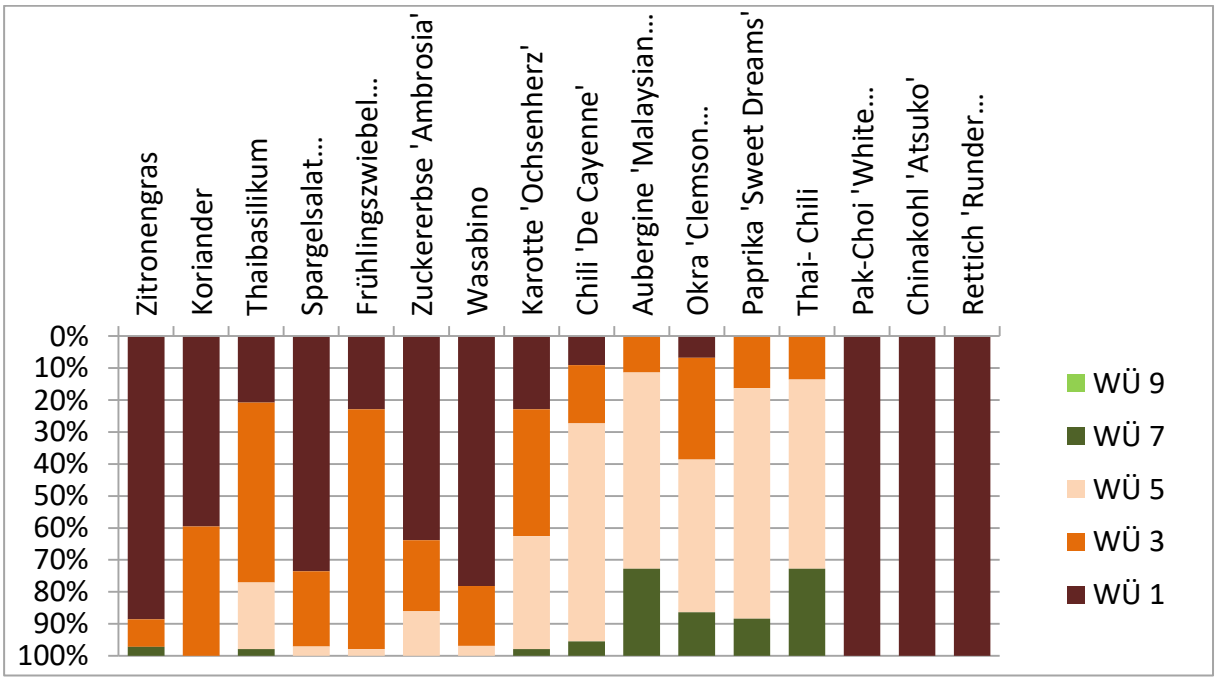


Abbildung 66: Häufigkeiten der Vitalität bei der Bonitur unterschiedlicher Arten in der Asia-Gemüse-Mischung im Sommer 2018 auf dem Dach der LGA in Würzburg (WÜ 1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung)

Die regionale Gemüse-Mischung auf dem Dach in Veitshöchheim hatte auch ein paar Mängel. Die Rote und Gelbe Bete wurden hier mit rund 50% schlechter Vitalität (Pflanzenausfall) am schlechtesten bewertet. Am besten entwickelten sich die Radieschen, Petersilie und der gepflanzte Schnittlauch. Diese wurden mit über 50% guter Vitalität bewertet. Die Petersilie hatte sogar teils über 25% hervorragende Entwicklung (Boniturnote 9) (Abbildung 67).

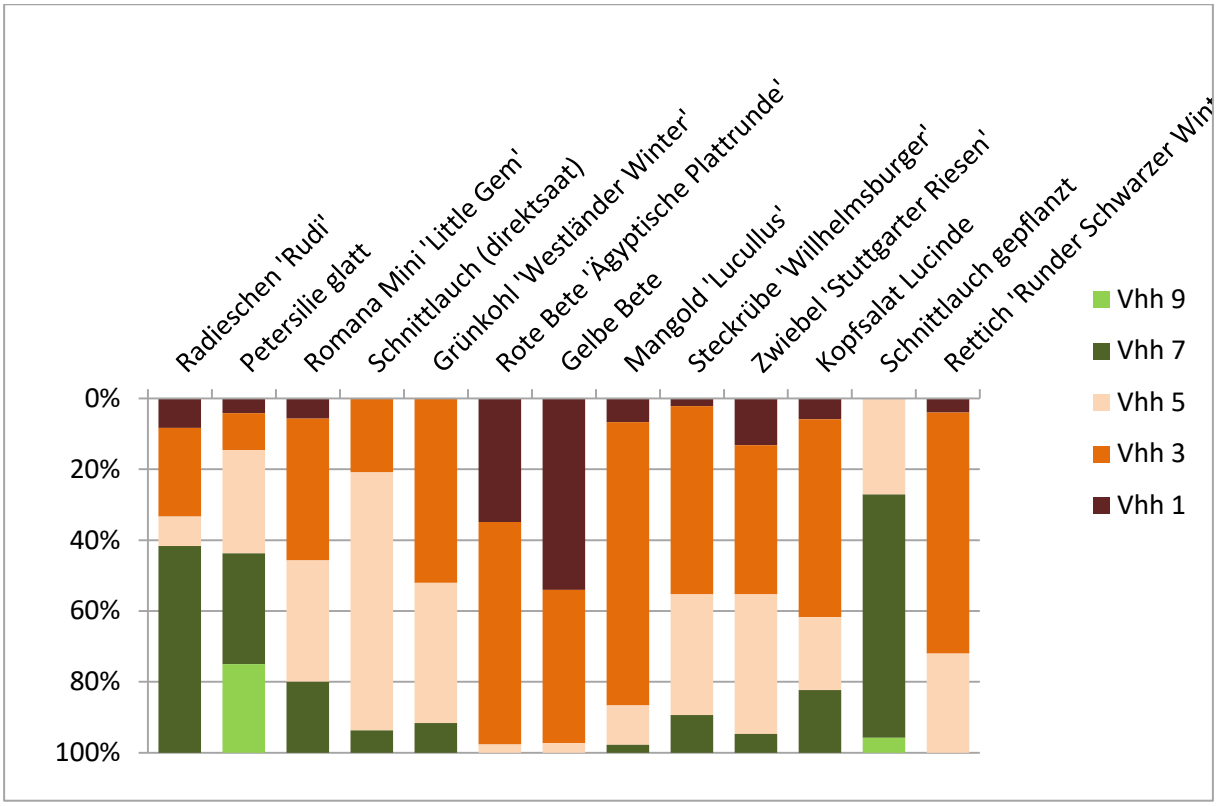


Abbildung 67: Häufigkeiten der Vitalität bei der Bonitur unterschiedlicher Arten in der Regionalen Gemüse-Mischung im Sommer 2018 auf dem Dach der LWG in Veitshöchheim (Vhh 1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung)

Die Vitalität der regionalen Gemüse-Pflanzen bei der Mischung am Dach in Würzburg waren teils etwas schlechter als die Vitalität in Veitshöchheim. Lediglich die Petersilie hatte die gleiche sehr gute Vitalität mit rund 50% guter Bewertung. Auch der gepflanzte Schnittlauch in Würzburg hatte zu über 20% eine Vitalität der Boniturnote 7. Die Rettich-Pflanzen sind in Würzburg bei der Nachsaat im Juli kaum gekeimt. Deshalb wurden diese auch nicht gut bewertet (Abbildung 68).

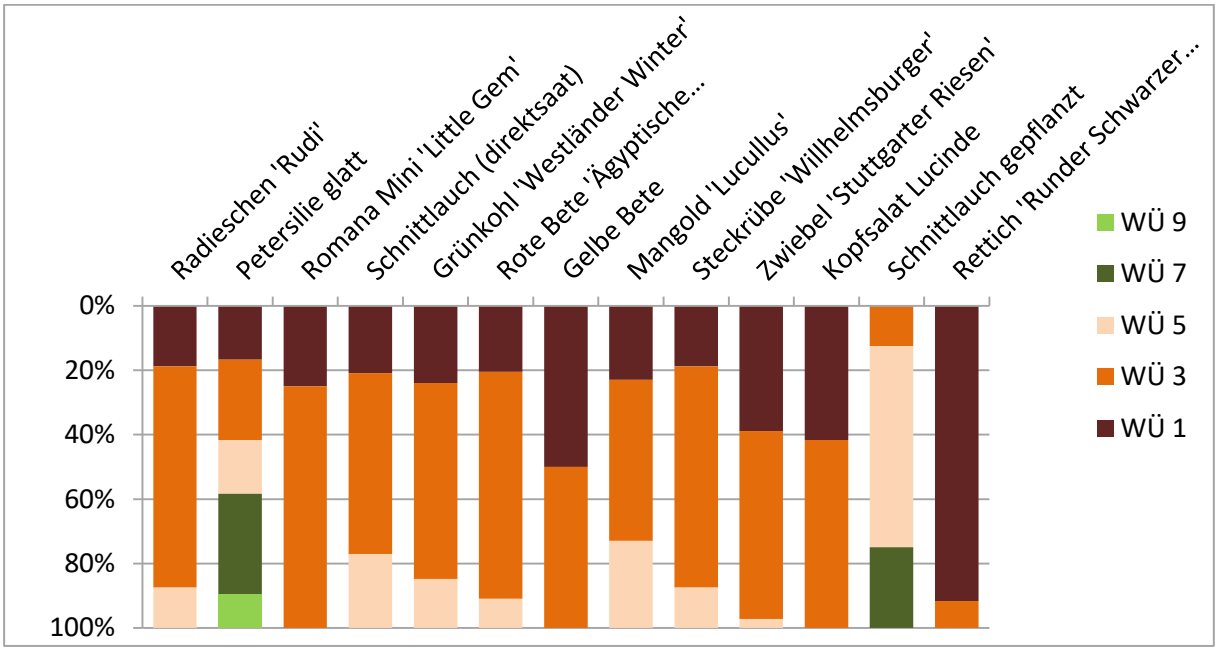


Abbildung 68: Häufigkeiten der Vitalität bei der Bonitur unterschiedlicher Arten in der Regionalen Gemüse-Mischung im Sommer 2018 auf dem Dach der LGA in Würzburg (Vhh 1=starke Mängel, 3=Mangelerscheinungen, 5=geringe Mängel, 7=gute Pflanzenentwicklung, 9=hervorragende Pflanzenentwicklung)

3.5.3.2. Erträge

Die Erträge in den Mischungen auf den Dachflächen in Würzburg und Veitshöchheim entwickelten sich unterschiedlich. Während bei der Asia-Gemüse-Mischung in Veitshöchheim zwischen 7 und über 12 kg/Parzelle geerntet wurden, kam es beim Dach in Würzburg nur zu maximal 3 kg/Parzelle im Jahresverlauf (Abbildung 69). Dies entspricht in Veitshöchheim etwa 2 bis 4 kg/m² und in Würzburg lediglich 1 kg/m². Vor allem Okra, Wasabino und Karotten wurden in höheren Mengen in Veitshöchheim geerntet. Auf dem Dach in Würzburg wurden von diesen Arten fast nichts geerntet. Auch die Erträge der Aubergine waren auf dem Dach in Veitshöchheim höher als auf dem Dach in Würzburg.

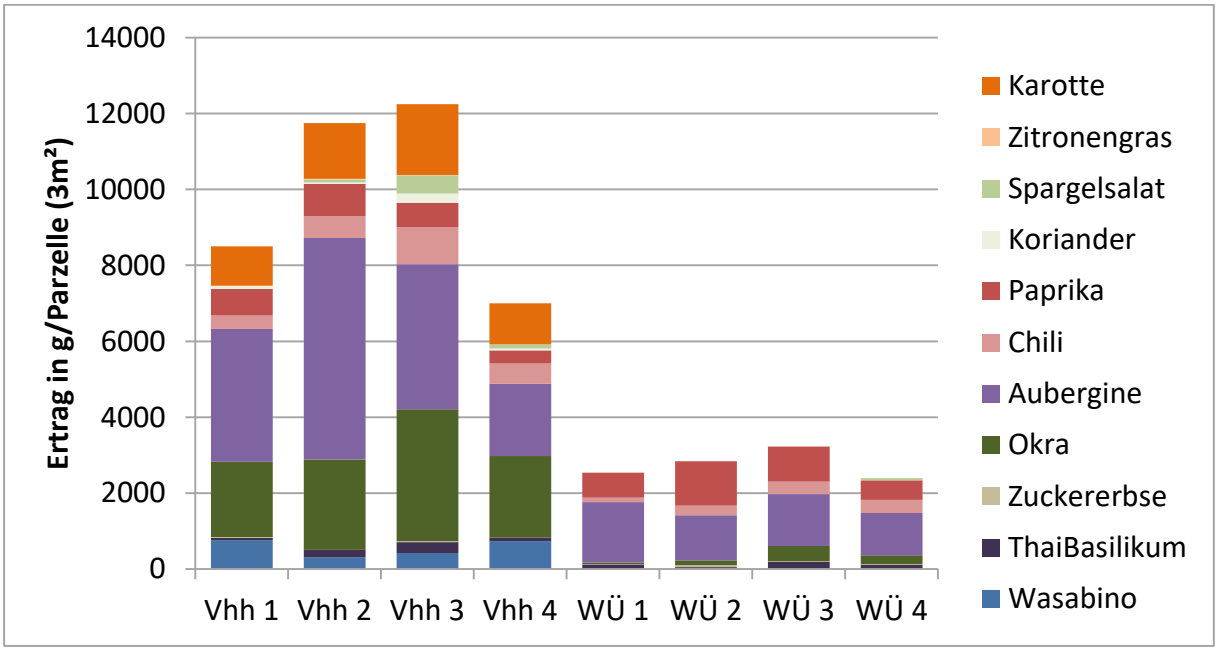


Abbildung 69: Erträge einzelner Arten bei der Asia-Gemüse-Mischung in einzelnen Parzellen

Auch bei der regionalen Gemüse-Mischung waren in Veitshöchheim die gesamten Erträge höher als auf dem Dach in Würzburg (Abbildung 70). Romana-Salate, Kopfsalat und Radieschen wurden ausschließlich in Veitshöchheim geerntet. Auch die Erträge von Schnittlauch und Petersilie waren in Veitshöchheim wesentlich höher als in Würzburg. In der Summe konnten in Veitshöchheim zwischen 4 kg und 8 kg/Parzelle geerntet werden. In Würzburg lag die Erntesumme stets unter 2 kg/Parzelle. Dies entspricht in Veitshöchheim zwischen 1,3 kg und 2,7 kg/m², sowie in Würzburg rund 0,7 kg/m².

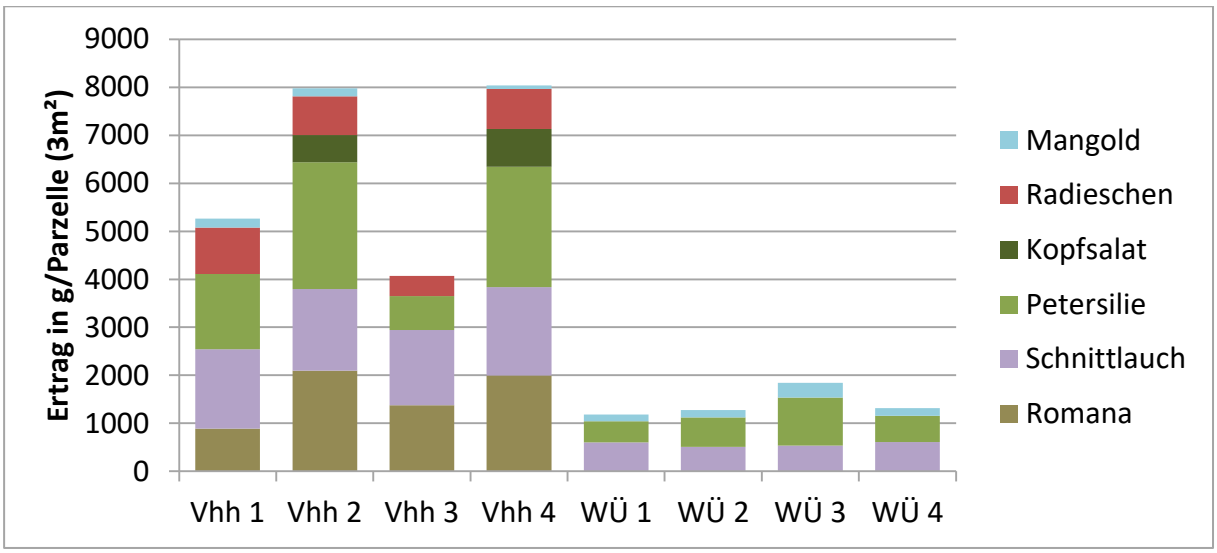


Abbildung 70: Erträge einzelner Arten bei der Regionalen Gemüse-Mischung in einzelnen Parzellen

3.5.4. Schlussfolgerung

Mischungskonzepte für den Anbau auf dem Dach bieten eine interessante Möglichkeit auch optisch ansprechend den Gemüseanbau dort zu gestalten. Bei einer hohen Vielfalt an Arten kann zusätzlich regelmäßig etwas geerntet werden und für die standortnahe Versorgung dienen. Die Pflanzen ermöglichen zudem einen guten Deckungsgrad. Sogar Okra und Auberginen können auf dem Dach hervorragend wachsen. Allerdings gibt es Unterschiede zwischen den Standorten. Deshalb ist je nach persönlichem Ertragsziel für eine optimale Versorgung mit Wasser und Nährstoffen zu sorgen und gegebenenfalls der Bestand zwischenzeitlich zu kontrollieren. Vor allem bei der Ansaat im Hochsommer ist auf die Keimung der Pflanzen zu achten.

3.5.5. Weiterer Forschungsbedarf

Die Mischungen können für spezielle Rezepte in der Hauswirtschaft genutzt werden. Es können weitere Untersuchungen mit weiteren Mischungen erfolgen die spezielle Restaurants bedienen (italienisch, asiatisch, bayerisch) und den jeweiligen Wünschen entsprechen. Es muss weiter überprüft werden, ob Pflanzenausfälle und schlechte Entwicklungen von Pflanzen auf die Kulturführung oder auf die generelle fehlende Eignung in der Mischung zurückzuführen ist. Deshalb sind auch bei den Mischungen unterschiedliche Dünger- und Bewässerungsstufen zu untersuchen, um eine passende Versorgung auch für die Praxis festzustellen und Empfehlungen auszusprechen.

3.6. Tastversuch auf ehemals extensiver Dachbegrünung

3.6.1. Zielsetzung

Auf dem Versuchsdach des Instituts für Stadtgrün und Landschaftsbau der LWG sollen weitere Gemüsekulturen in den Jahren 2017 und 2018 getestet werden. Der Aufbau entspricht dabei dem Systemdach der vorherigen Versuche (3.4). Dabei sollen vor allem Arten ausgewählt werden, die noch nicht auf dem Gemüsedach untersucht wurden. Die Kulturen sollen durch Sichtung bezüglich ihrer Anbaueignung auf dem Dach beurteilt werden. Alle Erträge der Gemüsearten sollen erfasst werden.

3.6.2. Material und Methode

Das Versuchsdach (aus dem vorherigen Versuch, siehe 3.4 und 3.5) wurde im Randbereich verwendet. Die Versuchsbedingungen entsprechen nahezu denen des Hauptversuchs. Einzelne Parzellen wurden mit Tropfschläuchen bewässert, andere erhielten nur gelegentlich eine manuelle Bewässerung. Die Kulturen erhielten meist eine Düngung nach eigentlichem Bedarf. Somit wurde je nach Art zwischen 5 und 35 g Stickstoff je m² bedarfsgerecht gedüngt.

Im Sommer 2016 bis 2018 wurden Gemüsearten wie Andenbeere und Ewiger Lauch, Knoblauch und grüner Spargel angebaut (Bild 38). Die Pflanzenentwicklung wurde fotografisch erfasst und die Erträge aufgezeichnet.

Bild 38: Randbereich auf dem Dach in Veitshöchheim am 20.09.2017

Tabelle 18: Ausgewählte Pflanzaktionen auf dem Dach im Randbereich 2017 und 2018

26.04.2017	Rand Pflanzung 4xSpargel
23.05.2017	Aussaat Quinoa
26.09.2017	Rand setzen 6 Knoblauch-Zehen
17.05.2018	Pflanzung: Maya-Mix (Mais, Kürbis, Stangenbohnen)

In einem weiteren Randbereich des Dachs in Veitshöchheim wurde ein Mischungskonzept Maya-Mix eines Saatgut-Herstellers getestet (Tabelle 18). Dieser bestand aus Mais, Kürbis und Stangenbohnen. Die Pflanzen sollen sich gegenseitig unterstützen und somit für eine gute Entwicklung sorgen (Bild 39).

Bild 39: Maya-Mix am 11.07.2018 auf dem Dach in Veitshöchheim

3.6.3. Ergebnisse

Die meisten Gemüsekulturen konnten sich im Tastversuch gut etablieren. Im Herbst 2016 konnten einige Kürbisse und sogar eine kleine Wassermelone auf dem Dach geerntet werden. Die wenigen Pflanzen Ewiger Lauch, die regelmäßig geerntet werden konnten erzielten lediglich insgesamt 100 g. Sogar der Mais entwickelte sich auf dem Dach sehr gut. Davon konnten im Sommer 2018 rund 9 Kolben geerntet werden. Der Maya-Mix ist somit auch in Ansätzen für die Kultur auf dem Dach geeignet. Allerdings entwickelten sich die Bohnen und Kürbispflanzen nicht ganz so gut. Auch der Knoblauch auf dem Dach entwickelte sich. Die im Jahr 2017 gesteckten Knollen konnten 2018 geerntet werden (Tabelle 19).

Tabelle 19: Gemüseernte im Randbereich auf dem Versuchsdach

Datum	Gemüse	Erntemenge
22.09.2016	Hokkaido	349g + 487g + 336g
29.09.2016	Kürbis (Riesen)	2440 g
07.10.2016	Kürbis (Riesen)	3373 g
14.10.2016	Wassermelone (klein)	783 g
14.06.2018	ewiger Lauch	100 g
14.06.2018	Knoblauch	1 Bund
20.07.2018	Mais	1350 g (4 Stück)
27.07.2018	Mais	1020 g (5 Stück)
13.11.2018	Kürbis	1900 g

3.6.4. Schlussfolgerung

Auch exotische Gemüsekulturen wie Kürbis, Wassermelone und Zuckermais können auf dem Dach Angebaut werden. Diese bieten für lokale Nahrungsmittelproduktion für den Eigen- und Fremdbedarf eine interessante Alternative zum herkömmlichen Gemüse.

Viele auf dem Markt angebotene Mischungskonzepte von Saatgutherstellern sind eine attraktive Gestaltungsmöglichkeit für das Dach.

3.6.5. Weiterer Forschungsbedarf

Vor allem für den Fremdbedarf könnten weitere exotische Arten und Sorten auf dem Dach getestet werden. Lokaler grüner Spargel oder Melonen vom Dach sind eine interessante Marketingidee. In weiteren Versuchen könnten die Ertragspotenziale näher untersucht und optimiert werden. Hier könnte noch mehr auf die Verwendung von seltenen oder alten Sorten geachtet werden. Auch im Hinblick auf eine höhere Biodiversität in der Stadt können viele weitere Sorten untersucht werden.

3.7. Versuch zu Living Walls mit Nahrungspflanzen

3.7.1. Zielsetzung

Es sollen unterschiedliche Systeme mit verschiedenen Bauweisen zur wandgebundenen Begrünung von Fassaden auf ihre Eignung zur Nahrungsmittelproduktion untersucht werden. Dabei sollen verschiedenste Kulturen bezüglich ihrer Eignung untersucht werden. Die Pflanzenentwicklung soll erfasst und beurteilt werden.

3.7.2. Material und Methode

Zur Untersuchung verschiedener Living Walls Systeme wurden unterschiedlichste Systemarten ausgewählt und mit unterschiedlichen Nahrungspflanzen getestet.

Bis im Herbst 2016 wurden alle Systeme zur wandgebundenen Fassadenbegrünung am Standort Veitshöchheim installiert (Bild 40). Im Zuge der Anlage eines Urban Gardening Demonstrationsgartens am Forstamt Erlangen wurden zwei weitere Systeme im Frühjahr 2018 installiert. In Veitshöchheim wurden in den Jahren 2017 und 2018 verschiedene Gemüsearten getestet. In den zwei Systemen in Erlangen wurden die Pflanzen nur im Jahr 2018 untersucht (Anhang 1).

Bild 40: Living Wall System in Veitshöchheim vor der Bepflanzung im Jahr 201

Tabelle 20: Varianten und Aufbau im Versuch mit Living Walls

Variante	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
System	Vlies	Kunststoff	Gabionen	Hydro	Vlies	Paletten
Hersteller	Vertiko	Humko	Vertuss	LWG	VerticalGreen	LWG
Anbau-Medium	Vlies-Taschen	Kunststoff-Gefäß	Gabionen-Körbe	Wasser-Rinnen	Vlies-Rinnen	Holz-Paletten
Substrat	Von Hersteller	Dachsubstrat	Von Hersteller	Erdpresstopf bzw. Dachsubstrat	Dachsubstrat	Dachsubstrat
Standort	Veits-höchheim	Veitshöchheim	Veitshöchheim	Veitshöchheim	Erlangen	Erlangen
Größe	6 m²	7 m²	7 m²	6 m²	5 m²	5 m²

Es wurden insgesamt sechs verschiedene Systeme zur Begrünung ausgewählt. Im Versuch wurden möglichst viele Pflanzstellen der Systeme verwendet. In einzelnen Systemen wären sogar wesentlich mehr Pflanzstellen möglich gewesen. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erhalten und ausreichend Pflanzabstand zu haben, wurde allerdings hier nur jede zweite Pflanzstelle besetzt (Abbildung 71).

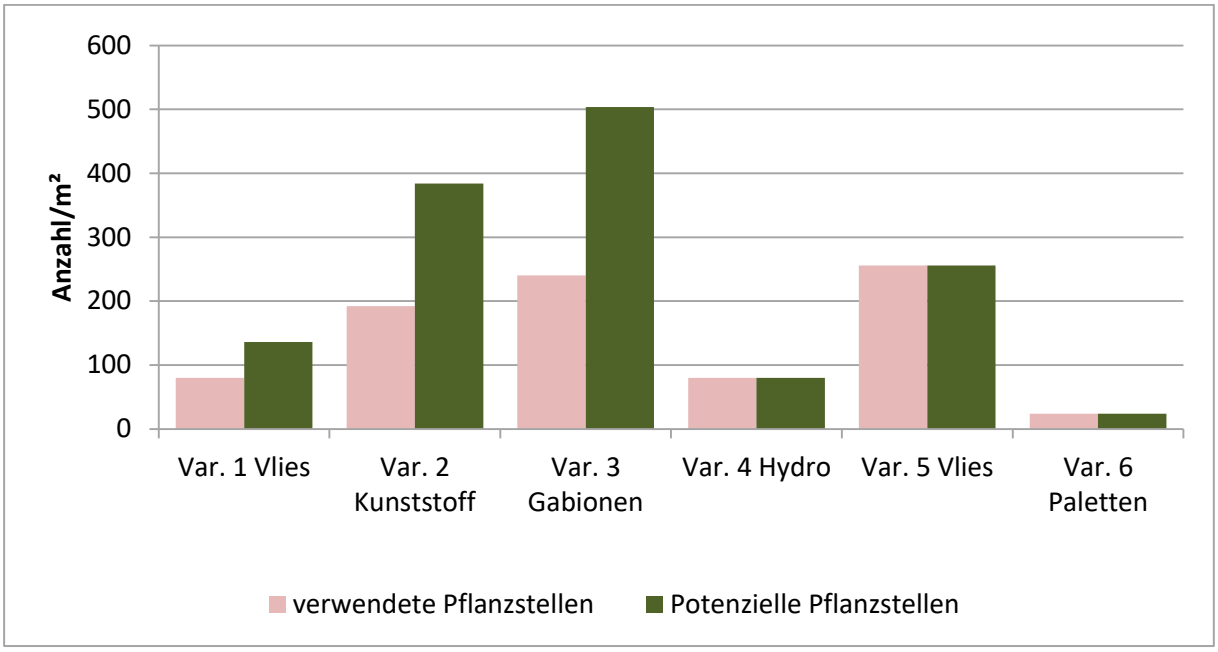


Abbildung 71: Potenzielle und tatsächlich verwendete Pflanzstellen bei den Varianten/Systemen

Jedes System wurde für den Versuch in je vier Wiederholungen eingeteilt und jeweils mit etwa vier Gemüsearten bestückt. Alle Varianten wurden somit in einer randomisierten Blockanlage innerhalb der Systeme angelegt (siehe Anhang 2, Anhang 3, Anhang 4, Anhang 5, Anhang 6, Anhang 7).

Zur Steuerung der vier Systeme in Veitshöchheim wurde eine Computereinheit (Bambach Tensio) angeschafft. Für Variante 4 (Hydroponisches System der LWG) wurde eine Düngeranlage installiert, die im Bedarf die Düngerversorgung im Tank messen, steuern und regeln kann.

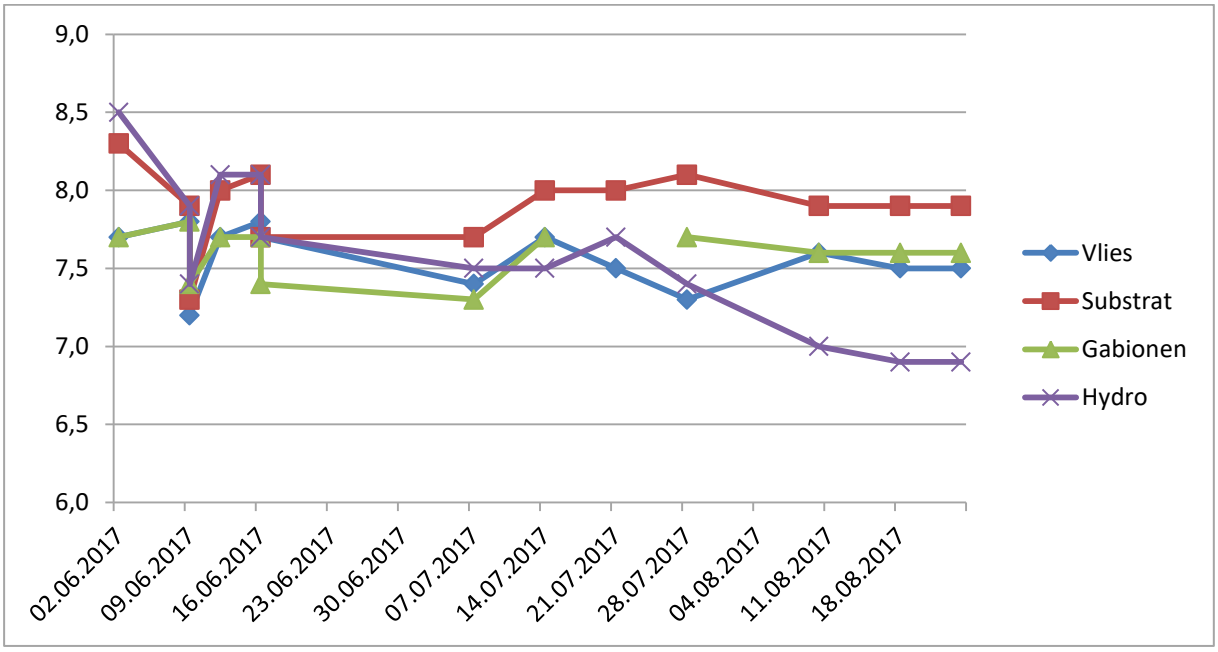


Abbildung 72: Verlauf des pH-Werts der System-Varianten im Jahr 2017

Im Versuchsverlauf wurden regelmäßig Düngungen durchgeführt. Im Sommer 2017 wurden dazu in Veitshöchheim Messungen von pH und EC in den Auffang- und Bewässerungsbehältern gemessen (Abbildung 72, Abbildung 73).

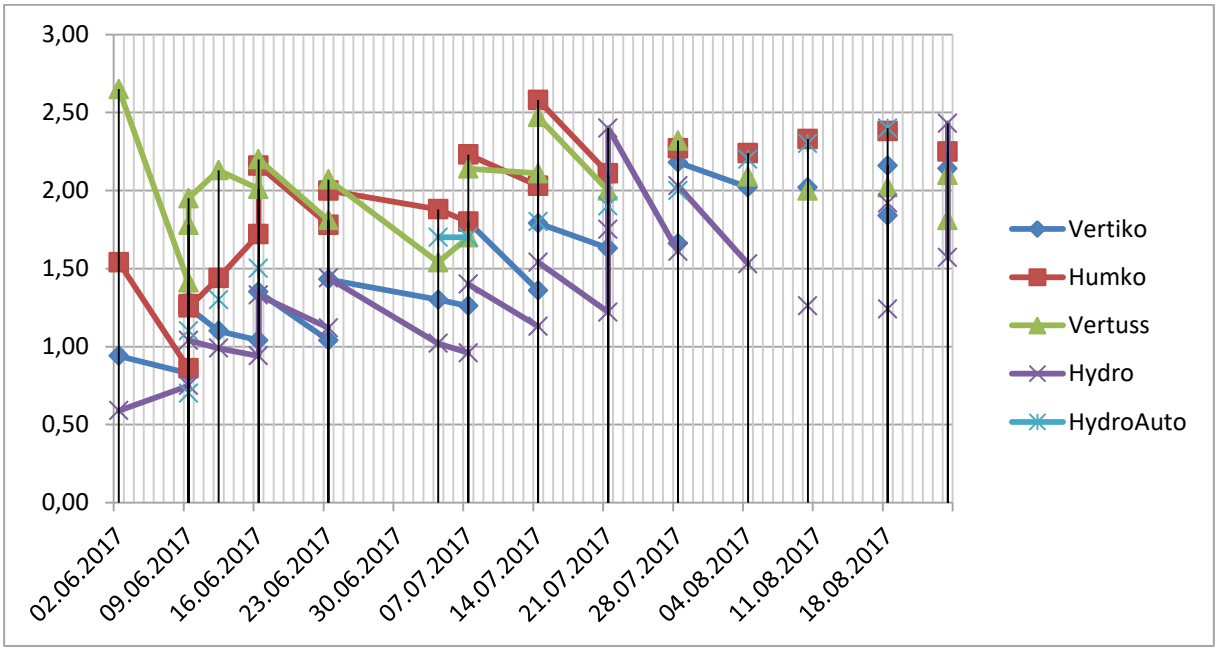


Abbildung 73: Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit der Varianten im Jahr 2017

Der Frischwasserverbrauch der jeweiligen Systeme in Veitshöchheim wurde im Jahr 2017 erfasst. Während bei System 1 und 4 etwa 1 m³ verbraucht wurden, war dieser bei Variante 2 und 3 wesentlich höher (Abbildung 74).

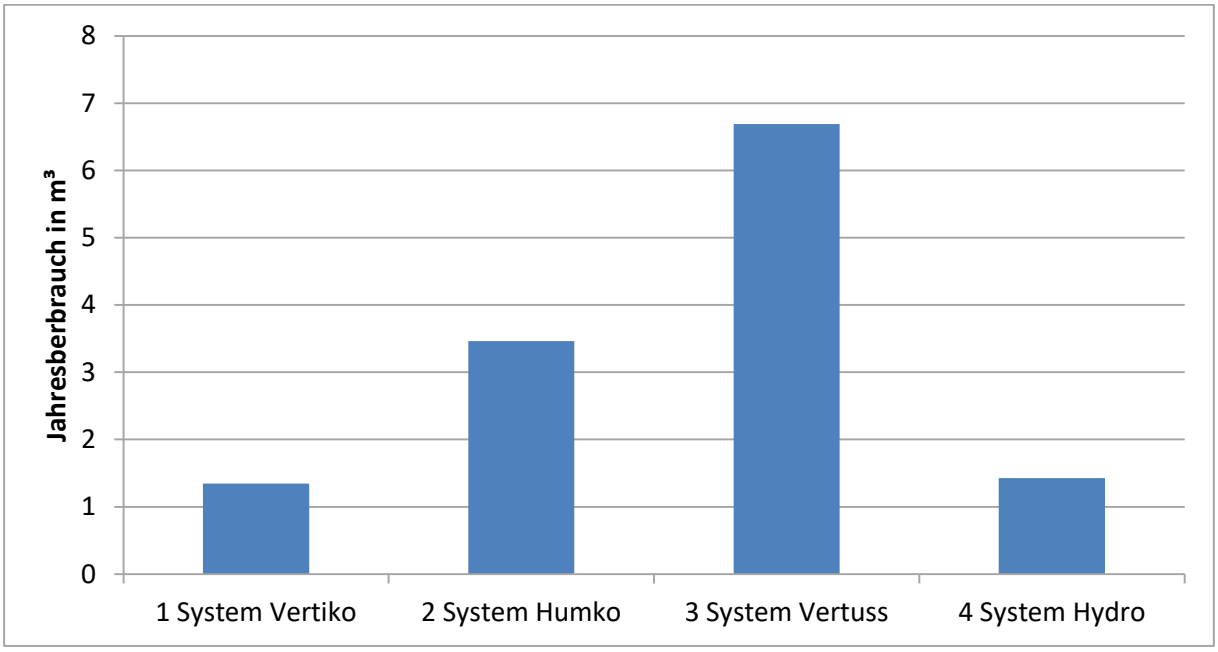


Abbildung 74: Wasserverbrauch an Frischwasser der Varianten im Versuchsjahr 2017

Es wurden verschiedene Bewässerungs-Sensoren in den unterschiedlichen Wand-Systemen in Veitshöchheim ausgebracht. Folgende Sensoren wurden platziert: Tensiometer (klein und groß), SMT-100, VH-400, Aquaflex, sowie ein Strahlungssensor. Für die Bewässerungskontrolle wurden auch Durchflussmesser angeschafft. Bis zum Projektabschluss wurden noch keine weiteren Messungen durchgeführt und analysiert.

3.7.3. Ergebnisse

Bei allen Systemen gab es immer wieder einzeln Mängel durch Pflanzenausfälle. Dennoch gab es Unterschiede in der Ausprägung der Pflanzenentwicklung.

3.7.3.1. Pflanzenentwicklung und Vitalität der Arten 2017

Im Sommer 2017 wurden erstmals verschiedene Gemüsearten in den Living Wall Systemen in Veitshöchheim angebaut. Dabei gab es regelmäßig einzelne Ausfälle von Parzellen in den Systemen (Bild 41 und Bild 42). Der Salat entwickelte sich im Gabionen-System und im NFT-Rinnen-System sehr gut (Bild 43 und Bild 44).

Bild 41: Vlies-System am 07.07.2017

Bild 42: System mit Kunststoffgefäßen am 07.07.2017

Bild 43: Gabionen-System am 07.07.2017

Bild 44: NFT-Rinnen-System am 07.07.2017

Die Erdbeeren im Sommer 2017 entwickelten sich zwischen den Systemen sehr ähnlich. Zwischen 25% bei Variante 2 und 50% bei Variante 1 und 4 lagen die Boniturnoten mit guter Vitalität. Teils gab es auch Pflanzenausfälle und deshalb die Boniturnote 1 (Abbildung 75).

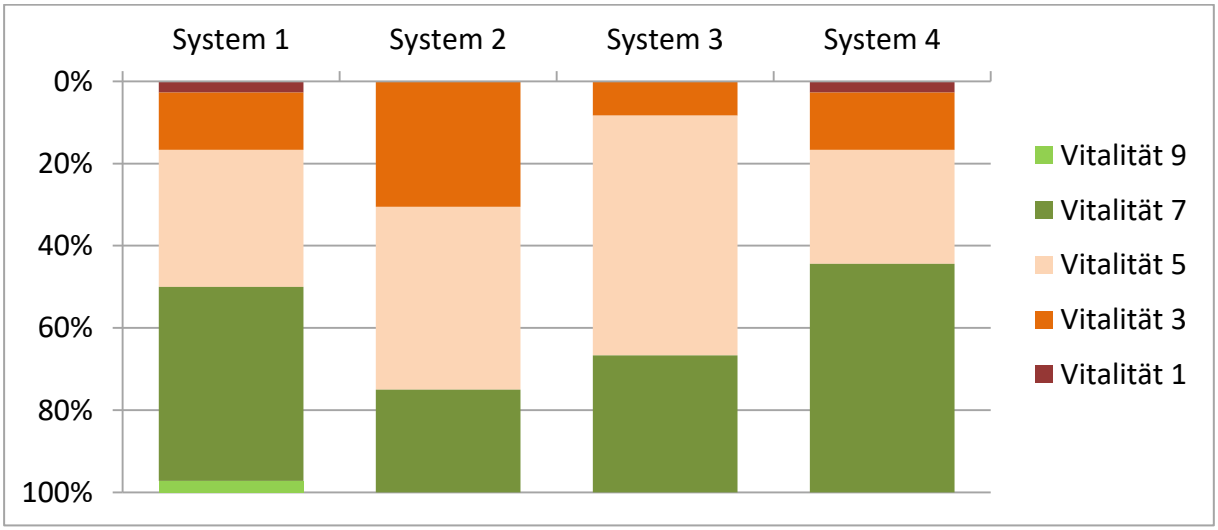


Abbildung 75: Vitalität der Erdbeeren im Sommer 2017 bei den Varianten

Der Dill entwickelt sich in System 2 am schlechtesten. Auch bei der Variante 1 gab es einige Ausfälle von Dill-Pflanzen. Am besten entwickelte sich der Dill im NFT-Rinnen-System (Abbildung 76).

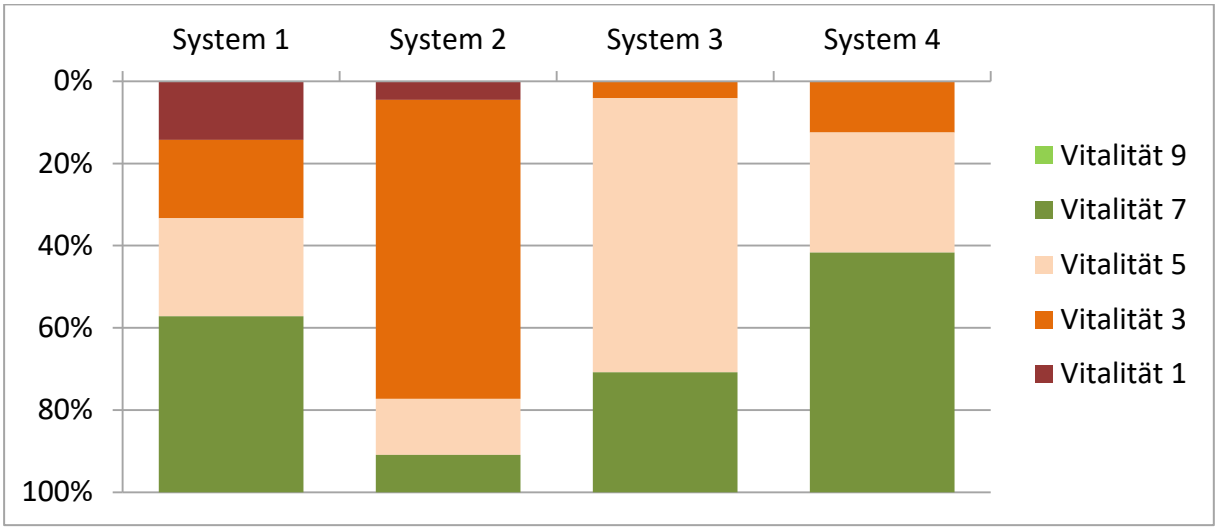


Abbildung 76: Vitalität von Dill im Sommer 2017 bei den Varianten

Die Vitalität von Rote Bete im Sommer 2017 war bei Variante 1 am besten. Dort gab es keine weiteren Mängel der Pflanzen. System 2 und 3 wurden wiesen die schlechtesten Rote Bete-Pflanzen auf (Abbildung 77). Dennoch waren keine Pflanzen aufgrund der kleinen Knollen zum Saisonabschluss erntefähig.

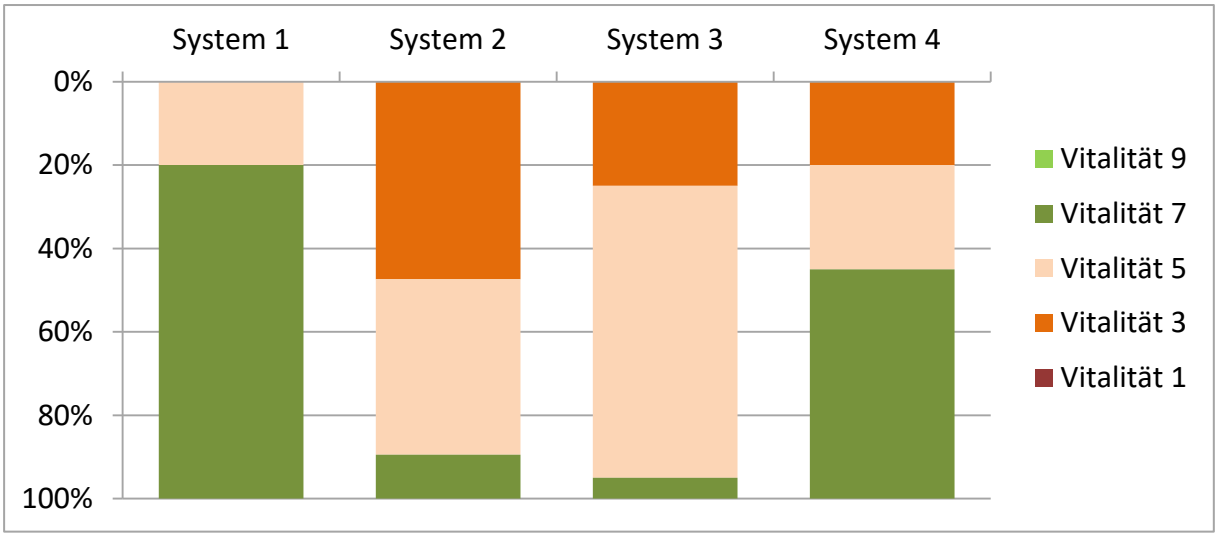


Abbildung 77: Vitalität von Rote Bete im Sommer 2017 bei den Varianten

Die Buschbohnen im Sommer 2017 hatten vor allem bei Variante 1 und 2 der Living Walls starke Mängel. Bis zu 50% wurden hier schlecht bewertet. Auch bei den anderen beiden Varianten in Veitshöchheim gab es Mängel in den Buschbohnen (Abbildung 78).

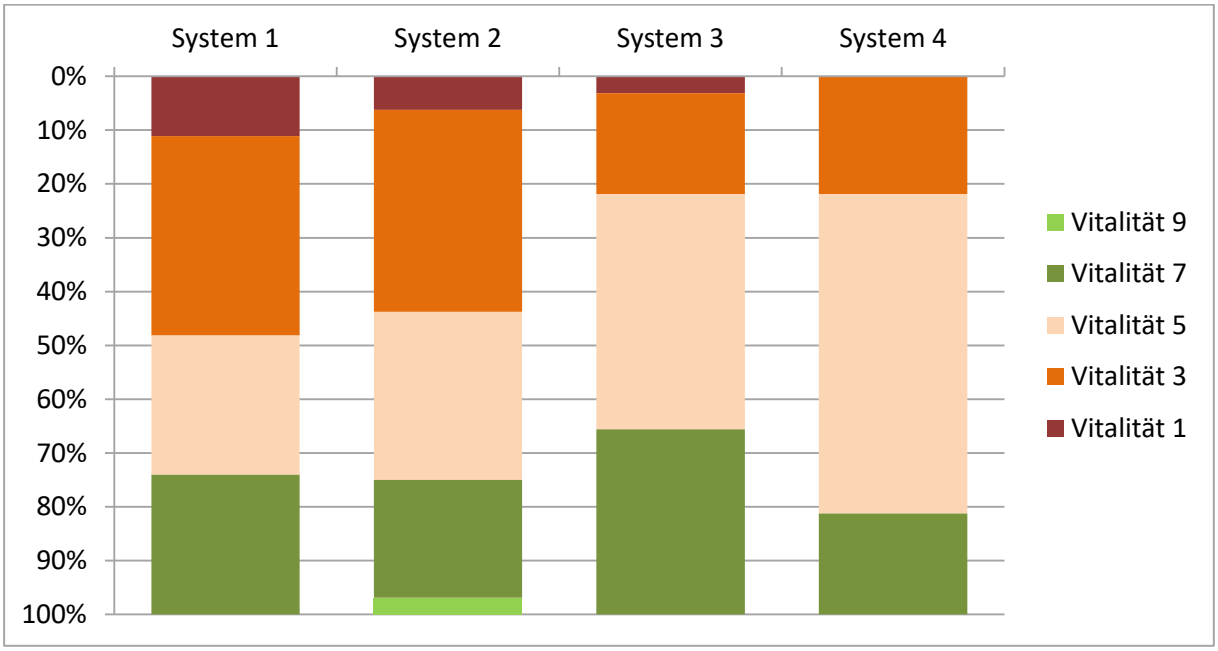


Abbildung 78: Vitalität von Buschbohnen im Sommer 2017 bei den Varianten

Die Vitalität von Rotem und Grünem Romanasalat im Versuchsverlauf im Sommer 2017 wurde insgesamt mit geringen Mängeln bewertet. Die Entwicklung bei System 3 war mit über 70% guter Vitalität gekennzeichnet. Bei Variante 1 gab es auch sehr gute Pflanzen, aber auch Pflanzen mit stärkerem Mängel (Abbildung 79 und Abbildung 80). Bei der Ernte des Romana-Salats wurden allerdings wesentlich stärkere Mängel festgestellt. Lediglich bei Variante 1 wurden 10% der Salate mit guter Vitalität und guter Merkfähigkeit bewertet. Bei Variante 4 waren sogar rund 80% mit stärkeren Mängeln bewertet worden (Abbildung 81).

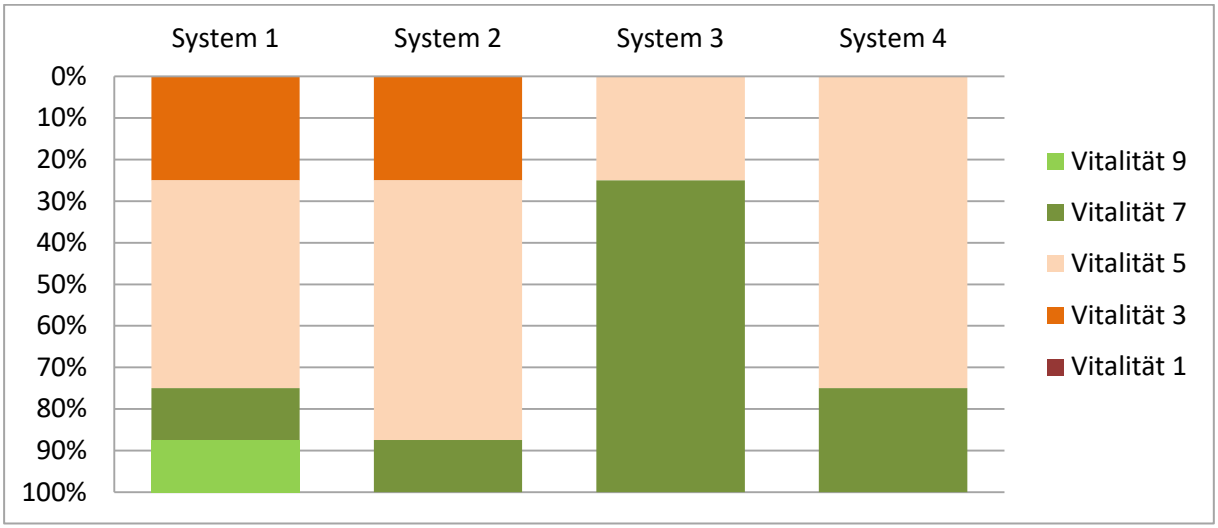


Abbildung 79:Vitalität von Rotem Romanasalat im Sommer 2017 bei den Varianten

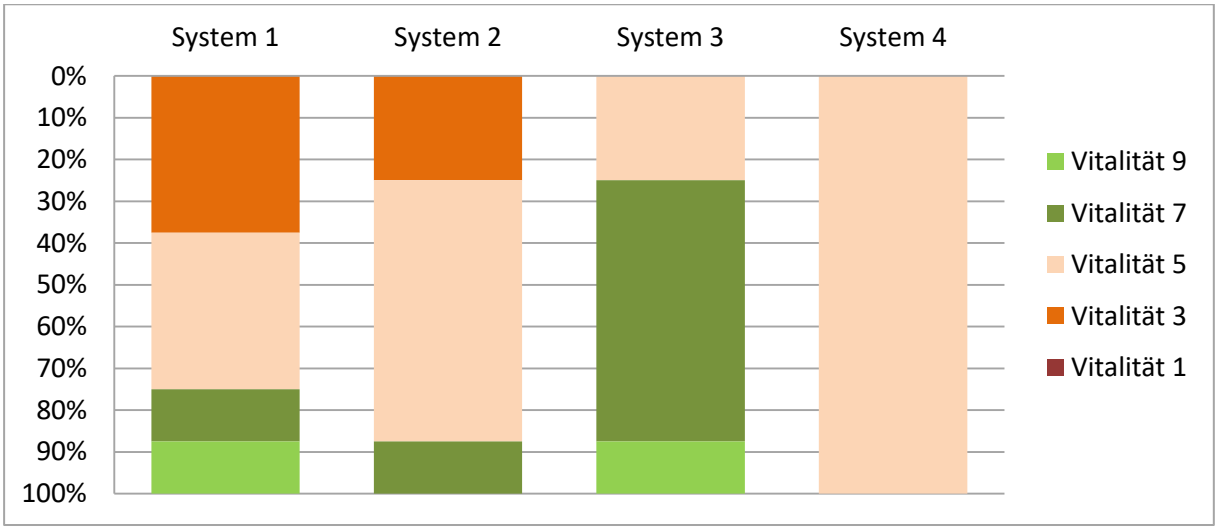


Abbildung 80:Vitalität von Grünem Romana-Salat im Sommer 2017 bei den Varianten

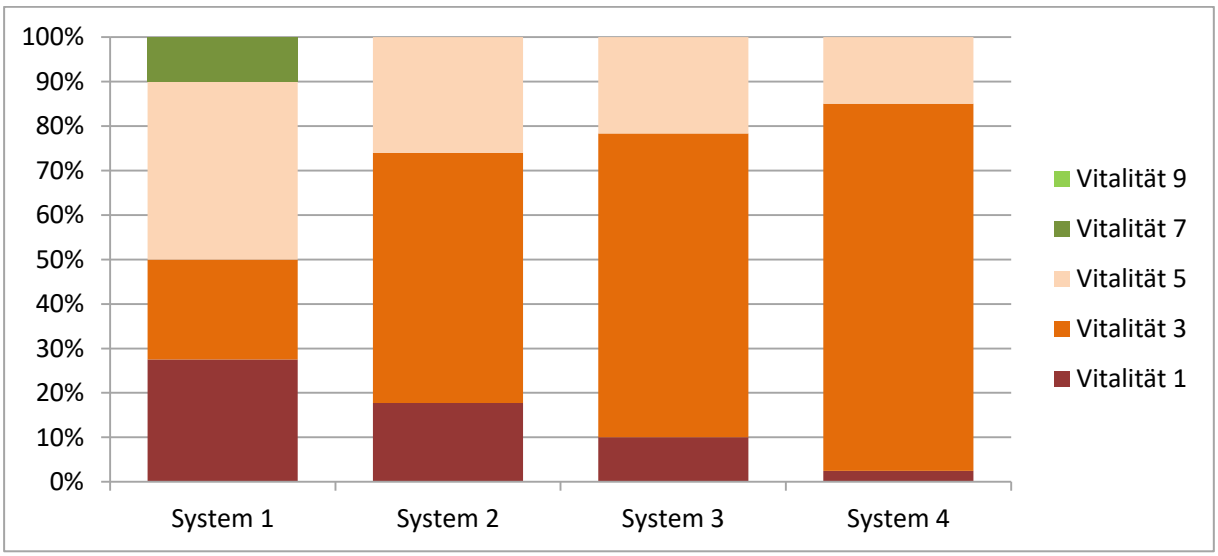


Abbildung 81: Vitalität von Romana-Salat bei der Ernte im Sommer 2017 bei den Varianten

3.7.3.2. Pflanzenentwicklung und Vitalität der Arten 2018

Im Sommer 2018 wurde auch die Pflanzenentwicklung an den neuen Systemen in Erlangen bonitiert. Somit konnten die Vitalität von verschiedenen Gemüsearten in sechs verschiedenen Systemen zur Wandbegrünung verglichen werden (Anhang 8).

Beim Vlies-System und beim Kunststoffgefäß-System gab es 2018 erneut einzelne Ausfälle in den Parzellen (Bild 45 und Bild 46).

Bild 45: Vlies-System am 09.05.2018

Bild 46: System mit Kunststoffgefäßen am 09.05.2018

Das Gabionen-System zeigte Pflanzen mit üppigem Wuchs (Bild 47). Im NFT-Rinnen-System blieben im Jahr 2018 die meisten Pflanzen etwas kleiner (Bild 48).

Bild 47: Gabionen-System am 09.05.2018

Bild 48: NFT-Rinnen-System am 09.05.2018

Beim neu bepflanzten Vlies-Rinnen-System gab es im Frühjahr 2018 einen sehr üppigen Wuchs (Bild 49). Allerdings gab es im weiteren Verlauf auch im Sommer einzelne Ausfälle von Parzellen. Im Paletten-Garten in Erlangen wuchsen die Pflanzen

gut, wiesen aber aufgrund der geringen Anzahl an Pflanzgefäßen nur eine geringe Deckung der Wandfläche auf (Bild 50).

Bild 49: Vlies-Rinnen-System am 03.05.2019

Bild 50: Paletten-System am 03.05.2019

Die einzelnen Pflanzenarten entwickelten sich sehr unterschiedlich in den Living Wall Systemen. Beim Kohlrabi im Sommer 2018 wurden in Veitshöchheim bei System 1 stärkere Mängel festgestellt. Bei der selben Variante wurden aber auch über 25% der Kohlrabipflanzen als sehr gut bewertet. Am besten entwickelte sich der Kohlrabi bei System 3. Auch bei Variante 5 und 6 in Erlangen gab es nur geringe Mängel. Bei den Systemen 2 und 4 gab es eine mittlere Pflanzenentwicklung mit ein paar Mängeln. Meist wurde roter Kohlrabi besser bewertet als grüner Kohlrabi (Abbildung 82).

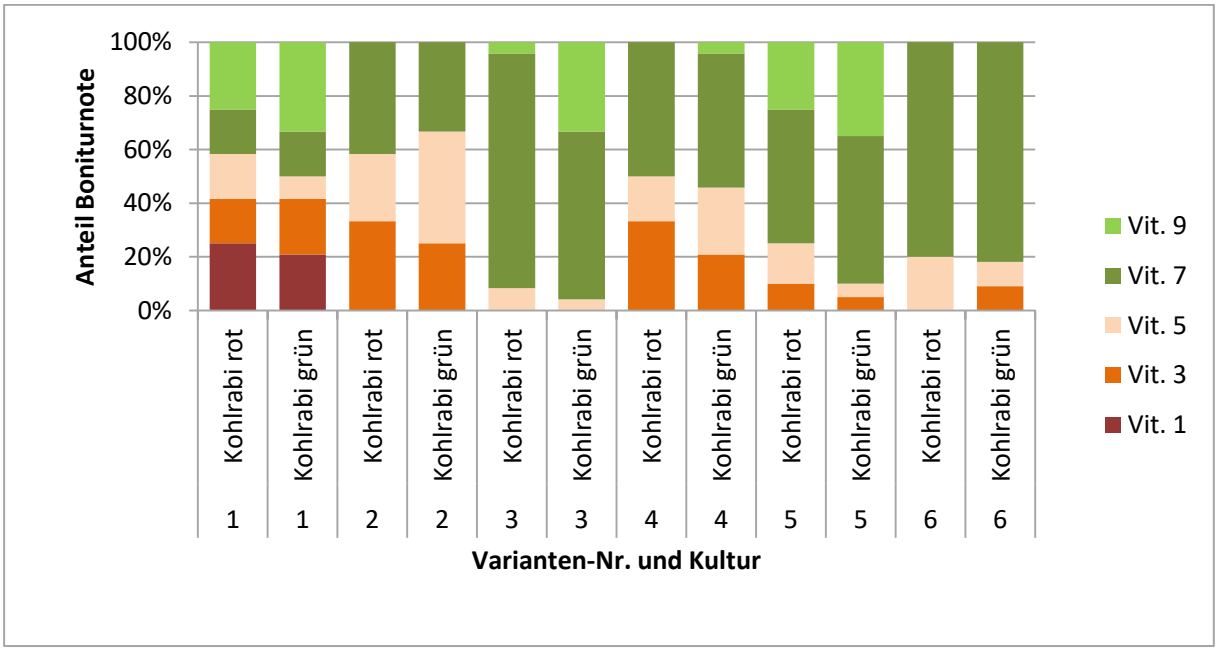


Abbildung 82: Vitalität von Kohlrabi im Sommer 2018 bei den Living Wall Varianten

Die roten, grünen und Mix-Salate im Sommer 2018 entwickelten sich zwischen den Varianten sehr unterschiedlich. Die Salat-Mischung wurde insgesamt mit sehr geringer Vitalität bewertet. Dort gab es auch einzelne Pflanzenausfälle. Auch beim grünen und roten Salat gab es bei Variante 1 stärkere Pflanzenausfälle. Bei System 5 entwickelten sich der rote und grüne Salat sehr gut. Hier gab es nur geringe Mängel. Bei allen anderen Varianten gab es einzelne Mängel in der Pflanzenentwicklung der Salate (Abbildung 83).

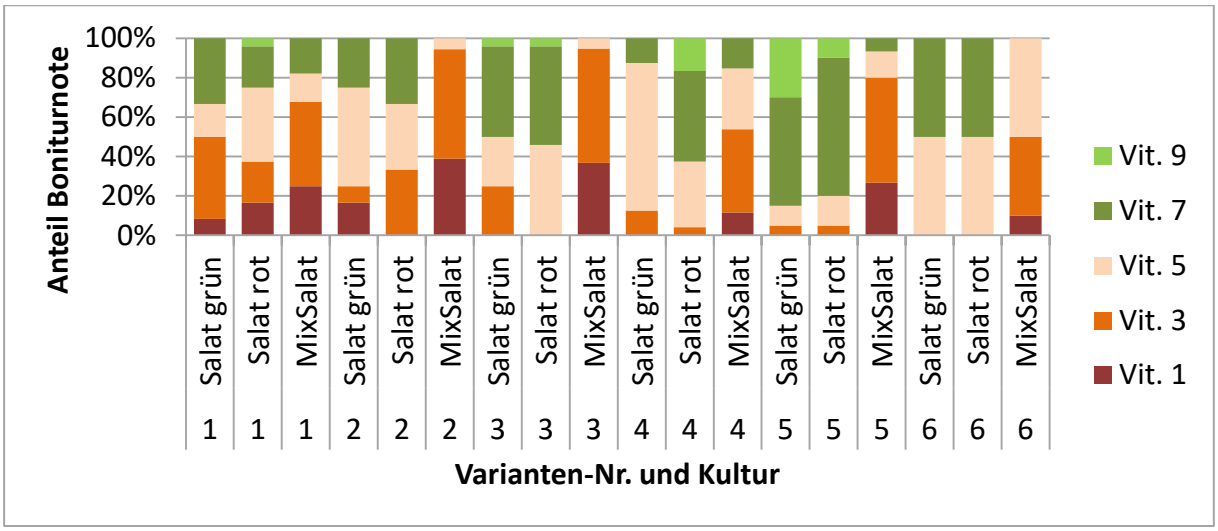


Abbildung 83: Vitalität von Salaten im Sommer 2018 bei den Living Wall Varianten

Bei der Pflanzenentwicklung von Petersilie gab es starke Mängel und Ausfälle bei Variante 1. Auch bei Variante 4 gab es stärkere Mängel. Am besten entwickelte sich die Petersilie bei den Systemen 3, 5 und 6. Zwischen glatter und krauser Petersilie gab es meist kaum Unterschiede in der Vitalität (Abbildung 84).

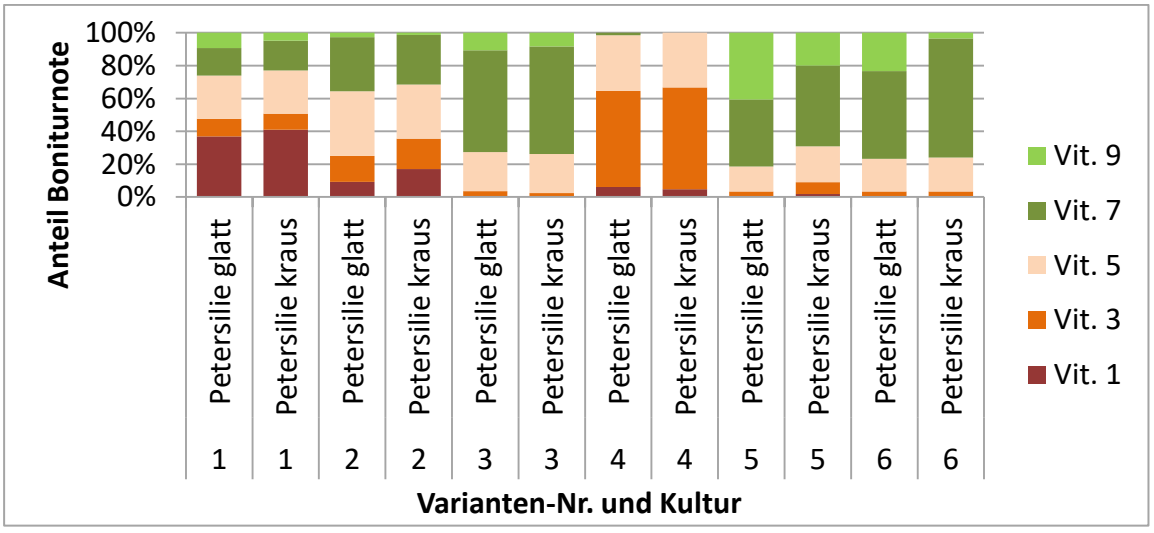


Abbildung 84: Vitalität von Petersilie im Sommer 2018 bei den Living Wall Varianten

Zwischen der Entwicklung von Erdbeeren, Tomaten und Fenchel gab es in den einzelnen Systemen starke Unterschiede (Abbildung 85). Die Erdbeer-Pflanzen in den Wand-Systemen im Sommer 2018 entwickelten sich insgesamt mit starken Mängeln. Hier gab es bei Variante 1, 2 und 4 einige Ausfälle. Diese waren aber teils bereits aufgrund des mangelnden Wiederaustriebs bei den Systemen in Veitshöchheim zu verzeichnen.

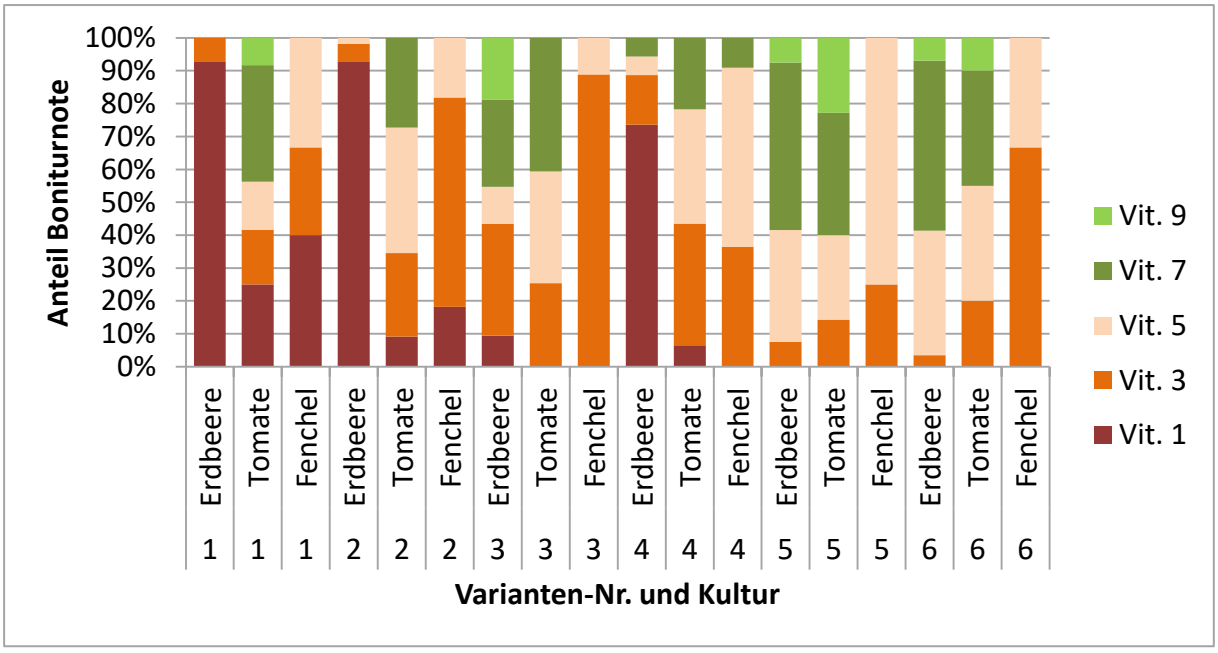


Abbildung 85: Vitalität von Tomaten, Erdbeeren und Fenchel im Sommer 2018 bei den Living Wall Varianten

Auch beim Fenchel zeigten sich im Sommer 2018 stärkere Mängel. Bei Variante 1 und 2 gab es davon einzelne Ausfälle. Die Tomaten entwickelten sich vor allem bei System 5 und 6 in Erlangen gut. Hier wurden rund 50% der Pflanzen mit guter Vitalität bewertet. Auch die frisch gepflanzten Erdbeeren konnten dort gut anwachsen.

3.7.3.3. Erträge der Arten im Jahr 2017

Die Ertragssummen im Jahr 2017 waren zwischen den Systemen unterschiedlich. Während bei Variante 3 (Gabionen) insgesamt rund 7 kg Gemüse je Quadratmeter geerntet wurden, kam es bei den Varianten in Veitshöchheim lediglich zu Erträgen unter 3 kg/m² (Abbildung 86). Bei System 3 wurden allein bei grünem und rotem Romana-Salat je rund 3 kg/m² geerntet. Allerdings waren in System 3 wesentlich mehr Pflanzstellen je Quadratmeter genutzt, als bei den anderen Varianten.

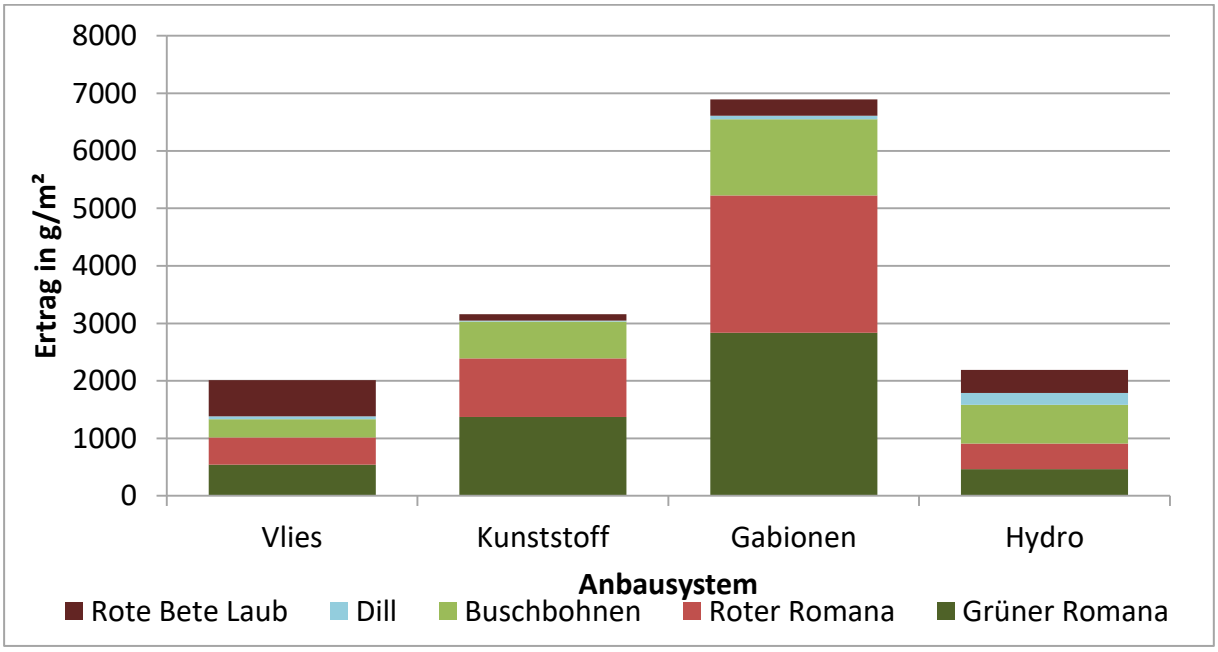


Abbildung 86: Gesamt- Ertrag der Systeme im Sommer 2017

Von Juli bis September 2017 konnten regelmäßig Buschbohnen von den Wand-Systemen geerntet werden. Der mit Abstand höchste Ertrag wurde bei der letzten Ernte von System 3 Ende September festgestellt. Hier wurden allein rund 1,5 kg im gesamten System geerntet (Abbildung 87).

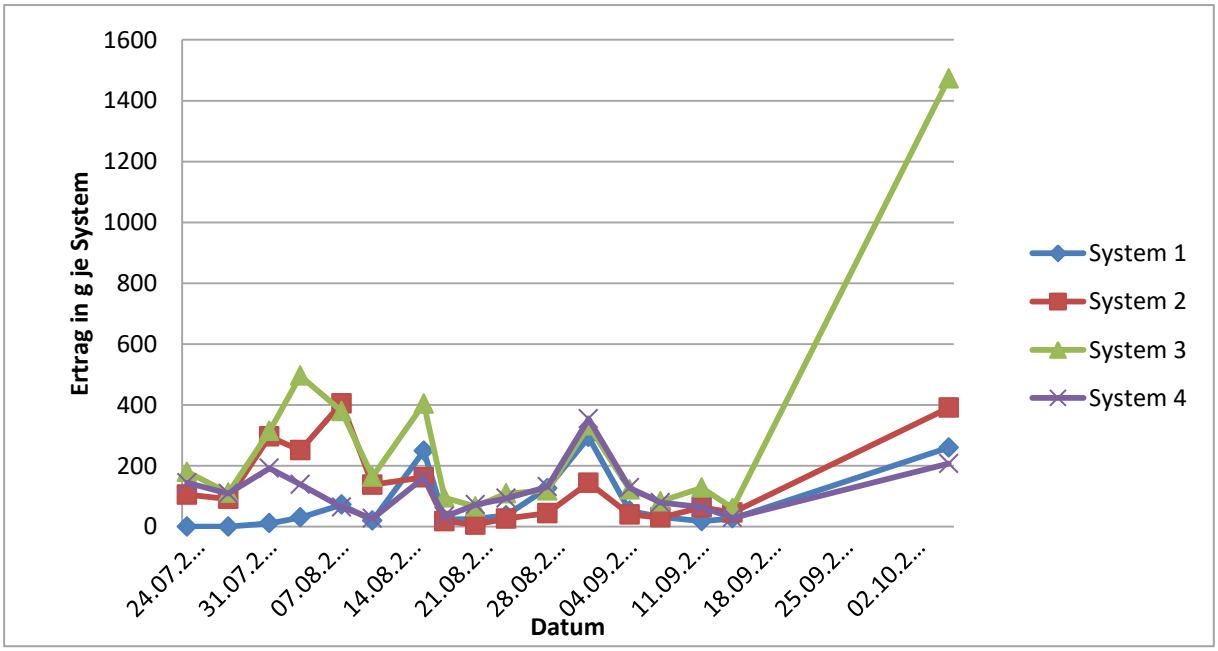


Abbildung 87: Gesamt-Ernte von Buschbohnen im Sommer 2017

Beim Dill wurden lediglich rund 600 g im gesamten System 4 im Sommer 2017 geerntet. Auch bei den anderen Varianten waren es nur wenige Gramm aufgrund der geringen Pflanzenentwicklung (Abbildung 88).

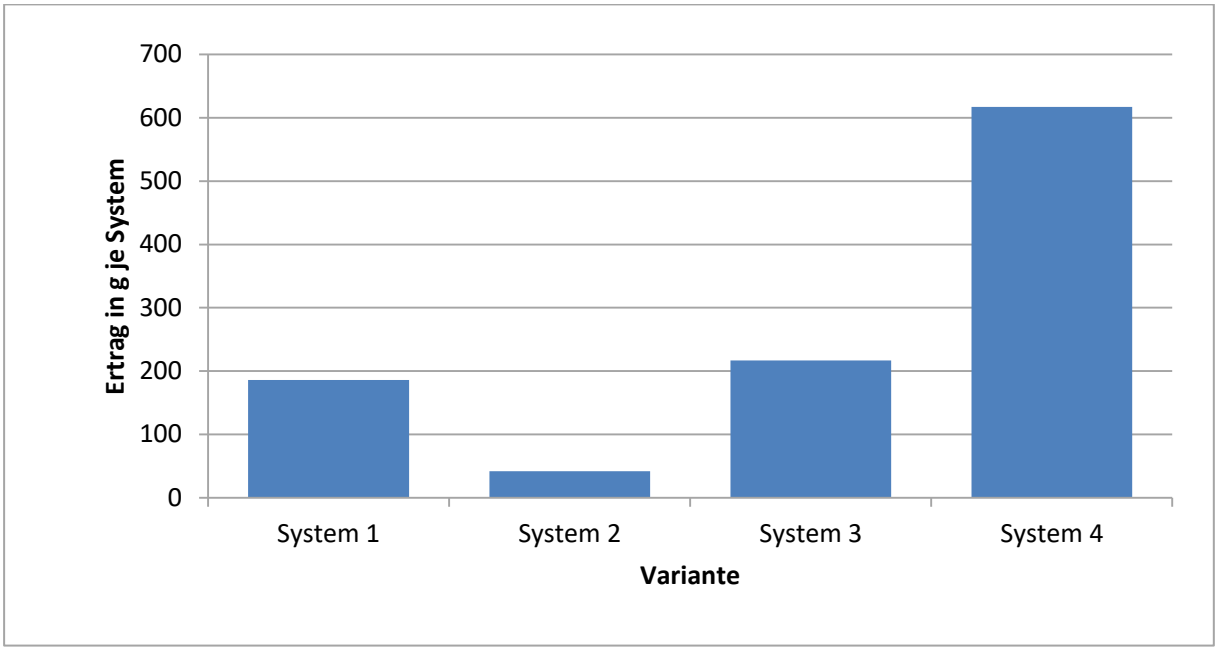


Abbildung 88: Gesamt-Ernte von Dill von August bis Oktober 2017

Bei der Roten Bete im Sommer 2017 konnten keine vermarktungsfähigen Knollen geerntet werden. Die Pflanzenentwicklung war im Oktober nicht weit genug. Dennoch wurde die Pflanzenmasse der Varianten erfasst. Bei System 1 wurden insgesamt rund 2,5 kg Frischmasse gewogen. Bei Variante 3 und 4 lag diese bei rund 1 kg. Bei System 2 konnten weniger als 500 g Frischmasse festgestellt werden (Abbildung 89).

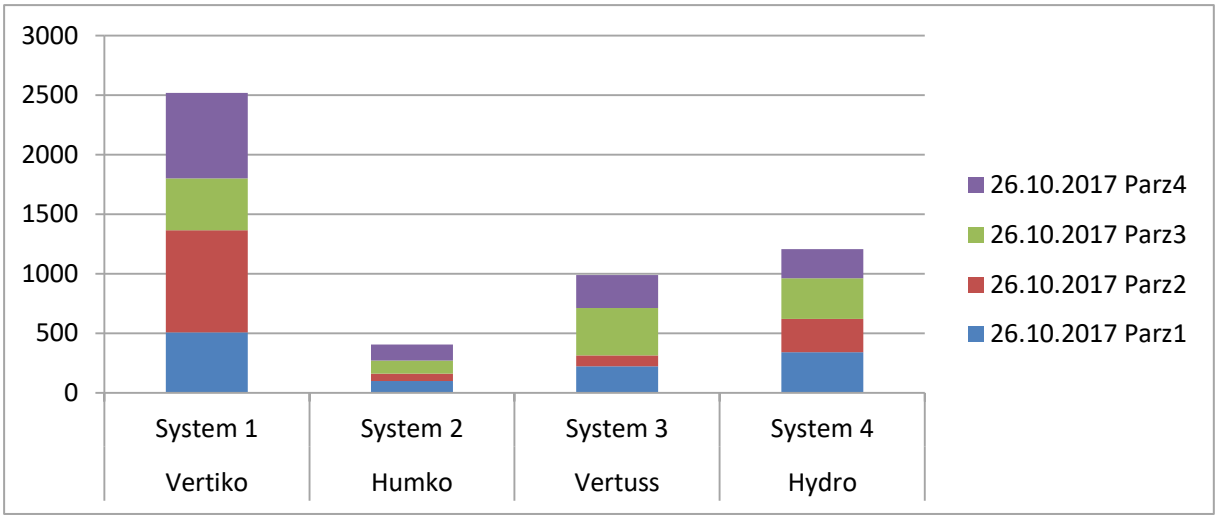


Abbildung 89: Summe der Frischmasse von Rote Bete je System

3.7.3.4. Erträge der Arten im Jahr 2018

Im Sommer 2018 wurden unterschiedliche Frischmasse-Erträge zwischen den Varianten und den Arten festgestellt (Abbildung 90). Die höchste Erntesumme wurde bei System 3 erfasst. Hier wurden über 35 kg Gemüse im Jahr 2018 geerntet. Bei Variante 5 in Erlangen wurden auch fast 30 kg Gemüse geerntet. Bei System 1 war der Ertrag mit rund 22 kg etwas geringer. System 2 wies insgesamt rund 17 kg im Jahr 2017 auf. Bei System 4 waren es nur 10 kg Gemüse. Bei den Paletten wurde am wenigsten geerntet. Hier waren es nur insgesamt 5 kg Gemüse im Jahr 2018. Bei den meisten Varianten war vor allem Kohlrabi und die verschiedenen Salate der höchste Ertrag im Sommer. Auch die Tomaten führten zu hohen Erträgen an der Wand. Bei System 1 wurden sogar über 11 kg Tomaten geerntet. Die Erträge von Erdbeeren, Mix-Salat und Petersilie waren eher gering und lagen je System unter 5 kg.

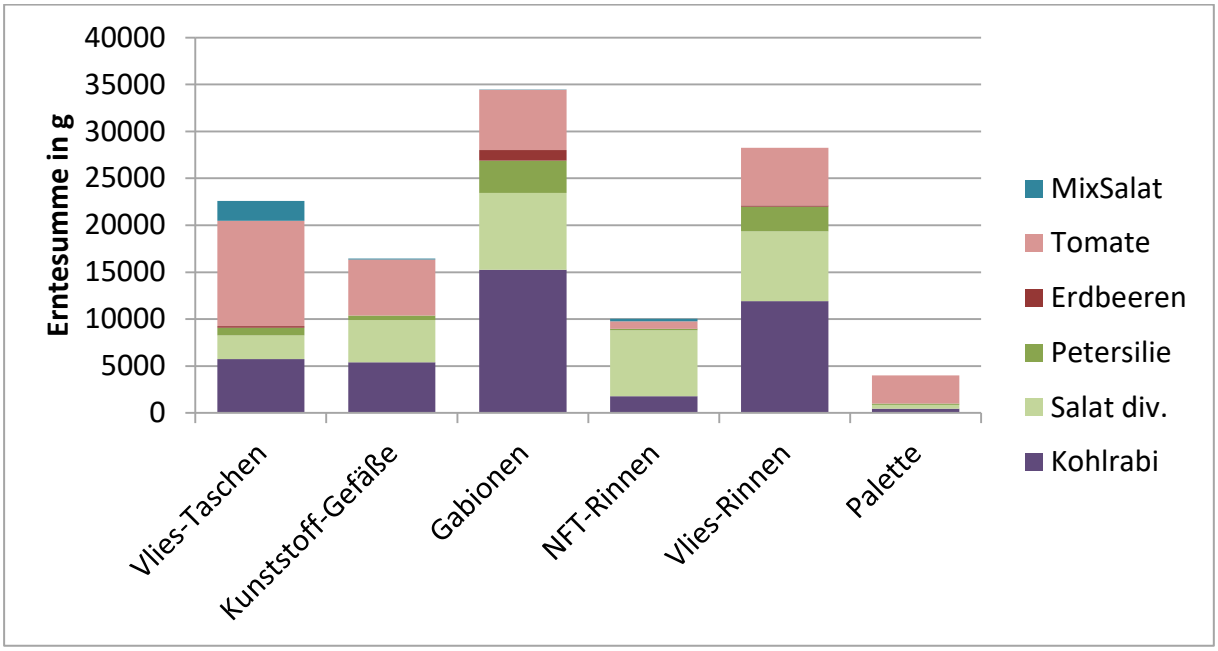


Abbildung 90: Frischmasseerträge im Sommer 2018 je System

3.7.4. Schlussfolgerung

Living Walls Systeme eignen sich generell zur Nahrungsmittelproduktion. Allerdings sind einzelne Systeme bei Ausfall der Bewässerung auch sehr anfällig für sehr schnelle Trockenheit. Die meisten müssen mehrmals täglich bewässert werden. Ohne funktionierte technische Ausstattung (Tropfschläuche mit Pumpe und Zeitschaltuhr/Steuerung, sowie Filter) ist dies für die Gemüseproduktion nicht möglich.

Je nach Bauweise der Begrünungssysteme eignen sich unterschiedliche Pflanzenarten. Mehrjährige Pflanzen wie Kräuter und Erdbeeren können gut in etablierte Systeme zur wandgebundenen Fassadenbegrünung eingesetzt werden. Vor allem trockenheitstolerante Kräuter wie z.B. Thymian bieten hier eine interessante Alternative zur herkömmlichen Stauden-Begrünung. Für die Nutzung mit Gemüsepflanzen, wie z.B. Kohlrabi, Salat und Tomaten, deren Erdpresstöpfe regelmäßig neu gesetzt werden, eignen sich vor allem Rinnensysteme. Dort ist der Austausch von Pflanzen meist leichter möglich. Generell ist die Verwurzelung ein wichtiger Faktor für die Neu-Bepflanzung der Systeme.

Auch beim Einsatz von Nahrungspflanzen sollte auf mögliche Trocken- oder Feuchtstellen im Begrünungssystem geachtet werden. Einzelne Bereiche können so mit eher feuchte- oder trockenheits-liebenden Pflanzen ausgestattet werden. Im Allgemeinen ist ein größeres Puffervolumen durch das Substrat auch ein höherer Wasser- und Nährstoffspeicher und kann möglichen Schwankungen im Witterungsverlauf besser trotzen.

3.7.5. Weiterer Forschungsbedarf

Auf dem Markt gibt es noch viele weitere Systeme zur Vertikalbegrünung. Diese sind meist sehr unterschiedlich aufgebaut. Vor allem zur Kosten-Nutzen-Rechnung sollten weitere Begrünungs-Systeme getestet werden. Durch den Ertrag des Gemüses könnten so die hohen Investitions- und Unterhaltskosten zumindest teilweise kompensiert werden. Auch die Klimawirkung für Umgebung und Gebäude kann sich beim Einsatz von Gemüsepflanzen anders auswirken als bei herkömmlichen Stauden. Dies kann in weiteren Untersuchen vertieft werden.

.

3.8. Tastversuch mit weiteren Living Walls Systemen im Gewächshaus

3.8.1. Zielsetzung

Es sollen weitere Systeme zur Vertikalbegrünung mit Nahrungspflanzen getestet werden. Auch zur Demonstration für Besucher und Interessierte sollen verschiedene Systeme und deren Potenziale aufgezeigt werden. Im Winterbetrieb sollen mit Zusatzbelichtung erste Möglichkeiten mit den verwendeten Systemen erprobt werden.

3.8.2. Material und Methode

Im klimatisierten Gewächshaus des Instituts für Stadtgrün und Landschaftsbau wurden im Winter 2018 drei verschiedene Systeme installiert. Diese sind ganz unterschiedlich aufgebaut (Tabelle 21). System 1 ist eine textile Matte des Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.. Variante 2 ist das patentierte hydroponische System Hydro Profi Line der Firma G.K.R. in München. Variante 3 ist das System Bright Agrotech (USA) das für die Nutzung zum „vertical farming“ beworben wird. Alle Varianten hatten eine Versuchsgröße von etwa 1 m² und wurden auf einer Kunststoffpalette senkrecht montiert bzw. an Balken befestigt. Bei Variante 1 und 3 waren Pumpen installiert und ein Wassertank für eine Kreislaufnutzung. Bei Variante 2 war baubedingt lediglich ein Schwimmer zur Anzeige des Wasserstandes im Gefäß vorhanden.

Tabelle 21: Versuchsvarianten der Vertikal-Systeme

Variante	System und Aufbau im Versuch
Var. 1	STFI (Sächsisches Textilinstitut), Vlies-System: mit zeitgesteuerter Bewässerung/Pumpe
Var. 2	GKR Hydro Profi Line, hydroponisches System mit Blähton und Dachsubstrat, Wasserspeicher
Var. 3	ZipGrow, Bright Agrotech (Refarmers), Hydroponisches System mit Kunststoffmedium, Vlies, mit zeitgesteuerter Bewässerung/Pumpe, Belichtung der Reihe 2 mit LED (vgl. Versuch der TUM/Dürnast)

Alle Varianten wurden durch diffuses Licht von Natriumdampf-Lampen belichtet. Bei Variante 3 wurde ein kleiner Teil des Systems mit LED-Leuchtmitteln zusätzlich ausgestattet. Der Versuchsaufbau war teils ähnlich zu einem Forschungsvorhaben zur Agricultural Lighting Facade der Technischen Universität München [6]. Deshalb wurde an der LWG an einer kleinen Parzelle der Variante 3 auch ein LED-Leuchtmittel getestet.

Die Systeme wurden mit Kopfsalat, rotem Eichblatt und verschiedenem Gemüsesaatgut ausgestattet. Variante 1 wurde zu Versuchsbeginn noch auf einem Anstau-Tisch von oben bewässert (Bild 51). Nach wenigen Tagen wurde das Textil auch in die Vertikale gehängt. Das Edelstahl-Gefäß-System hatte einen Wasserstandsanzeiger und keine weitere Bewässerung (Bild 52). Beim Kunststoffsystem der Variante 3 wurden die Kunststoff-Gitter mit Jungpflanzen bestückt und dann in das System geschoben. (Bild 53)

Bild 51: Vlies-System im Dezember 2018 kurz nach der Aussaat/Pflanzung

Bild 52: Edelstahl-System im Dezember 2018 kurz nach der Aussaat/Pflanzung

Bild 53: Kunststoff-System im Dezember 2018 wenige Tage nach der Aussaat/Pflanzung

Im Versuchsverlauf wurden regelmäßig Düngungen und Anpassungen der Bewässerung durchgeführt (Tabelle 22). Dabei kamen herkömmliche Wasserlösliche Dünger bei Variante 1 und 2 zum Einsatz. Bei Variante 3 wurde ein spezieller Dünger des System-Herstellers genutzt.

Tabelle 22: Versuchsverlauf bei den Vertikalen Systemen im Gewächshaus im Winter 2018/2019

Datum	Aktion
05.12.2018	Aufbau Systeme + Pflanzung Kopfsalat, roter Eichblatt, Aussaat Wilde Rauke, Winterkresse, Winterpostelein
12.12.2018	Keimung
13.12.2018	Düngung GKR: je Reihe ca. 40 g Ferty 2, STFI: ca. 25 g Ferty 2 in Wassertank (ohne Pflanzen), ZipGrow: ca. 30 g Grow-Dünger in Wasser
17.12.2018	Aufhängen STFI-System (+Nachpflanzen 2 Salate), Auffüllen Wassertank STFI, ZipGrow ca. 5 Liter, 7xtäglich 5 Min bei beiden Systemen Bewässerung an
18.12.2018	Messung Licht ZipGrow Reihe mit LED um 11 Uhr: 60 µmol oben, 45 µmol unten LED Betrieb bei Var. 3 über 2h25 morgens und abends, mittags 1h (Summe 5 h50min)
07.01.2019	Nach etwa 10 Tagen Dauer-Bewässerung bei ZipGrow: Umstellung Bewässerung auf 6x 10min täglich
09.01.2019	Düngung GKR: je Reihe ca. 40 g Ferty 2, STFI: ca. 50 g Ferty 2 in Wassertank, ZipGrow: 20 g Grow-Dünger in Wasser

3.8.3. Ergebnisse

Die Pflanzen konnten in den Systemen gut anwachsen. Beim Vlies-System konnte nahezu die komplette Fläche durch die Pflanzen abgedeckt werden (Bild 54). Vor allem auch bei Variante 2 (Edelstahl) kam es zu einem kräftigen Wuchs der Salate (Bild 55). Die Entwicklung des Gemüsesaatgutes war nur teilweise positiv. Wenige Tage nach Versuchsbeginn gab es auch einen Mangel an der Bewässerung. Dadurch gingen einzelne Pflanzen bei Variante 1 und 3 ein. Beim Kunststoff-Rinnen-System (Variante 3) blieb die eine Reihe, die mit Saatgut bestückt wurde, komplett leer (Bild 56).

Bild 54: Vlies-System am 17.01.2019

Bild 55: Edelstahl-System am 17.01.2019

Bild 56: Kunststoff-System am 17.01.2019

Bei den unterschiedlichen Varianten wurden rund 300 g Kopfsalat je System geerntet (Abbildung 91). Allerdings war zu Versuchsende bei allen Varianten ein starker Befall mit Blattläusen zu verzeichnen. Bei Variante 3 (Kunststoff-System) wurde noch etwas mehr Kopfsalat geerntet. Die mit LED zusätzlich belichtete Variante wies hier ein paar Gramm mehr Kopfsalat auf.

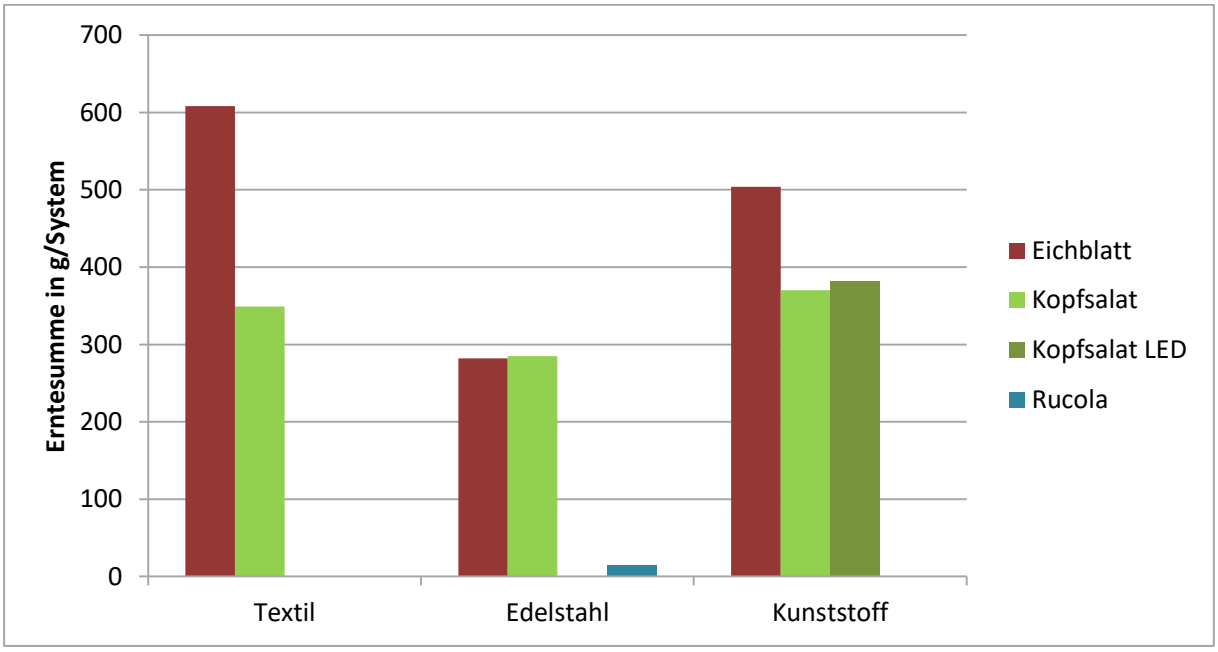


Abbildung 91: Gesamterträge der Salate in den vertikalen Systemen im Gewächshaus im Winter 2018/2019

Die höchste Menge roter Eichblatt wurde beim textilen System geerntet. Hier waren es rund 600 g. Bei System 3 waren es etwas weniger. Im Edelstahl-Gefäß waren es nur rund 300 g roter Eichblatt. Allerdings konnte dort sogar Rucola geerntet werden. Dieser entwickelte sich dort sehr gut, da es nach der Aussaat keinen Bewässerungsausfall bei Variante 2 gab. Dieses System funktioniert ohne weitere Technik zur Bewässerung und ist mit ausreichend Puffer ausgestattet.

3.8.4. Schlussfolgerungen

Verschiedene Bauweisen zur vertikalen Nahrungsmittelproduktion bieten bereits im Innenraum eine interessante Möglichkeit. Bei erhöhtem technischem Einsatz sind diese Systeme leichter anfällig für Ausfälle. Während im Innenraum keine starken Witterungseinflüsse sind, können technische Probleme im Außenraum schnell zu Totalausfällen führen. Dennoch können (Gemüse-)Pflanzen auch in vermeintlich schwierigen Systemen sehr schnell anwachsen und sich etablieren. Sowohl in Vlies als auch in Kunststofffasern können sich die Pflanzen gut entwickeln. Vor allem für Gemüse sind austauschbare Systeme mit Gefäßen oder Rinnen von Vorteil. Auch im Hinblick auf die Nutzung für den Fremdbedarf können solche Systeme eingesetzt werden. Auf dem Markt ist eine Vielfalt an Systemen zur Vertikalen Produktion verfügbar. Es gilt diese für den speziellen Einsatz auch weiter zu erproben.

3.8.5. Weiterer Forschungsbedarf

Die im Innenraum getesteten Systeme sollen auch im Außenraum untersucht werden. Auch weitere Systeme zur vertikalen Produktion sind eine interessante Möglichkeit.

Auch im Hinblick auf das aktuell öffentlich interessante Thema „Vertical Farming“ können weitere Versuche gestartet werden. Im Innenraum sind weitere Intensivierungen der vertikalen Systeme möglich. Dort ist sowohl die Produktion für den Eigen- als auch für den Fremdbedarf möglich.

3.9. Urban Gardening Demonstrationsgarten Mittelfranken

3.9.1. Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes „Lust auf Gemüse in der Stadt“ soll eine Urban Gardening Demonstrationsfläche im Ballungsraum Nürnberg/Fürth/Erlangen entstehen. Vor allem die Zielgruppe der jungen Erwachsenen soll erreicht werden und zum Gärtnern in der Stadt animiert werden. Der Umgang mit Erde und Pflanzen, das Wiedererlernen gärtnerischer Fähigkeiten sowie das Kennenlernen alter und neuer Gemüsesorten können zu einer Erhöhung der Wertschätzung von Lebensmitteln und der Gemüseproduktion beitragen. Die Nähe zum Knoblauchsland soll in der Metropolregion für das Projekt genutzt werden.

3.9.2. Material und Methode

Im Jahr 2017 wurden bereits mit dem AELF Fürth (Bereich Forsten) Besprechungen zur Umsetzung des Vorhabens durchgeführt. Dabei wurde ein Urban Gardening Logo, sowie Icons für verschiedene Themenfelder beauftragt und umgesetzt.

Im Herbst und Winter 2017/18 wurde die Außenfläche des Forstamtes Erlangen (Universitätsstraße) umgestaltet und mit verschiedenen Systemen zum Urban Gardening ausgestattet (Bild 57 und Bild 58). Dabei wurden verschiedene Themen umgesetzt: Vertikales Gärtnern (Bild 59, siehe auch Kapitel 3.7), Hochbeete (Bild 60), Mobiles Gärtnern (Bild 61), Hydroponik (Bild 62) und Pflanzturm (Bild 63). Für alle Themenfelder wurden Flyer erstellt und Schilder an den Demonstrationsobjekten platziert.

Bild 57: Forstamt Erlangen vor der Umgestaltung

Bild 58: Urban Gardening Demonstrationsgarten im April 2018

Bild 59: Vertikales Gärtnern am Urban Gardening Demonstrationsgarten Erlangen

Bei den meisten Systemen wurde ein professionelles und eines zum Do-It-Yourself-Aufbau installiert. So wurde zum vertikalen Gärtnern z.B. eine Firma mit einem System beauftragt und als zweites System ein Palettengarten durch den Versuchsbetrieb installiert. Im Sommer 2019 wurde noch ein Vertikales Balkon-System installiert.

Bild 60: Hochbeet mit Info-Tafeln im Demo-Garten

Bild 61: Kistengarten und Säcke als Themenfeld Mobiles Gärtnern

Bild 62: Hydroponik mit Info-Tafel am Demo-Garten

Für den Weiterbetrieb im Jahr 2019 wurden weitere Themenfelder im Demonstrationsgarten hinzugefügt. Es wurde unter anderem eine Blütenmischung angesät um das Thema Biodiversität zu präsentieren (Bild 64). Ein Terrabioponik-System wurde installiert. Mit dieser Methode wird in Gefäßen auch das biologische Gärtnern durch Kompostierung möglich. Zudem wurde ein Aquaponik-System leihweise angeschafft. Dort ist zusehen wie Fische zur Düngung von Pflanzen genutzt werden (Bild 65).

Bild 63: Pflanzturm

Bild 64: Ansaat „Leuchtfeuer“ mit Informationstafeln zur Biodiversität

Bild 65: Systeme zur Terrabioponik und Aquaponik im Demonstrationsgarten

3.9.3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Der Urban Gardening Demonstrationsgarten in Erlangen stieß bei den Passanten auf großes Interesse. Bereits nach wenigen Wochen waren mehrere Tausend Flyer ver-

teilt und mussten bereits nachgedruckt werden. Die in Erlangen angestellte Hilfskraft wird auch während der Arbeiten im Garten regelmäßig von Besuchern zu den verschiedenen Themenfeldern gefragt. Vor allem Hydroponik und Vertikales Gärtnern stößt bei den jungen Erwachsenen auf großes Interesse.

Durch den Schaugarten kann somit die Bevölkerung in der Stadt besonders gut erreicht werden. Sowohl die Fachpresse als auch die Tagespresse präsentierten das Vorhaben in Artikeln.

3.9.4. Weiterer Bedarf an Demonstrationsgärten

In einem neuen Projekt können von 2019 bis 2022 weitere Urban Gardening Demonstrationsgärten in allen Bayerischen Regierungsbezirken entstehen. Somit kann auch in anderen Regionen die städtische Bevölkerung erfahren und entdecken, welche Methoden zum Anbau von Gemüse in der Stadt möglich sind. Dies schafft auch eine erhöhte Wertschätzung für regionale Lebensmittel in ganz Bayern.

4. Ausblick: Offene Fragestellungen

4.1. Vergleich von Living Walls

- Wie ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis von unterschiedlichen Systemen zur Vertikalbegrünung und mit unterschiedlichen Arten?
- Welche Klimawirkung ergibt sich durch unterschiedliche Pflanzenarten an der Wand?
- Welche Chancen und Risiken ergeben sich bei dem „Urban Gardening“ an wandgebundenen Fassadenbegrünungen?

4.2. Wirkung und Nutzen Dachgemüse

- Welche Kosten entstehen bei spezifischen Größen von Dachflächen für die Nutzung der Gemüseproduktion im geschlossenen Kreislauf?
- Welche klimatische Wirkung hat die Begrünung mit Gemüsepflanzen im Vergleich zu einer herkömmlichen extensiven Dachbegrünung?

4.3. „Urban Gardening“ an verschiedenen Standorten

- Welche Schadstoffe treten bei der Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen im Siedlungsbereich auf?
- Welche weiteren Kontaminationen können die innere Gemüsequalität beeinträchtigen?
- Wie kann Urban Gardening zur verbesserten Wertschätzung der regionalen Nahrungsmittelproduktion beitragen?

5. Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit

5.1. Vorträge

Demling, F: Gemüse vom Dach , Tagung: Vermarktung – Ideen und Konzepte, LVG, Heidelberg, 16.11.2016

Eppel, J.: Urban Gardening – Techniken, Materialien und Lösungen, Fachtagung Urban Gardening-Potenziale für moderne Stadtentwicklungen, Veitshöchheim, 08.11.2016

Demling, F.: Anbausysteme zur dünnschichtigen Dachbegrünung mit Gemüse, DGG & BHGL Jahrestagung an der Hochschule Osnabrück, Osnabrück, 01.-04.03.2017.

Demling, F.: Grüne Infrastruktur und Stadtgärten – Möglichkeiten und Chancen im Zeichen der Nachverdichtung, AKU-Kreisverband Erding, 05.04.2017.

Demling, F.: Food production on greening of roofs and facades, ISHS International Symposium for more efficient ecosystem services in a climate changing world, University of Bologna (IT), 12.09.2017.

Demling, F.: Urban Farming – Urban Gardening: Zwischen Lifestyle, Trend und echten Potenzialen der lokalen Nahversorgung in Eigengestaltung, DGNB Consultanttag, München, 16.10.2017.

Demling, F.: Dach- und Fassadenbegrünung mit Nahrungspflanzen, 4. Fachtagung der Gartenakademie Baden-Württemberg: Dach- und Fassadenbegrünung – aktuelle Erkenntnisse und Entwicklungen, Stuttgart, 30.11.2017.

Demling, F.: Trend Urban Gardening, KV Gartenbau und Landespflege Bad Kissingen, 27.01.2018.

Bohl, J., Demling, F., Eppel, J.: Grüne Klimafassaden – Utopie und Wirklichkeit, 50. Landespflegetage, Mainfrankensäle Veitshöchheim, 20.02.2018.

Demling, F.: Living Walls Systeme zur Gemüseproduktion, 52. DGG-Jahrestagung, Hochschule Geisenheim University, 01.03.2019.

Demling, F.: Urban Gardening mit Mischkulturen auf dünnschichtigen Dachbegrünungen, 52. DGG-Jahrestagung, Hochschule Geisenheim University, 01.03.2019.

Demling, F.: Gemüse von Dach und Fassade, Forschungstag Institut für Stadtgrün und Landschaftsbau der LWG, 08.10.2018

Demling, F.: Diskussion „Urbane Landwirtschaft in der Stadt von morgen“ beim „Stadt für alle“ Festival in der Kulturwerkstatt auf AEG, Nürnberg, 30.05.2018.

Demling, F.: Kurzvorstellung Vertikales Gärtnern bei der Eröffnung des Urban Gardening Schaugartens am Forstamt Erlangen, 20.04.2018.

Demling, F.: Nährstoffversorgung von Nahrungspflanzen auf Systemen zur dünnschichtigen Dachbegrünung auf der 53. DGG-Jahrestagung bei der Humboldt-Universität zu Berlin am 08.03.2019.

Demling, F.: Ideen für Gemüse auf Dach und Fassade, Fachtagung Urban Gardening „Stadt grün erleben, Genuss ernten“ der LWG am 20.03.2019, Mainfrankensäle Veitshöchheim.

5.2. Fachpublikationen

Demling, F., 2016: „Urban Gardening“ auf Dachmodellen Extensiver Dachbegrünung, Versuche in der Landespflege 2016, Nr. 4, FLL e.V., Bonn (Hrsg.).

Demling, F., 2016: Dachbegrünung – Urban Gardening – Lifestyle oder zukünftige Überlebensstrategie? , Tierblättla Franken, 28/16, S.14.

Demling, F., 2016: Gemüse auf Dach und Fassade – Die technische Ausstattung, Tierblättla Franken 29/16, S.18.

Demling, F., 2016: Gemüse auf Dach und Fassade – Ganzjährige Ernte und Kulturschutz, Tierblättla Franken 30/16, S.18

Demling, F., 2016: Urban Gardening auf dem Dach, bi GaLaBau 7/2016, S.62-64.

Demling, F., 2016: Anbauplanung für das Gemüsejahr – Ein breitgefächertes Spektrum erleichtert die Auswahl, Tierblättla Franken 31/16, S.7.

Demling, F., 2016: Alles Gute kommt von oben –Gemüse vom Dach, URL: http://www.lwg.bayern.de/landespflege/gartendokumente/fachartikel/137394/index.php

Demling, F., 2017: Nahrungsmittelproduktion auf Dach- und Fassadenbegrünungen, Posterbeitrag beim WGIC, Berlin, 20.-22.06.2017.

Demling, F., 2017: Neues System für Gemüse in der Stadt, Schule und Beratung 1-2/2017, S.8-11.

Demling, F., 2017: Klimawirkung und Ökologie der essbaren Gebäudebegrünung, Tierblättla Franken 32/2017, S. 11.

Demling, F., 2018: Merkblatt „Urban Gardening-Vertikales Gärtnern“.

Bohl, J., Demling, F., Eppel, J., 2018: Grüne Klimafassaden – Utopie und Wirklichkeit, Veitshöchheimer Berichte 183, S.45-53.

Demling, F., 2018: Urban Gardening mit Fassadenbegrünung, Versuche in der Landespflege 2018, FLL (Hrsg.)

Demling, F., 2018: Untersuchung unterschiedlicher Anbausysteme und Gemüse-Mischpflanzungen für dünnschichtige Dachbegrünungen, Versuche in der Landespflege 2018, FLL (Hrsg.).

Demling, F., 2018: Info-Schrift „Vertikaler Gemüseanbau“, Garten-Info des Bayerischen Landesverbands für Gartenbau und Landespflege im Zuge der Landesgartenschau Würzburg 2018

Dr. Becker, A., Demling, F., Holm G., 2018: Lust auf Gemüse in der Stadt?, Schule und Beratung 11/12 2018, S. 53-33.

Demling, F. 2018: Food Production on greening of roofs and facades, Proceeding der Acta Horticulturae 1215, S.171-174.

Demling, F., 2018: Zwischenbericht Urban Gardening, 01.07.2018

Demling, F., 2018: Klimamäßigende Nahrungsmittelproduktion auf Systemen zur Dach- und Fassadenbegrünung, Poster auf dem FLL-Forschungsforum Landschaft 2018 am 22.02.2018.

Demling, F:, Eppel, J., 2019: Gemüse auf dem Dach, Merkblatt, 2., überarbeitete Auflage, LWG (Hrsg.).

Demling, F., 2019: Umnutzung vorhandener Systeme der Dach- und Fassadenbegrünung zur Nahrungsmittelproduktion, Poster auf dem Global Food Summit 2019 „Foodtropolis“ vom 20.-21.03.2019 in der Residenz München.

5.3. Ausstellungen

Ausstellungsbeitrag „Bewässerung von Gemüse auf Dach und Feld“, Wissenschaftstage, München, 12.-15.11.2016

Ausstellungsbeitrag „Gemüse auf dem Dach“, Fachtagung „Urban Gardening – Potenziale für moderne Stadtentwicklungen“, Mainfrankensäle Veitshöchheim, 08.11.2016

Ausstellungsbeitrag „StadtNatur“ auf dem Klimamarkt der Stadt Würzburg, Marktplatz Würzburg, 29.04.2017

Ausstellungsbeitrag „Urban Gardening“ bei der Amtseinweihung des AELF in Fürth, 12.05.2017.

Ausstellungsbeitrag „Urban Gardening“ beim Tag der offenen Tür des AELF Fürth, am 14.05.2017.

Ausstellungsbeitrag „Urban Gardening“ auf der Messe „Green Fair“, Posthalle Würzburg am 20.-21.05.2017.

Ausstellung mit dem Infomobil auf dem Hoffest des StMELF, München, 21.07.-24.07.2017.

Ausstellung „Klimamäßigung durch Landespflege“ beim Tag der offenen Tür der LWG, Veitshöchheim am 02.07.2017.

Ausstellung „Lust auf Gemüse in der Stadt: Hydroponik und andere bodenunabhängige Systeme zum Gemüseanbau“, Zukunftsmarkt, Fürth, 14.10.2017.

Ausstellung „StadtNatur &Urbanes Grün“ auf dem Klimamarkt Würzburg, Marktplatz Würzburg, 28.04.2018.

Ausstellung „Urban Gardening auf Dächern und Fassaden“ beim Tag der offenen Tür im Knoblauchsland am 06.05.2018.

Ausstellung „Stadtgrün und Landschaftsbau“ beim Festival „Fürth im Übermorgen“ a im Stadtpark Fürth, 14.-15.07.2018.

Ausstellung „Urban Gardening und Grüne Smoothies“ beim Ausstellungsbeitrag StMELF auf der Landesgartenschau Würzburg vom 13.-16.08.2018.

Ausstellung „Urban Gardening“ auf der Fachtagung Urban Gardening „Stadt grün erleben, Genuss ernten“ am 20.03.2019, Mainfrankensäle Veitshöchheim.

5.4. Presse, Rundfunk, Fernsehen

Antenne Bayern, 2017: Vertikale Gemüsebeete – Pilotprojekt startet in Veitshöchheim, Radiobeitrag und Internetseite, https://www.antenne.de/nachrichten/bayernreporter/vertikale-gemuesebeete-veitshoechheim , 07.06.2017

Bayerischer Rundfunk, 2016: Dachgemüse – Gemüseanbau auf dem Dach, Fernsehbeitrag, Sendung „Unser Land“, Bayerisches Fernsehen am 19.08.2016.

Bayerischer Rundfunk, 2017: Vertikaler Gemüseanbau in Veitshöchheim, Fernsehbeitrag Sendung Frankenschau aktuell am 06.06.2017

Bayerischer Rundfunk, 2018: Grüne Wände, Fernsehbeitrag Sendung Querbeet am 25.06.2018

Bayerischer Rundfunk, 2018: Gemüse auf dem Dach, Fernsehbeitrag Sendung Rundschau am 05.10.2018

Bayerischer Rundfunk, 2019: „Urban Farming“, Interview beim Radiosender Bayern 2 in der Sendung IQ – Wissenschaft und Forschung und im Podcast am 22.03.2019.

Demling, F., Leopoldseder, T., 2017: Gemüse wächst auch vertikal, TASPO 48/2017, S.7.

Drechsel, M., 2018: Alles Gute kommt von oben?! – Ernte vom Gemüsedach“, Pressemitteilung am 28.09.2018:

Drechsel, M., 2018: „Demling vom Dach“ – Erntezeit in luftiger Höhe, Pressemitteilung am 19.10.2018.

Drechsel, M., 2018: „Urban Gardening – Ein Gartenjahr geht zu Ende“, Pressemitteilung am 15.11.2018.

Echo Rosenheim, 2019: Radieschen und Salat auf dem Dach? , Presseartikel am 16.01.2019

Funkhaus Würzburg, 2018: Internetseite und Radiobeitrag zur Landwirtschaft der Zukunft, Januar 2018.

Mainpost, 2018: „Demling vom Dach“, 23.10.2018

Mainpost, 2018: Sehnsucht nach Grün statt Grau am 08.03.2018

TVTouring, 2017: Bericht vom Klimamarkt Würzburg am 02.05.2017.

Volksblatt Würzburg, 2017: Gemüse wächst an der Wand, 21.06.2017

Youtube Kanal StMELF, Video „Urban Gardening: Vertikales Gärtnern” am 26.06.2018.

6. Literatur

[1] DBV Deutscher Bauerverband: Situationsbericht 2014-Gr12-1

[2] BUGG, Bundesweite Strategie Gebäudegrün, URL: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-allgemein/Bundesweite_Strategie_Gebaeudegruen_06-2015.pdf

[3] Mattehus-Staack E., 2006: Taschenatlas Gemüse, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

[4] FLL, Dachbegrünungsrichtlinie, 2018.

[5] Bayernatlas, URL: https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122&E=566556.49&N=5518043.87&zoom=7

[6] TUM, Forschungsvorhaben Agricultural Lighting Design, URL: https://www.ar.tum.de/en/ari/research/projects/016/

7. Zusammenarbeit

- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fürth: Urban Gardening Demonstrationsgarten am Forstamt Erlangen
- Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern), Magdalene-Schoch-Straße 3, 97074 Würzburg: Versuchsdach bei der Klima-Forschungs-Station.
- Hochschule Bonn-Rhein-Sieg: Masterarbeit Fr. Rawan Alomari „Gemüse vom Dach“
- Landesgewerbeanstalt Bayern, Standort Würzburg, Dreikronenstraße 31, 97082 Würzburg: Dachfläche für Versuchsvorhaben (50 m²)
- Landesverband für Gartenbau und Landespflege Bayern: Unterstützung auf der Landesgartenschau Würzburg 2018
- Technische Universität München, Professur für Green Technologies in Landscape Architecture: Austausch zu Systemen zum vertikalen Gemüseanbau (Indoor)

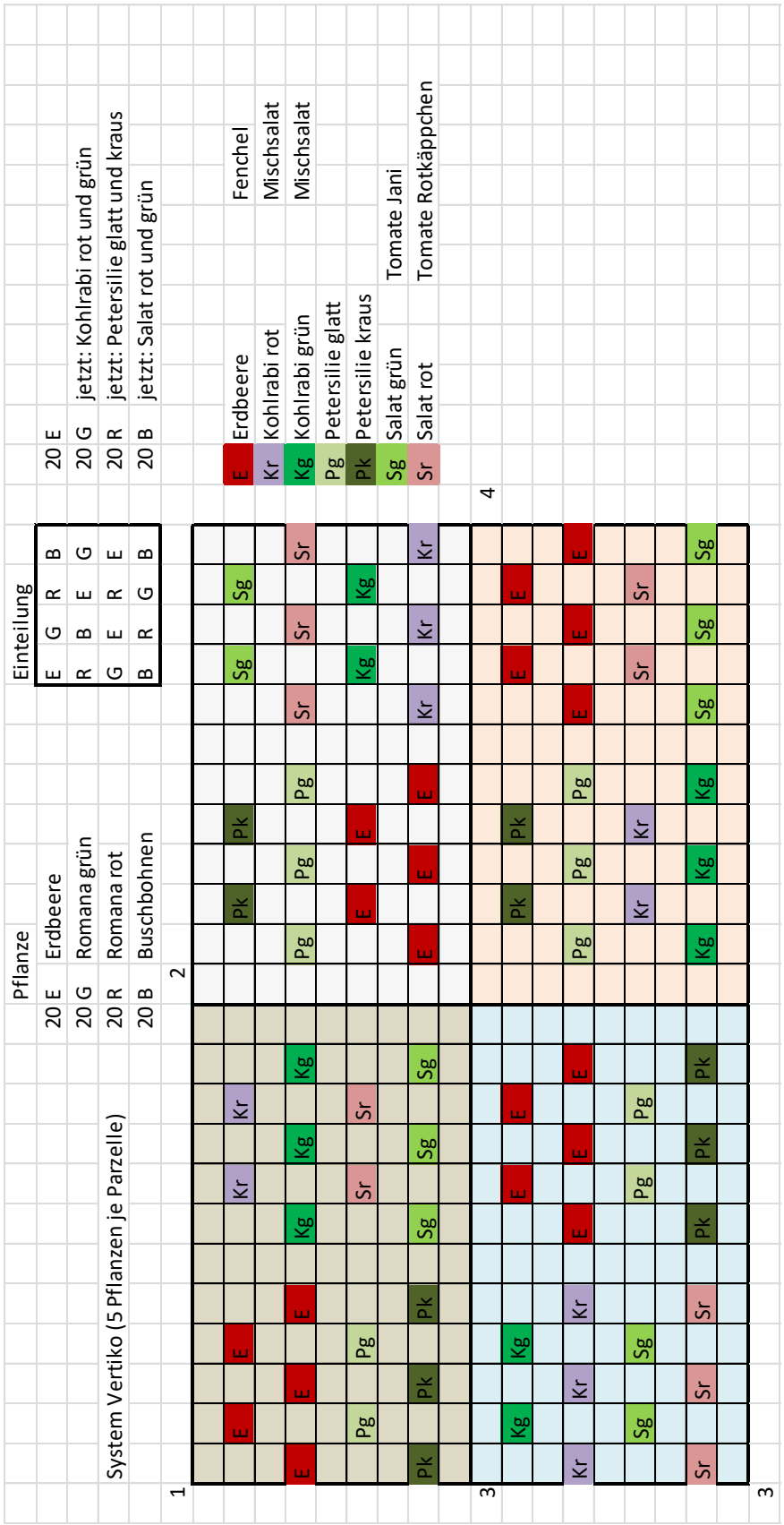
8. Anhang

Anhang 1: Versuchsverlauf bei den Living Walls Systemen an den beiden Standorten

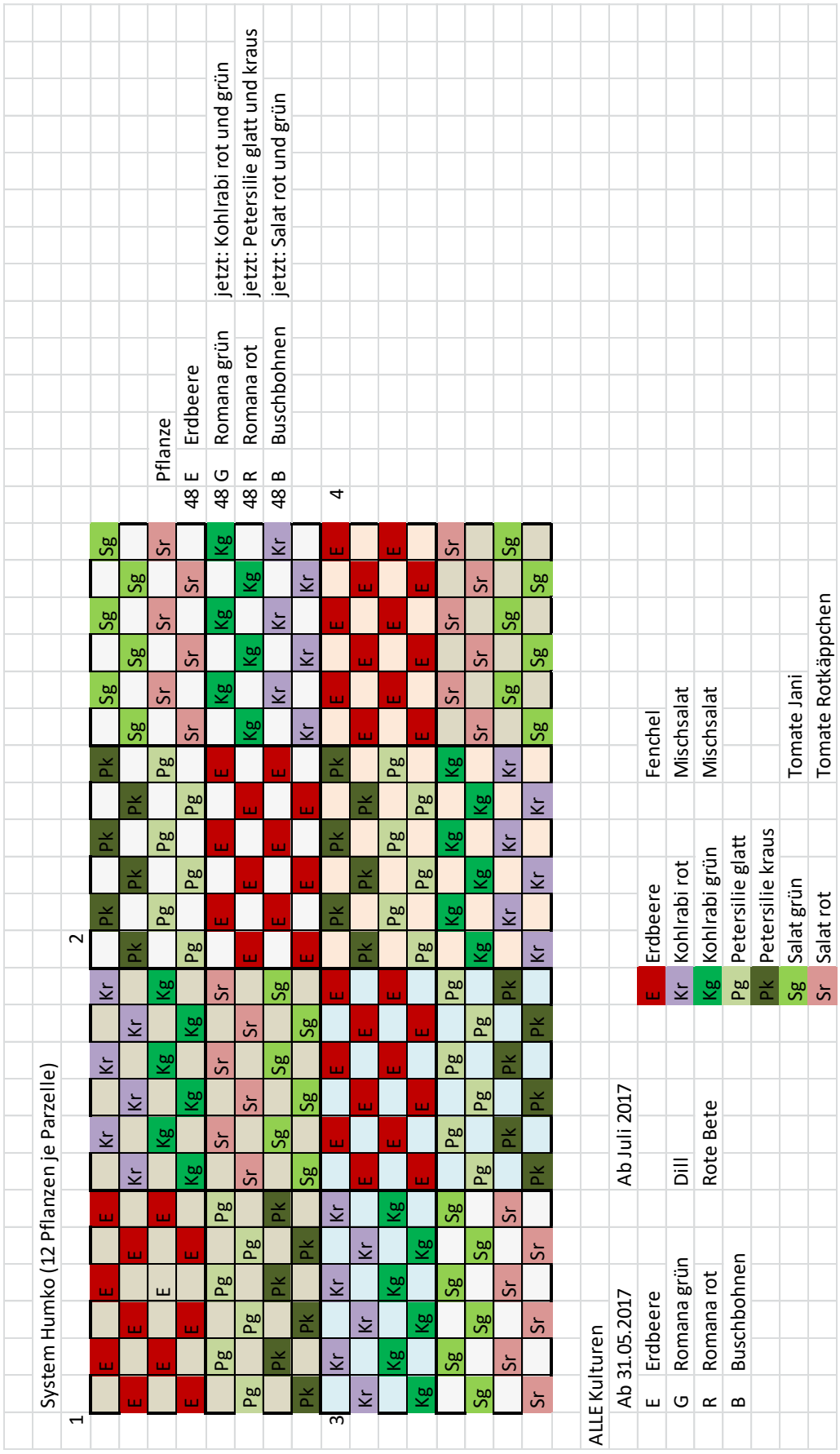
	Aktion in Veitshöchheim	Aktion in Erlangen
31.05.2017	Pflanzung und Beginn Bewässerung 1 h täglich (4 Intervalle)	
06.06.2017	Auffüllen Substrat und Nachpflanzung System 1 (Vertiko) und 2 (Humko)	
07.06.2017	Umstellung Bewässerung auf 45 min täglich	
23.06.2017	Bewässerung von 45 min (je Tag) auf 4x 15 min (60 min/Tag) umgestellt	
17.07.2017	Entfernen Strünke (Salat) und Substrat nachfüllen	
17.07.2017	Aussaat Dill (5-10 Korn/Parzelle) und Rote Bete (3-5 Korn/Parzelle)	
18.08.2017	Nachsaat Rote Bete + Dill	
26.10.2017	Ernte Rote Bete und Aussaat Feldsalat nach Rote Bete	
27.03.2018	Montage Paletten Erlangen und Pflanzung Erlangen, Bewässerung: Tank 270 Liter + 10 min Angießen (Leitung), Paletten ca. 10 Liter Angießen	
03.04.2018	Düngung Tank Erlangen (300 g Ferty 2 aufgelöst)+ Paletten (ca. 25 g ENTEC 26)	
	Pflanzung System 1-4 Veitshöchheim und Düngung über Bewässerung mit Rest von Düngerlösung	
13.04.2018	Düngung 300 g Ferty 2 bei System 5	
11.06.2018	Anzucht 250x Fenchel 'Perfektion'	
27.03.2018		Montage Paletten Erlangen und Pflanzung Erlangen, Bewässerung: Tank 270 Liter + 10 min Angießen (Leitung), Paletten ca. 10 Liter Angießen
	Pflanzung System 1-4 Veitshöchheim und Düngung über Bewässerung mit Rest von Düngerlösung	Düngung Tank Erlangen (300 g Ferty 2 aufgelöst)+ Paletten (ca. 25 g ENTEC 26)
13.04.2018		Düngung 300 g Ferty 2 bei Var. 5
29.04.2018		Bonitur
02.05.2018	Bonitur	
03.05.2018		Ernte
09.05.2018	Bonitur	
12.05.2018		Bonitur
14.05.2018		Ernte
15.05.2018	Bonitur	Bonitur, Düngung 300 g Ferty aufgelöst+ 15 min Wasser auffüllen (Var. 5)
17.05.2018	Ernte	
18.05.2018	Ernte, Bonitur	
23.05.2018		Bonitur +Düngung 300 g Ferty aufgelöst + 15 min Wasser auffüllen, 12 g ENTEC 26 je Palette
25.05.2018	Bonitur	
28.05.2018	Ernte	
29.05.2018	Ernte	
30.05.2018	Bonitur	Bonitur
04.06.2018	Bonitur	
05.06.2018	Bonitur	
06.06.2018		Bonitur + 16 min Bewässerung auffüllen
11.06.2018	Aussaat Fenchel 'Perfektion'	
12.06.2018	Bonitur	
17.06.2018		Bonitur +562 g Ferty aufgelöst (Var. 5)+ 168 Liter, Var. 6: 10 Liter

19.06.2018	Bonitur +Ansaat Misticanza+ Nachsaat Petersilie	
26.06.2018	Bonitur, auffüllen 562 g Dünger Var.1-4	Bonitur, Nachsaat Petersilie und Aussaat Salatmischung 'Misticanza', Var.5 Auffüllen 16 min Wasser
		Düngung Var. 5 und 6
15.07.2018		Bonitur, auffüllen 12 min Wasser+ 300 g Ferty 2
21.08.2018	1 Salatpflanze mit Topf in Kühlung (Var. 4)	
09.09.2018		Bonitur, auffüllen 25 min Wasser
25.10.2018		Auffüllen 10 min Wasser System 5
31.10.2018		Ernte System 5: 4 kg Petersilie (glatt)+ 1 kg Fenchel
13.11.2018	Einstellung Bewässerung von 4 min je Std. auf 2 min je Std	

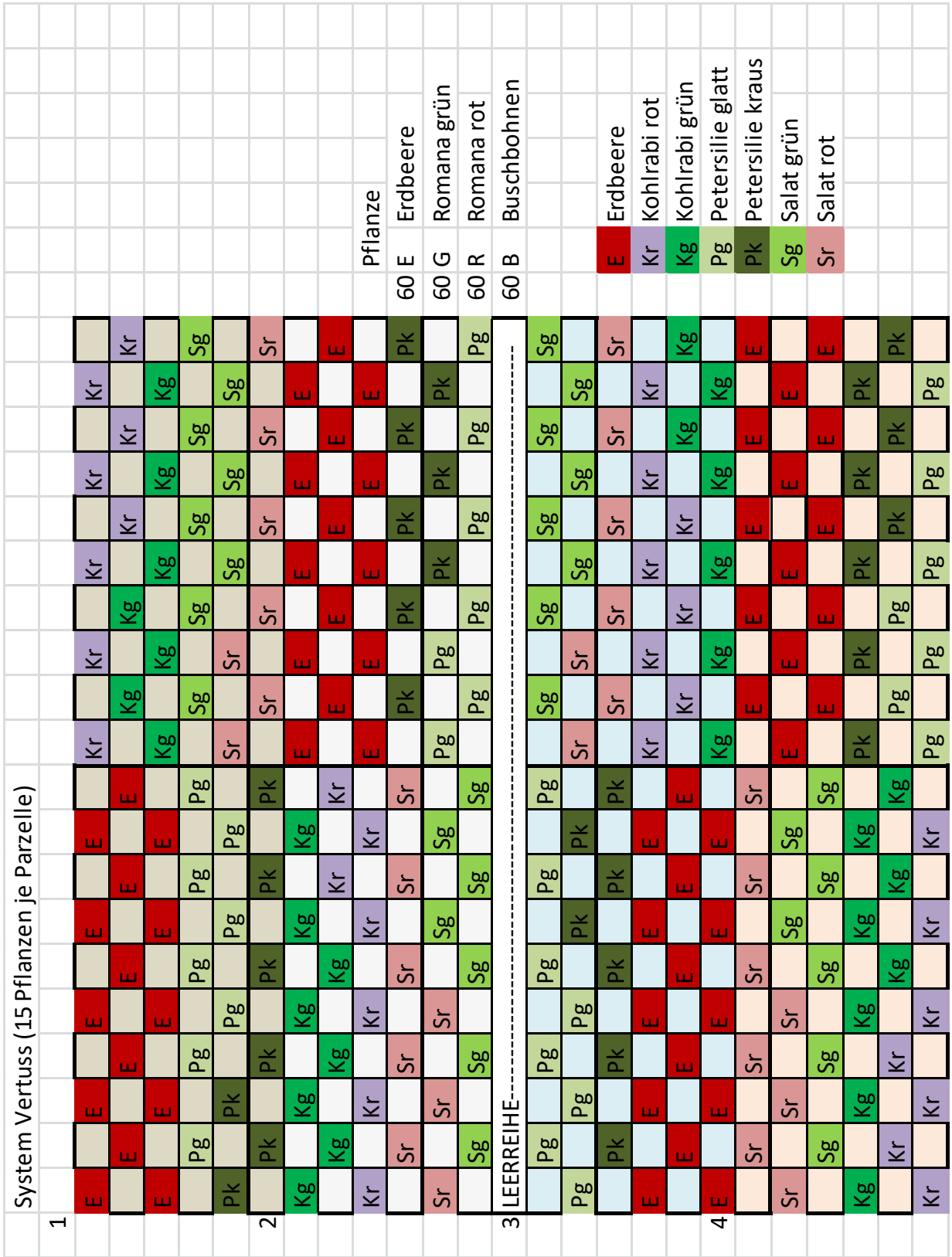
Anhang 2: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 1 der Living Walls



Anhang 3: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 2 der Living Walls



Anhang 4: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 3 der Living Walls



Anhang 5: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 4 der Living Walls

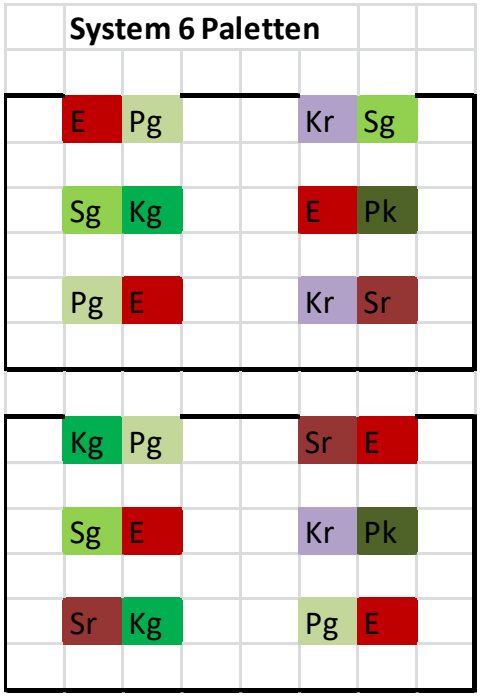
System Hydro (5 Pflanzen je Parzelle)

1										
	E	E	E	E	E	Kr	Kr	Kg	Kg	Kg
	Pg	Pg	Pg	Pk	Pk	Sg	Sg	Sg	Sr	Sr
2										
	Kg	Kg	Kr	Kr	Kr	E	E	E	E	E
	Sr	Sr	Sr	Sg	Sg	Pk	Pk	Pk	Pg	Pg
3										
	Pg	Pg	Pg	Pk	Pk	Sg	Sg	Sr	Sr	Sr
	E	E	E	E	E	Kr	Kr	Kg	Kg	Kg
4										
	Pk	Pk	Pk	Pg	Pg	E	E	E	E	E
	Kr	Kr	Kr	Kg	Kg	Sg	Sg	Sg	Sr	Sr

		Pflanze
20	E	Erdbeere
20	G	Romana grün
20	R	Romana rot
20	B	Buschbohnen

E	Erdbeere
Kr	Kohlrabi rot
Kg	Kohlrabi grün
Pg	Petersilie glatt
Pk	Petersilie kraus
Sg	Salat grün
Sr	Salat rot

Anhang 6: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 6 der Living Walls

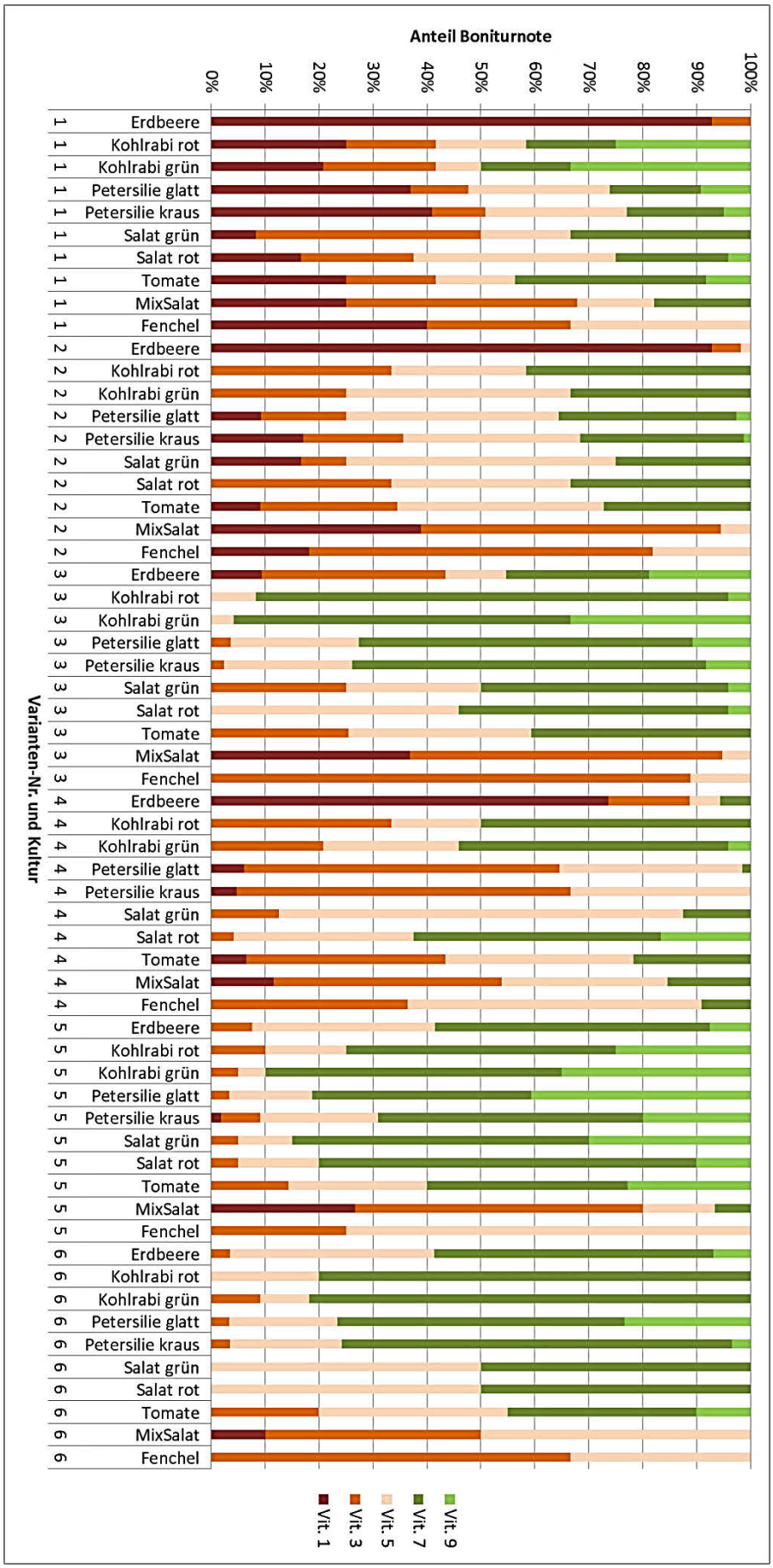


Anhang 7: Parzellierung und Pflanzenbelegung bei Var. 5 der Living Walls

Plan Wand 5 Forstamt Erlangen

E	E	E	E	E	E	Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	1
E	E	E	E	E	Kg	Kg	Kg	Kr	Kr	Kr	2
E	E	E	E	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Pg	Pg	3
Sg	Sg	Sg	Sg	Pk	Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	4
Sg	Sg	Sg	Sg	Pk	Pk	Pk	Pk	Pk	Pk	Pk	5
Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	E	E	E	6
Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	E	E	E	E	E	E	7
Kr	Kr	Kr	Kg	Kg	E	E	E	E	E	E	8
Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Sg	Sg	Sg	Sg	Sg	9
Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	Sr	Sr	Sg	Sg	Sg	10
Pg	Pg	Pk	Pk	Pk	Pk	E	E	Sr	Sr	Sr	11
Pk	Pk	Pk	Pk	E	E	E	E	Sr	Sr	Sr	12
E	E	E	E	E	E	E	E	E	Kg	Kg	13
Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	14
Pk	Pk	Pg	Pg	Pg	Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	15
Pk	Pk	Pk	Pk	Pk	Pg	Sg	Sg	Sg	Kr	Kr	16
E	E	E	Sr	Sr	Sr	Sg	Sg	Sg	Sg	Sg	17
E	E	E	E	E	E	Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	18
E	E	E	E	E	E	Kr	Kr	Kr	Kr	Kr	19
Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kr	Kr	Kr	20
Sg	Sg	Sg	Sg	Sg	Sg	Pg	Pg	Pg	Pg	Pg	21
Sg	Sg	Sr	Sr	Sr	Pk	Pk	Pk	Pg	Pg	Pg	22
Sr	Sr	Sr	Sr	Sr	X	Pk	Pk	Pk	Pk	Pk	23

E	Kr	Kg	Pg	Pk	Sg	Sr

E	Erdbeere	4x je 15 Pflanzen	
Kr	Kohlrabi rot	4x je 8 Pflanzen	Salat
Kg	Kohlrabi grün	4x je 8 Pflanzen	Salat
Pg	Petersilie glatt	4x je 8 Pflanzen	
Pk	Petersilie kraus	4x je 8 Pflanzen	
Sg	Salat grün	4x je 8 Pflanzen	Jani'
Sr	Salat rot	4x je 8 Pflanzen	Rotkäppchen

Anhang 8: Vitalität einzelner Arten der Wand-Systeme im Jahr 2018