



„Urban Gardening“ mit Dach- und Fassadenbegrünungen

Nahrungsmittelproduktion auf
überbauten Flächen im Siedlungsbereich

Endbericht zum Forschungsvorhaben EW/13/56

Projektlaufzeit
01.07.2013 - 29.02.2016

**Endbericht zum
Forschungsvorhaben EW/13/56**

„Urban Gardening“ mit Dach- und Fassadenbegrünungen

**Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen
im Siedlungsbereich**

**Projektlaufzeit
01.07.2013 - 29.02.2016**

Projektleiter: LLD Jürgen Eppel

Projektbearbeiter: VA Florian Demling
VA Kornelia Marzini

Veitshöchheim, 19. April 2016

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

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	5
2. EINLEITUNG.....	7
3. VERSUCHE UND PROJEKTE	9
3.1. Vorversuch zu Gemüse in Kisten.....	9
3.1.1. Zielsetzung	9
3.1.2. Material und Methode.....	9
3.1.3. Ergebnisse	12
3.1.4. Schlussfolgerung	19
3.1.5. Weiterer Forschungsbedarf	19
3.2. Versuch mit Gemüse auf Dachmodellen	20
3.2.1. Zielsetzung	20
3.2.2. Material und Methode.....	20
3.2.3. Ergebnisse	35
3.2.4. Schlussfolgerungen	68
3.2.5. Weiterer Forschungsbedarf	70
3.3. Versuch auf herkömmlicher Dachbegrünung	71
3.3.1. Zielsetzung	71
3.3.2. Material und Methode.....	71
3.3.3. Ergebnisse	74
3.3.4. Schlussfolgerungen	84
3.3.5. Weiterer Forschungsbedarf	86
3.4. Tastversuch auf der herkömmlichen Dachbegrünung.....	86
3.4.1. Zielsetzung	86
3.4.2. Material und Methode.....	86
3.4.3. Ergebnisse	89
3.4.4. Schlussfolgerung	90
3.4.5. Weiterer Forschungsbedarf	90
3.5. Versuch zu essbaren Ansaatmischungen auf dem Dach.....	91
3.5.1. Zielsetzung	91
3.5.2. Material und Methode.....	91
3.5.3. Ergebnisse	97
3.5.4. Schlussfolgerung	108
3.5.5. Weiterer Forschungsbedarf	109
3.6. Versuch zu essbaren Living Walls.....	110
3.6.1. Zielsetzung	110
3.6.2. Material und Methode.....	110
3.6.3. Ergebnisse	113
3.6.4. Schlussfolgerung	116
3.6.5. Weiterer Forschungsbedarf	116

4. AUSBLICK: OFFENE FRAGESTELLUNGEN	117
4.1. Vergleich von essbaren Living Walls	117
4.2. Kulturführung im rezirkulierenden System	117
4.3. Substrateigenschaften und Veränderung des Substrats.....	117
4.4. „Urban Gardening“ an verschiedenen Standorten.....	118
4.5. Klimawirkung durch essbare Bauwerksbegrünung	118
5. VERÖFFENTLICHUNGEN UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	119
5.1. Vorträge	119
5.2. Fachpublikationen	119
5.3. Ausstellungen	120
5.4. Presse, Rundfunk, Fernsehen	120
6. LITERATUR	121
7. ZUSAMMENARBEIT	122
8. ANHANG.....	123

1. Zusammenfassung

In mehreren Versuchen wurde die Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen untersucht. Neben Untersuchungen zur Substrat- und Pflanzenauswahl auf herkömmlichen extensiven Dachbegrünungen wurde auch der Einsatz von Fassadenbegrünungen zur Gemüseproduktion beurteilt.

Mehrere Versuche wurden in Kisten, ein Versuch auf 24 Dachmodellen (zu je ca. 4 m²) und zwei weitere Versuche auf einer Fläche einer ehemaligen extensiven Dachbegrünung durchgeführt. Die extensive Dachbegrünung wurde für die Produktion von Nahrungspflanzen zusätzlich mit Bewässerung und Düngung bestückt. Nahezu bei allen Versuchen wurde auf die Flächen mit leichtem Gefälle die Dachabdichtung, ein Schutzvlies und 8 cm dickes herkömmliches extensives Dachsubstrat ausgebracht. Die mineralischen Substrate wurden nahezu ausschließlich mit mineralischem Stickstoff gedüngt. Vor allem Kalium und Magnesium lagen in erhöhten Mengen in den Substraten vor. Verschiedenste Gemüsearten aus allen Familien wurden auf den Flächen kultiviert. In den Kistenversuchen wurden Feld- und Schnittsalat genutzt. Bei dem Versuch auf Dachmodellen wurden Gemüsekulturen in typischer Fruchtfolge angepflanzt und gesät. Auf dem Versuchsdach der ehemaligen extensiven Dachbegrünung wurden die Pflanzen in Reihenmischkulturen gesetzt und 2015 wurden auf der Fläche drei essbare Ansaatmischungen (Gemüse, Wildgemüse und Kräuter) getestet.

Zur Bewässerung wurden bei allen Versuchen vorwiegend Tropfschläuche eingesetzt und bei der Aussaat bzw. Pflanzung händisch gegossen. Die Wasser- und Nährstoffversorgung wurde möglichst an den Bedarf der Kulturen angepasst. Bei höheren Bewässerungsgaben fällt Überschusswasser (Drain) an. Da es bei einer Düngegabe somit zu Auswaschungen kommt, und ein Eintrag ins Grundwasser nicht gewünscht ist, sollte das Drainwasser aufgefangen werden. Dies kann wiederum für die Bewässerung und Nährstoffversorgung der Pflanzen in einem geschlossenen Kreislauf bei der Dach- und Fassadenbegrünung genutzt werden. Die Düngung kann dann idealerweise über die Bewässerung erfolgen. Einzelne Kulturen wurden mit unterschiedlichen Dünge- und Wassergaben angebaut. Somit gab es durch eine verminderte Wasserversorgung auch signifikant geringere Erträge von Paprika. Ausfälle während der Pflanzenentwicklung gab es nur bei auftretenden Schädlingen oder

bei einer nicht ausreichenden Wasser- und Nährstoffversorgung. Die Gemüsearten entwickelten sich teils unterschiedlich. Vor allem Salate, Kräuter und Erdbeeren sind für die lokale Nahrungsmittelproduktion aufgrund der geringen Lagerfähigkeit interessant.

Drei verschiedene Ansaatmischungen konnten auch auf dem Dach gut wachsen.

Im Sommer 2015 wurden Temperaturverläufe im Dachsubstrat erfasst. Die Temperatur im Sommer kann auf dem Dach bis auf etwa 50°C ansteigen. Je nach Kultur und Zeitpunkt kann man von einer klimamäßigenden Wirkung durch die Begrünung ausgehen.

Bei dem Versuch der essbaren Living Walls wurden drei Systeme getestet. Neben herkömmlichen Systemen mit Substrat und Vlies wurde auch von der LWG ein hydroponisches System entwickelt. Aufgrund der nicht optimalen Standortbedingungen im Gewächshaus im Herbst 2015 müssen noch weitere Untersuchungen im Freiland folgen.

2. Einleitung

„Urban gardening“ belebt seit einigen Jahren die Städte auf der ganzen Welt. Vom Kräutertopf auf dem Balkon bis zur intensiven vertikalen Gebäudeproduktion ist in den Städten alles zu finden. Die lokale Nahrungsmittelproduktion ermöglicht den Menschen einen Zugang zu den Tätigkeiten und dem Wissen über die Produktionsbedingungen. Neben den ökologischen Vorteilen der kurzen Transportwege werden auch häufig Gemeinschaftsgärten in der Stadt zum kulturellen Austausch genutzt. Zum Beispiel der Prinzessingarten in Berlin, die Stadtgärtner von Würzburg und Nürnberg oder auch die essbare Stadt Andernach zeigen die Chancen der urbanen Nahrungsmittelproduktion.

Bei zunehmenden Grundstückspreisen durch steigende Überbauung sind allerdings die Flächen in den Ballungsgebieten rar. Mobile (Kisten-) Gärten (Bild 1) oder andere kreative Ideen (Bild 2) ermöglichen den zeitnahen Umzug bei Nutzungsänderungen der Flächen. Dabei sind bereits Potentiale für langjährige und nachhaltige „urban gardening“-Standorte vorhanden: Dach- und Fassadenbegrünungen. Die klimamäßige Wirkung solcher Systeme wurde bereits mehrfach untersucht. Die isolierende Wirkung am Gebäude, der Regenwasserrückhalt bei Starkniederschlägen und die erhöhte Biodiversität sind Vorteile von Gebäudebegrünungen.

Auf einzelnen intensiven Dachbegrünungen werden auch Gemüse und Obst angebaut (Bild 3 und Bild 4). Allerdings sind über 80 % aller begrünten Dächer aufgrund der geringen Nutzlast extensiv begrünt. Die Nutzung solcher dünn-schichtigen Systeme mit einer Aufbauhöhe von maximal 15 cm wurde zur Nahrungsmittelproduktion kaum untersucht. Dabei sind bereits die technischen Methoden aus dem Gemüsebau durch angepasste Bewässerung und Düngung für die Produktion von Nahrungspflanzen auf herkömmlichen Extensivbegrünungen vorhanden.

Auch wandgebundene Fassadenbegrünungen (Living Walls) wurden bisher vorwiegend aus ökologischen oder Aspekten des Zierwerts verwendet. Dabei bieten auch diese auf dem Markt verfügbaren Systeme die Möglichkeit des Zusatznutzens der Nahrungsmittelproduktion.



Bild 1: Nahrungspflanzen im Kistengarten Bamberg



Bild 2: Urban Gardening im Prinzessinnengarten Berlin



Bild 3: Brooklyn Grange, New York [1]



Bild 4: Dachgarten Rotterdam [1]

3. Versuche und Projekte

Im Projektzeitraum wurden an der LWG Veitshöchheim verschiedene Versuche zur Nahrungsmittelproduktion auf Dach- und Fassadenbegrünungen durchgeführt. Neben Vorversuchen in Kisten mit Dachsubstraten wurden auch Versuche mit Dachmodellen und auf einer Dachfläche einer ehemaligen extensiven Dachbegrünung durchgeführt. Im Herbst und Winter 2015 wurden in einem Versuch verschiedene Fassadenbegrünungssystemen im Gewächshaus getestet.

3.1. Vorversuch zu Gemüse in Kisten

3.1.1. Zielsetzung

Verschiedene Substrate zur Dachbegrünung sollen in der ersten Testphase bezüglich ihrer Eigenschaften und Einsetzbarkeit für die Nutzung mit Gemüsepflanzen beurteilt werden. Dazu werden handelsübliche Dachsubstrate ausgewählt. Der Aufbau der Parzellen soll gemäß einer herkömmlichen Dachbegrünung durch ein leichtes Gefälle und ein Schutzvlies erfolgen. Neben der Pflanzenentwicklung und den Erträgen sollen auch die Nährstoffgehalte des Substrats und des Ablaufwassers analysiert werden. Auch die Gehalte von Schwermetallen in Dachsubstraten sollen bestimmt werden.

3.1.2. Material und Methode

Im Vorversuch zur Substratauswahl wurden 9 unterschiedliche Dachsubstrate auf ihre physikalischen, chemischen und pflanzenbaulichen Eigenschaften untersucht. Dazu wurden verschiedenste Substratmischungen zur extensiven und intensiven Dachbegrünung verwendet (Tabelle 1). Die Substrate der unterschiedlichen Hersteller haben auch unterschiedliche Zusammensetzungen. Alle Substrate wurden vor der Verwendung im Labor auf ihre Nährstoffgehalte von NO_3 , NH_4 , P_2O_5 (CAL), K_2O (CAL), Mg (CaCl_2), den pH, die organische Substanz und die Kationenaustauschkapazität analysiert. Zudem wurden drei ausgewählte Substrate auf ihre Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink und Arsen untersucht.

Tabelle 1: Substratvarianten im Vorversuch

Variante	Hersteller	Dachsubstrat	Zusammensetzung
1	Optigrün	Extensiv-Einschichtsubstrat Typ M leicht	Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith, Grünschnittkompost
2	Vulkatec	Vulkamineral 0/12	Bims, Lava
3	Zinco	Systemerde „Sedumteppich“	Tonziegel, Substratkompost mit Faser
4	Optigrün	Extensiv-Mehrschichtsubstrat Typ E leicht	Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith, Grünschnittkompost
5	Vulkatec	Vulkaplus extensiv 0/12	Bims, Lava, Rindenzusatz, Grünkompost, Torf
6	Zinco	Systemerde „Steinrosenflur“	Tonziegel, Substratkompost mit Faser
7	Zinco	Systemerde „Lavendelheide“	Tonziegel, Substratkompost mit Faser
8	Zinco	Systemerde „Dachgarten“	Tonziegel, Substratkompost mit Faser, weitere Komponenten (Sand)
9	Patzer	Dachgarten extensiv	Sand, Blähton, Weißtorf, Lava, Substratkompost, Naturton

Im Gewächshaus der Abteilung Landespflege wurden 36 Kisten (Innenmaß je ca. 58 cm x 38 cm) aufgestellt. Diese wurden mit einem etwa 5 mm Loch als Ablauf und einem Geotextil als Substratrückhalt ausgestattet. Alle Kisten wurden auf Steine gesetzt und auf ein möglichst gleiches Gefälle von etwa 2 % eingestellt (Bild 5). In jede Kiste wurde Substrat mit einer Schicht von etwa 10 cm aufgefüllt und ange-drückt und betrug somit je Kiste etwa 22 Liter.



Bild 5: Versuchs-kisten mit 2 % Gefälle



Bild 6: Kisten mit Substrat und Feldsalatpflanzen am 19.11.2013

Das Substrat wurde randomisiert in einer Blockanlage mit vier Wiederholungen verteilt (Tabelle 2). In jede Kiste wurden am 19.11.2013 vier mit Feldsalat bestückte Doppel-Erdpresstöpfe gepflanzt. Daneben wurde in der Kiste Winterrettich in Reihen ausgesät (Bild 6).

Tabelle 2 Variantenplan mit Substratnummern und Wiederholungen am Versuchsstandort

1	2	3	6	7	5		1	2	3	6	7	5
4	5	6	9	1	8		4	5	6	9	1	8
7	8	9	3	4	2		7	8	9	3	4	2
Wdh1	Wdh1	Wdh1	Wdh2	Wdh2	Wdh2		Wdh3	Wdh3	Wdh3	Wdh4	Wdh4	Wdh4

Alle Kisten wurden regelmäßig Bewässert, gedüngt und bonitiert (Tabelle 3). Am 29.11.2013 wurden die Kisten ausreichend bewässert und das Überschusswasser am Ablauf erfasst und auf seine Inhaltsstoffe analysiert. Im Labor wurden die Gehalte an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, elektrische Leitfähigkeit (EC), pH und die Gesamthärte des Drain- und Gießwasser analysiert. Neben den Inhaltsstoffen von Substrat und Drainwasser wurde die Vitalität und Frischmasse des Feldsalats erfasst und zwischen den Substraten verglichen.

Tabelle 3: Versuchsverlauf des Vorversuchs zum Substratvergleich

Datum	Aktion
07.11.2013	Kisten mit Substrat befüllt und in Gewächshaus gestellt
08.11.2013	Substratproben an Labor
19.11.2013	Pflanzung/Aussaart und 1. Bewässerung (mit Gießwagen); Gewächshaus auf 17 °C
20.11.2013	2. Bewässerung (2 l/Kiste)
21.11.2013	3. Bewässerung (2 l/Kiste), Bonitur Feldsalat
22.11.2013	4. Bewässerung (2 l/Kiste)
25.11.2013	5. Bewässerung (1 l/Kiste), Bonitur Winterrettich
26.11.2013	Bonitur: Pilz bei Parz. 13, Winterrettich teils gelb
29.11.2013	6. Bewässerung (2 l/Kiste), Bonitur, Analyse von Gieß- und Drainwasser
02.12.2013	Vereinzeln Winterrettich (auf 5 Pflanzen/Kiste)
03.12.2013	Aufhängen Gelbtafeln
05.12.2013	7. Bewässerung (1 l/Kiste) mit Drain
09.12.2013	Bonitur
10.12.2013	8. Bewässerung (1 l/Kiste) und Düngung (N), mit Drain
13.12.2013	Entfernung 1 Doppelpfopf Feldsalat in Parz.4
18.12.2013	9. Bewässerung (1 l/Kiste), Bonitur: Pilzkrankheit
23.12.2013	10. Bewässerung (1 l/Kiste)
30.12.2013	11. Bewässerung (1 l/Kiste)
08.01.2014	Bonitur
09.01.2014	12. Bewässerung (1 l/Kiste), Ernte
13.01.2014	Substratproben (Variante 1,5,6) auf Schwermetalle an Labor
18.01.2014	13. Bewässerung (1 l/Kiste)
27.01.2014	Räumung Versuch

Am 09.01.2014 wurde der Feldsalat geerntet und das Gewicht der Frischmasse erfasst.

3.1.3. Ergebnisse

3.1.3.1. Substratuntersuchung

Die Nährstoffgehalte der Substrate unterschieden sich teilweise stark (Abbildung 1). Werden die Gehalte pro Quadratmeter verrechnet und mit Empfehlungswerten aus dem Gartenbau [Merkblatt zur Bodenuntersuchung im Hausgarten, Universität Hohenheim, 2011] verglichen, sind bei allen Substraten vor allem Phosphor, Kalium und Magnesium in einer starken Überversorgung vorhanden. Die Gehaltsklasse C (für einfache Düngegaben) liegt bei Phosphor zwischen 10-20 mg/100 g Substrat, bei Kalium zwischen 10-15 mg/100 g Substrat und bei Magnesium zwischen 5-9 mg/100 g Substrat. Somit sind bei nahezu allen Substraten vorerst verringerte bzw. keine Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Düngegaben nötig. Die Stickstoffgehalte hingegen sind mit weniger als 10 mg N/100 g Substrat sehr gering. Nur das Extensiv-Mehrschichtsubstrat Typ E-leicht (Optigrün) bietet über 20 mg N/100 g Substrat (Abbildung 2).

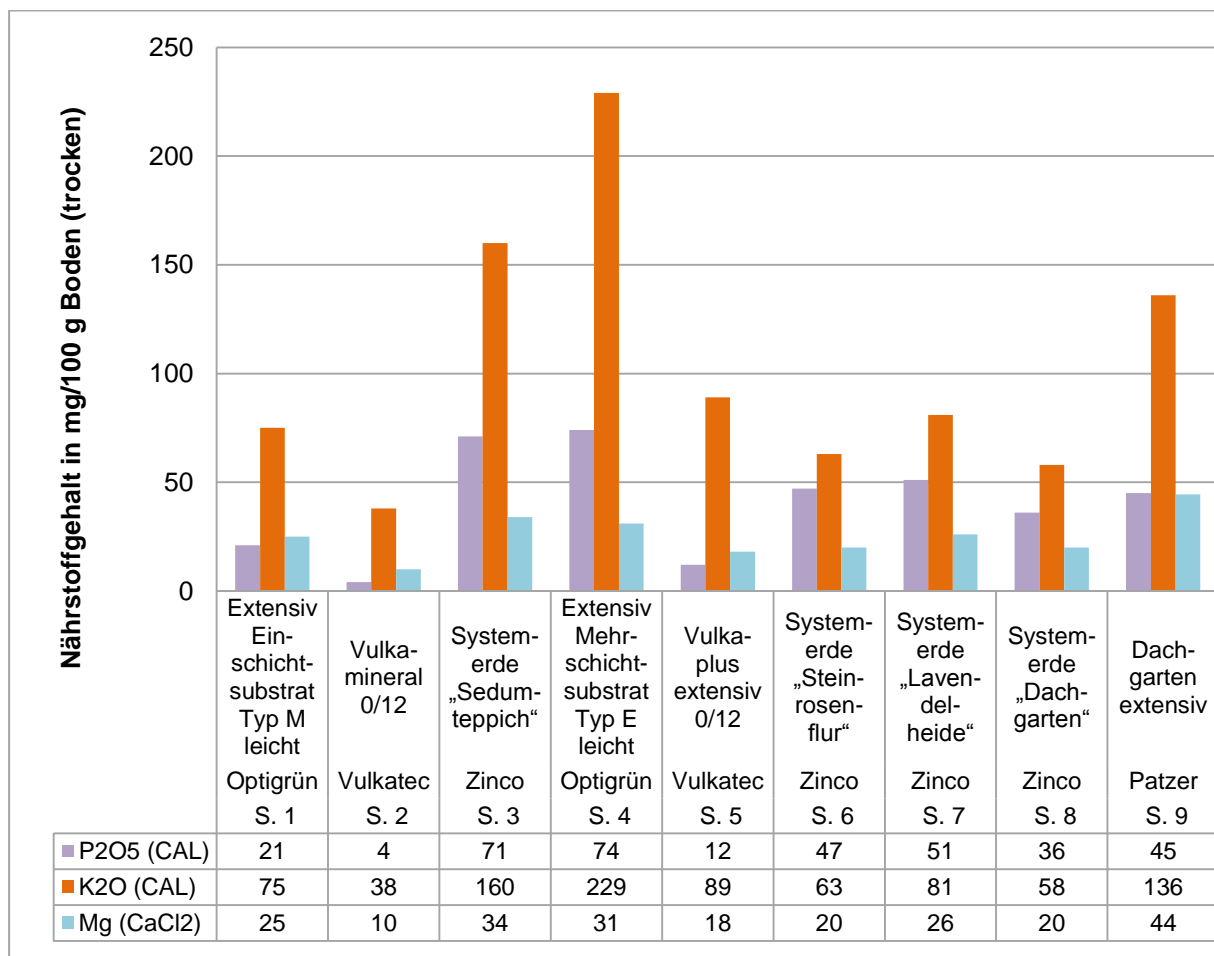


Abbildung 1: Laborergebnisse der Nährstoffanalyse von Phosphor, Kalium und Magnesium der Substrate

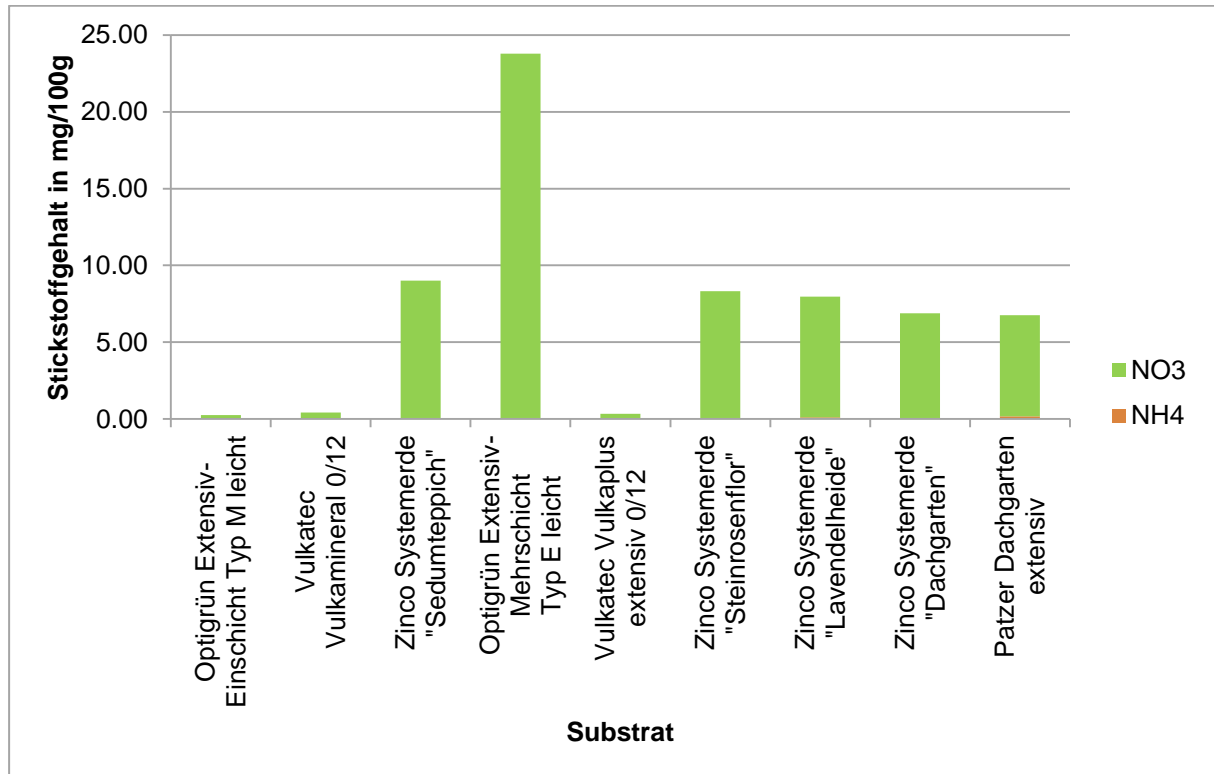


Abbildung 2: Ergebnisse des Stickstoffgehalts in den einzelnen Dachsubstraten

3.1.3.2. Drainwasseranalyse

Das Drainwasser der Kisten nach einer Bewässerung (2 Liter je Kiste) am 29.11.2013 wurde analysiert. Die elektrische Leitfähigkeit unterschied sich zwischen den einzelnen Varianten (Abbildung 3). Das Wasser bei den Substraten von Vulkatec hatte wie das Leitungswasser einen EC von weniger als 1 mS/cm. Die höchsten Nährstoffauswaschungen wurden beim Substrat Extensiv-Mehrschichtsubstrat Typ E-leicht (Optigrün) festgestellt. Das Substrat enthält auch am meisten Stickstoff und führt beim Drainwasser zu einem EC von über 4 mS/cm.

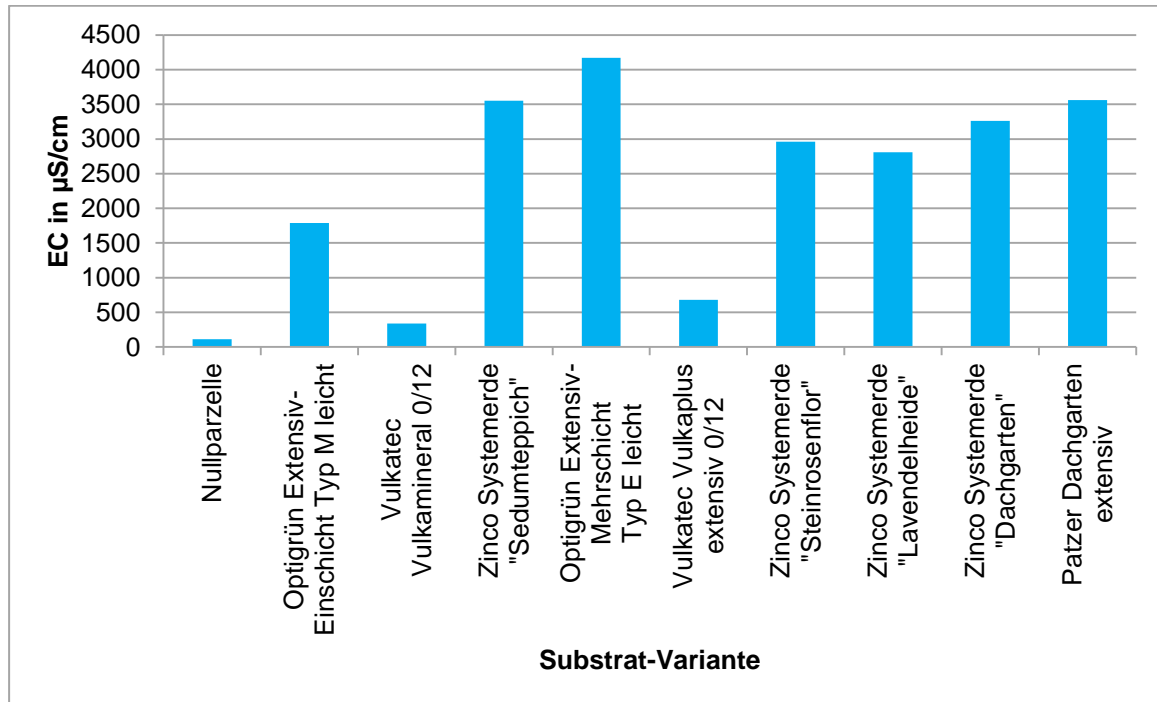


Abbildung 3: Unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit des Ablaufwassers der Substrate nach einer Bewässerung am 29.11.2013

Die Nitratgehalte im Drainwasser nach der Bewässerung der Substrate unterscheiden sich teils stark (Abbildung 4). Während das Substrat mit dem höchsten Nährstoffgehalt zu einem Gehalt von über 6 g NO₃/l Drainwasser führt, sind die Nitratgehalte im Ablaufwasser bei den Substraten von Vulkatec und des Extensiv-Einschicht Substrat Typ M-leicht (Optigrün) unter 50 mg/l.

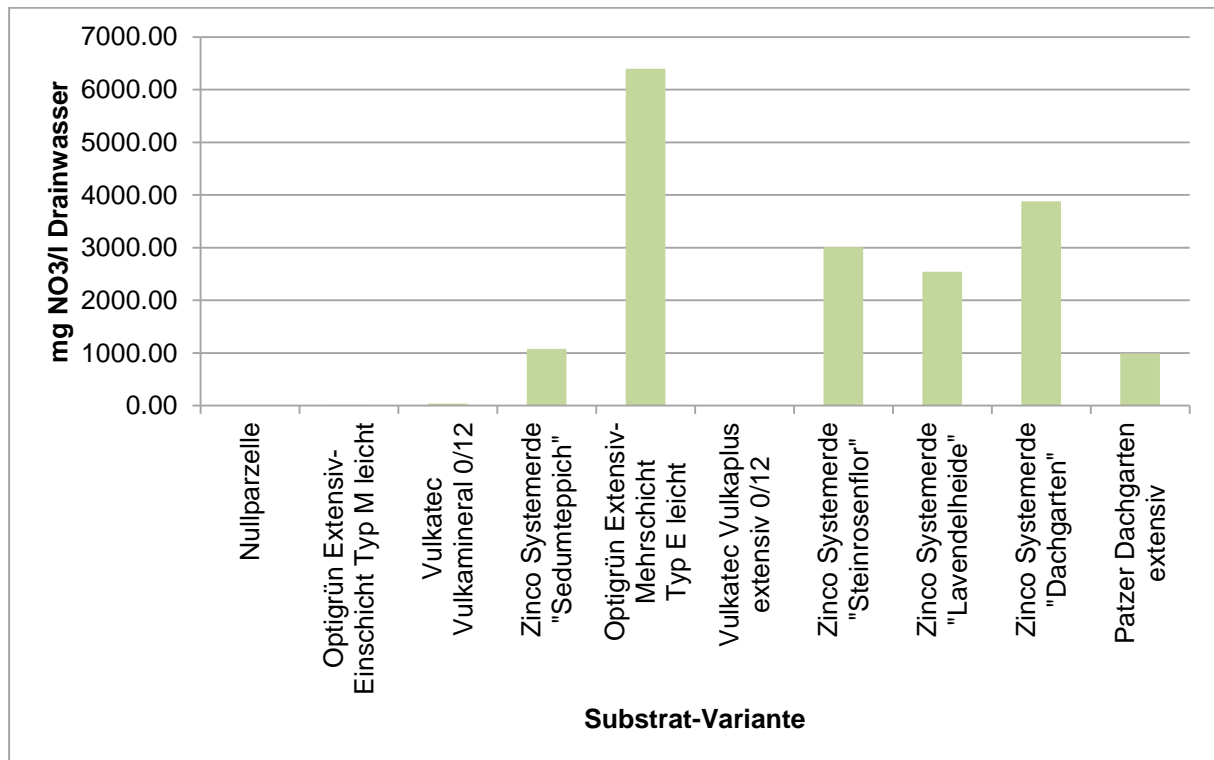


Abbildung 4: Unterschiedliche Stickstoffgehalte des Ablaufwassers der Substrate nach einer Bewässerung am 29.11.2013

3.1.3.3. Schadstoffgehalt in Substraten

Bei den drei ausgewählten Dachsubstraten wurden Schwermetallgehalte von Chrom, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer, Zink, Quecksilber und Arsen festgestellt (Abbildung 5). Allerdings waren nur wenige Schadstoffgehalte über den Vorsorgewerte für den Gemüsebau [2] [3]. Wird aufgrund der Struktur das Substrat als Sandboden bezeichnet, ist der Zink- und der Nickelgrenzwert bei den drei Substraten überschritten worden. Bei der Systemerde „Steinrosenflur“ (Zinco) wurde zusätzlich der Empfehlungswert für Chrom bei Sandböden überschritten (Abbildung 6).

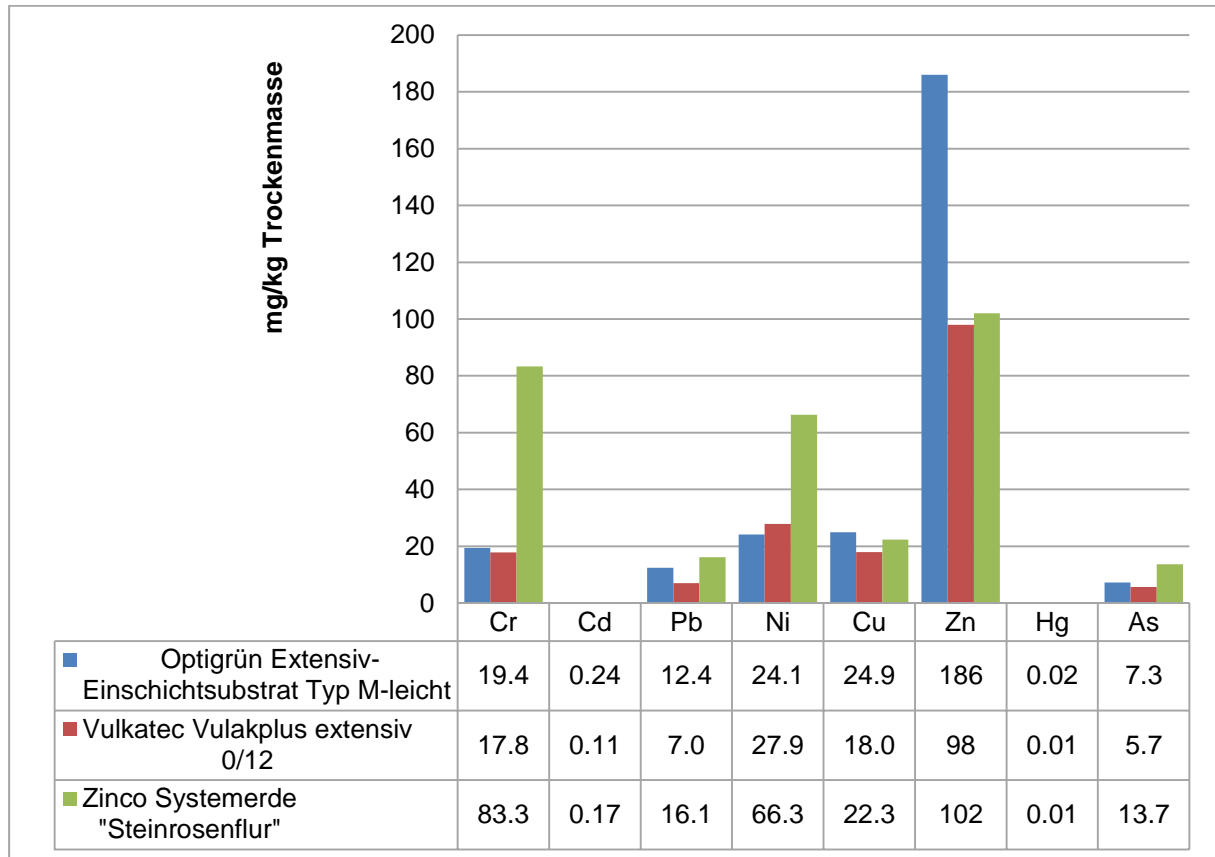


Abbildung 5: Schwermetallgehalte ausgewählter Dachsubstrate

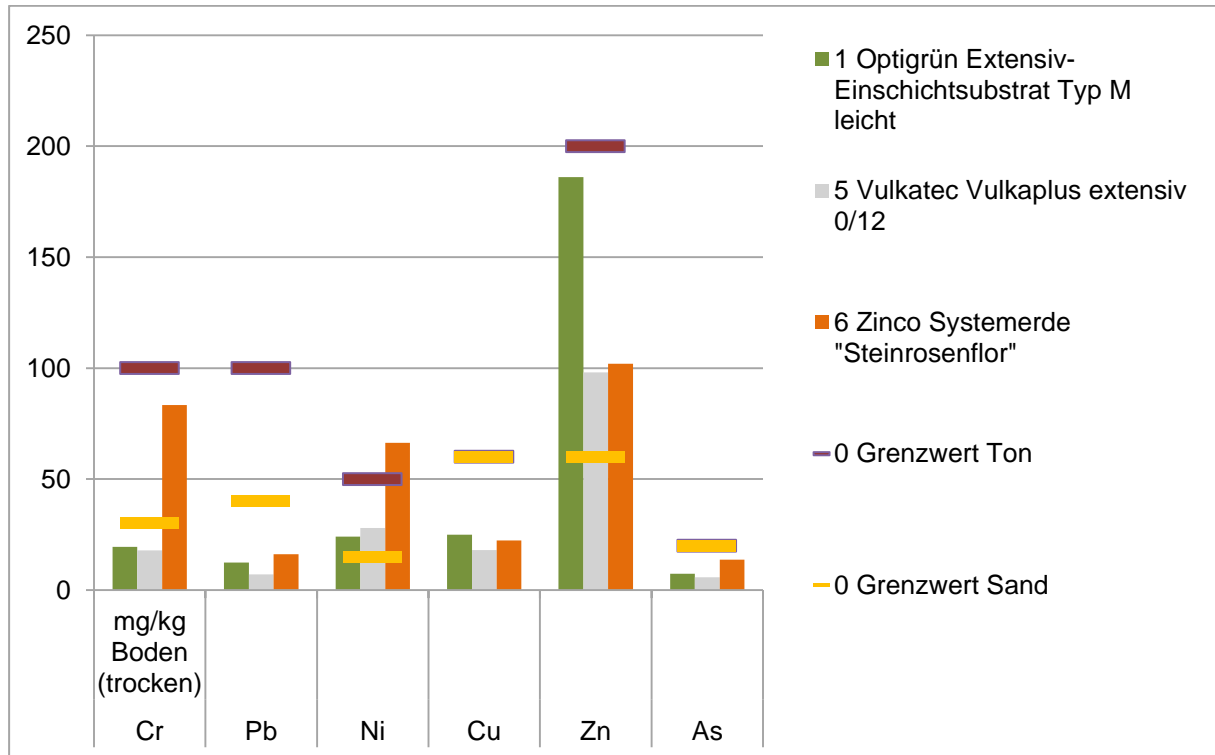


Abbildung 6: Vergleich unterschiedlicher Schwermetallgehalte von Dachsubstraten mit Empfehlungen für den Gemüseanbau (Bundesbodenschutzgesetz)

3.1.3.4. Pflanzenentwicklung

Die Vitalität des Feldsalats auf den Dachsubstraten unterschied sich teils zwischen den Substraten (Abbildung 7). Mängel wurden vor allem beim Salat auf dem Mehrschichtsubstrat Typ E-leicht (Optigrün) festgestellt. Geringe Mängel waren bei den Salaten auf den Substraten „Sedumteppich“ und „Steinrosenflur“ von Zinco zu verzeichnen. Alle anderen Substrate führten zu Pflanzenentwicklungen mit nur sehr geringen Mängeln und hoher Vitalität (Anhang 1).

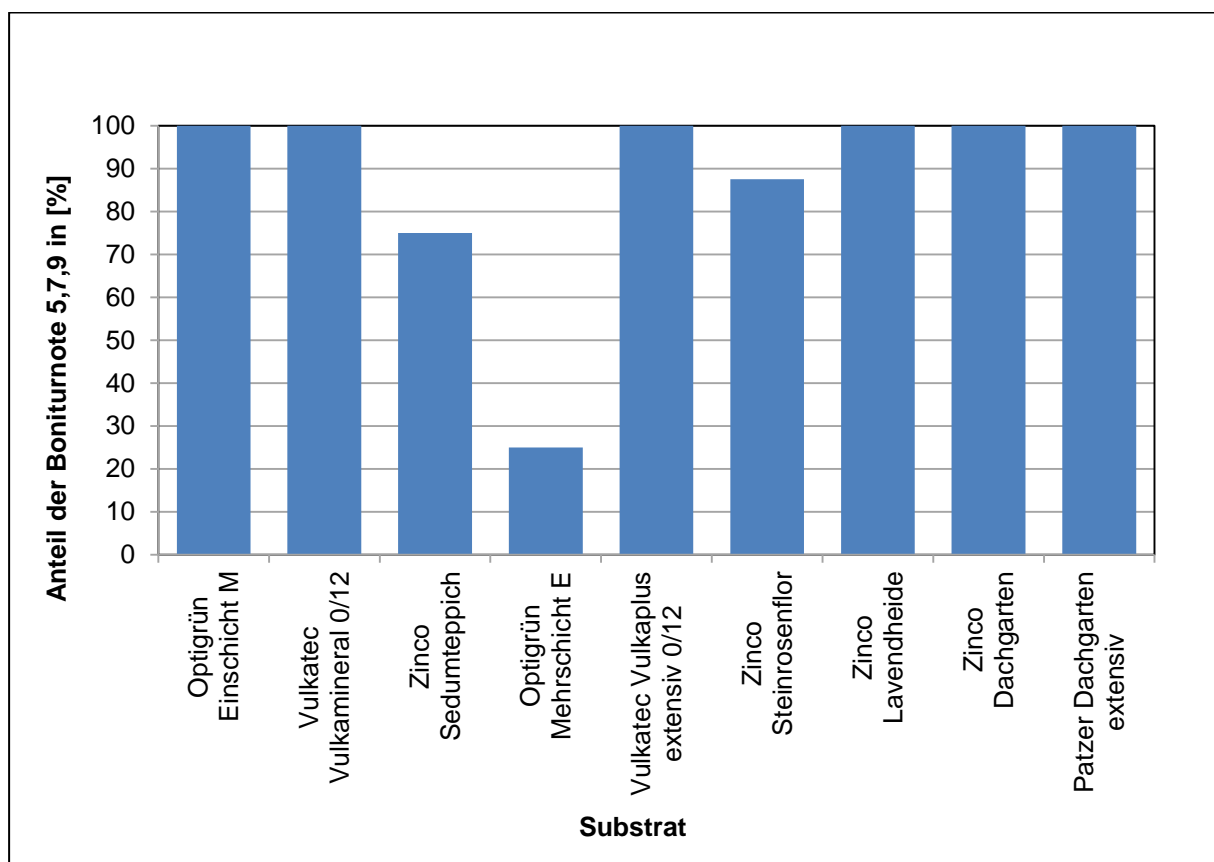


Abbildung 7: Vitalität von Feldsalatpflanzen beim Kistenversuch nach Substraten (Boniturnoten 1=Pflanze ausgefallen, 5=geringe Mängel, 9=sehr hohe Vitalität)

Die Erträge von Feldsalat auf den Dachsubstraten in den Kisten unterschieden sich stark zwischen den Varianten. Die Erträge der Varianten 3 (Zinco „Sedumteppich“) und 4 (Optigrün Mehrschicht, Typ E-leicht) waren signifikant geringer als die Erträge bei den meisten anderen Substraten. Der höchste mittlere Ertrag wurde bei Substrat 1 (Optigrün Extensiv-Einschichtsubstrat Typ M-leicht) geerntet (Abbildung 8).

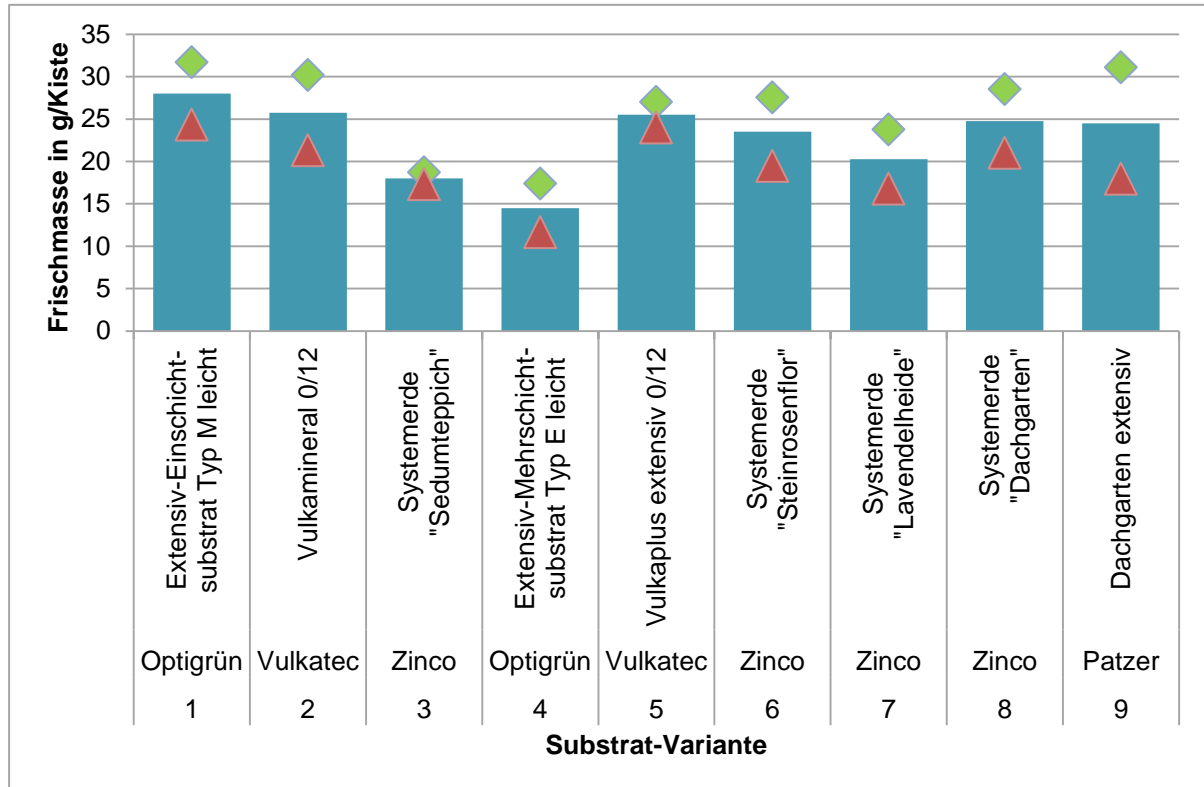


Abbildung 8: Vergleich der mittleren Feldsalaterträge (mit Standardabweichung) bei unterschiedlichen Dachsubstraten

3.1.4. Schlussfolgerung

Der Anbau von Feldsalat hat auf den meisten Dachsubstraten gut funktioniert. Dennoch unterscheiden sich die Substrate in ihren Zusammensetzungen und Eigenschaften. Es sind teils erhöhte Gehalte an Schwermetallen vorhanden. Wenig Stickstoff und viel Kalium und Magnesium prägen die mineralischen Substrate. Bei einer zusätzlichen Düngung werden auch Nährstoffe ausgewaschen. Je nach Substrat kann die Nährstoffkonzentration im Ablaufwasser sehr hoch sein. Das Extensiv-Einschichtsubstrat Typ M-leicht (Optigrün) kann als typisches Dachsubstrat für Extensivbegrünungen bezeichnet werden und kann aufgrund der geringen Stickstoffmenge gut für den Anbau von Gemüsekulturen modifiziert werden. Auch die verwendeten Substrate des Herstellers Vulkatec können aufgrund des geringen Stickstoffgehalts für eine spezifische Kultur angepasst werden.

3.1.5. Weiterer Forschungsbedarf

Neben Versuchen unter Laborbedingungen müssen auch Versuche zum Anbau auf Dachmodellen und Dachflächen im Freiland gemacht werden. Vor allem anspruchsvollere Gemüsekulturen in Fruchtfolgen sollten für die gemüsebauliche Eignung von extensiven Dachbegrünungen untersucht werden.

Neben den fertigen Substratmischungen können auch einzelne Substratkomponenten und deren Variationen bezüglich ihrer Wirkung bei der Nahrungsmittelproduktion auf Dächern in Versuchen getestet werden. Auch die Auswaschung von Nährstoffen und die Wasserhaltefähigkeit sollte näher betrachtet werden.

3.2. Versuch mit Gemüse auf Dachmodellen

3.2.1. Zielsetzung

Auf überbauten Flächen im Außenbereich sollen unterschiedlichste Nutzpflanzenarten und verschiedene Sorten auf ihre Eignung für den Anbau auf einem dünnschichtigen Dachbegrünungssubstrat untersucht werden. Neben der Pflanzenauswahl soll auch die Düngung und Bewässerung der Kulturen variiert werden, um für anspruchsvolles Gemüse (z.B. Paprika) den Wasser- und Nährstoffbedarf am Standort feststellen zu können. Dazu sollen die marktfähigen Erträge und Ausfälle der einzelnen Arten und Sorten bestimmt werden. Auch der Einfluss der Position auf den Dachmodellen soll erfasst werden, damit Aussagen zur Wasserverteilung auf den Dachflächen getroffen werden können.

Die marktfähigen Erträge sollen mit denen des Erwerbsanbaus verglichen werden und in Kategorien mit Mindererträgen auf den Modellen von 0 bis 25 %, 25 % bis 50 % und über 50 % im Verhältnis zum Vergleichswert eingeteilt werden. Die direkten Kosten (Pflanzen, Dünger, Wasser) der Gemüsekulturen sollen erfasst und miteinander verglichen werden. Die Standort- und Kulturbedingungen sollen durch Laboranalysen des Substrats und des Drainwassers, sowie durch Temperaturoaufzeichnungen im Sommer erfasst werden.

3.2.2. Material und Methode

3.2.2.1. Versuchsaufbau

Im Versuch wurden 24 Dachmodelle aus einem Zinkrahmen mit Brettern gebaut (Bild 7 Dachmodell mit Holzbrettern. Darauf wurden herkömmliche Abdichtungsfolien und ein Schutzvlies(Geotextil) für das Substrat montiert (Bild 8). Ein Ablauf wurde für die Entwässerung eingefügt (Bild 9). Das 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 m². Alle Modelle wurden mit Stellschrauben auf ein Gefälle von etwa 2 % ausgerichtet (Bild 10).



Bild 7 Dachmodell mit Holzbrettern



Bild 8: Dachmodell mit Abdichtung und Schutzvlies



Bild 9: Ablauf am Dachmodell



Bild 10: Stellschrauben des Dachmodells

Nach dem Vorversuch zur Substratauswahl wurde das Substrat Extensiv Einschicht Typ M-leicht (Optigrün Krauchenwies) aufgrund der guten Pflanzenerträge und guter Anpassungsmöglichkeiten zur Düngung ausgewählt. Es wurde in einer etwa 8 cm hohen Schicht auf den Modellen ausgebracht und eingeebnet (Bild 11).



Bild 11: Befüllen und Einebnen des Dachsubstrats auf einem Dachmodell



Bild 12: Installation von Tropfschläuchen auf dem Dachsubstrat



Bild 13: Bewässerungstation mit Bewässerungscomputer und Druckminderer für drei Varianten

Die Dachmodelle wurden mit Bewässerungseinrichtungen ausgestattet (Bild 12) und in 6 Varianten zu je 4 Wiederholungen eingeteilt. Die Parzellen Nr. 1-12 hatten ein Gefälle in nordöstliche Richtung, die Parzellen Nr. 13-24 ein Gefälle in südwestliche Richtung (Abbildung 9). Der erste Parzellenblock wurde mit den Varianten 1, 2 und 3, der zweite Parzellenblock wurde mit den Varianten 4, 5 und 6 bezeichnet (Abbildung 10). Jeder Block erhielt eine Bewässerungseinrichtung mit einem Druckminderer, Filter und jeweils einem Bewässerungscomputern (Gardena, Ulm) für jede Variante und einem Verteilersystem zu den jeweils vier Modellen der Varianten (Bild 13). Die Bewässerung wurde erstmals am 26.03.2014 betrieben. Der Wasserdruck wurde für Tropfschläuche auf etwa 2 bar eingestellt.

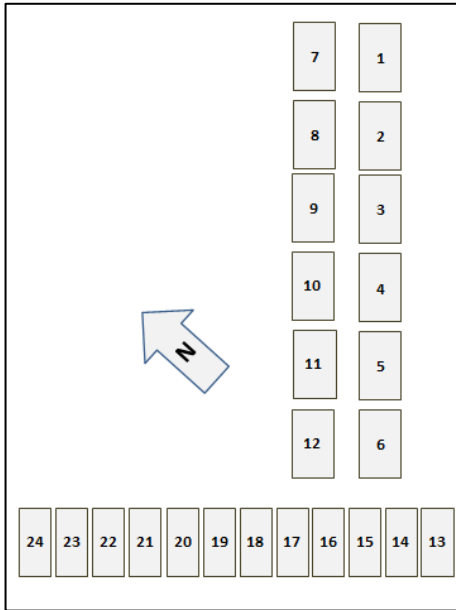


Abbildung 9: Bezeichnung der Parzellen

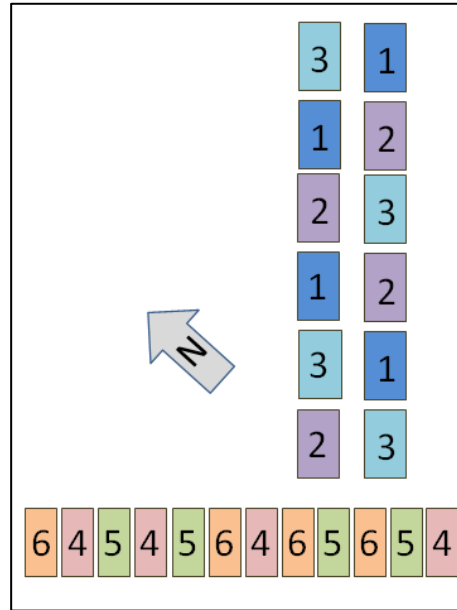


Abbildung 10: Variantenplan der Dachmodelle



Bild 14: Dachmodelle der Varianten 1, 2 und 3 im Frühjahr 2014



Bild 15: Dachmodelle der Varianten 4, 5 und 6 im Frühjahr 2014

Die Dachmodelle wurden regelmäßig mit Gemüsepflanzen bestückt. (Bild 14 und Bild 15). Im Frühjahr 2014 wurden auch die Parzellen der Variante 4, 5 und 6 mit Vlies abgedeckt (Bild 16 und Bild 17).



Bild 16: Dachmodell mit Tropfschläuchen und Salatjungpflanzen wird im Frühling 2014 mit Vlies abgedeckt



Bild 17: Dachmodelle der Variante 4, 5 und 6 mit Vlies im Frühling 2014

Die Dachmodelle der Varianten 4, 5 und 6 waren vorwiegend ohne Beschattung. Bei Parzellen der Variante 1, 2 und 3 kam es durch Bäume und Sträucher teils zur Beschattung von Dachmodellen (Bild 18, [4]).

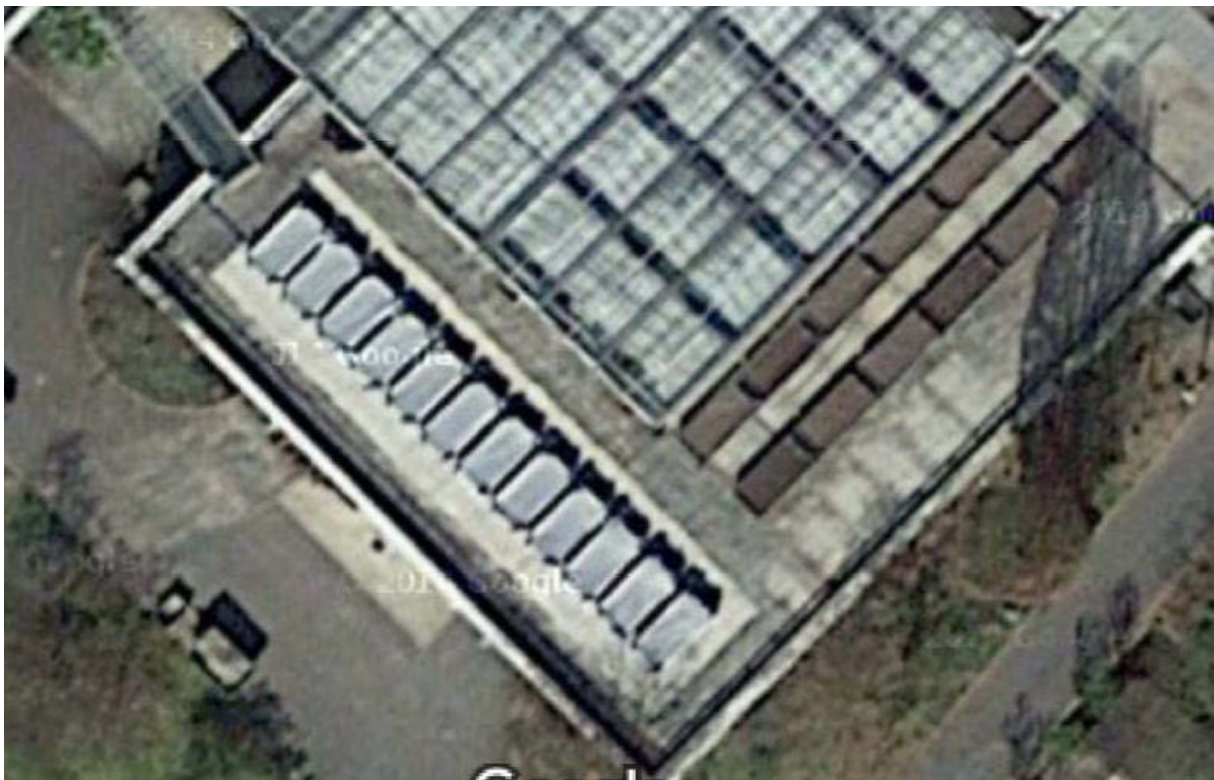


Bild 18: Luftbildaufnahme (Google-maps) im Frühling 2014 bei den Dachmodellen

Unterschiedliche Gemüsearten aus unterschiedlichsten Familien wurden in typischen Kulturfolgen angepflanzt (Tabelle 4).

Gemüse aus den Familien der Kreuzblütler (○), Korbblütler (○), Nachtschattengewächse (○), Doldenblütler (○), Gänsefußgewächse (○), Schmetterlingsblütler (○), Kürbisgewächse (○), Liliengewächse (○), Lippenblütler (○) und Rosengewächse (○) wurden kultiviert.

Tabelle 4: Anbauplan der Varianten auf den Dachmodellen mit Gemüsearten mit Einfärbung nach Familien

	Frühjahr 2014	Sommer 2014	Herbst/Winter 2014	Frühjahr 2015	Sommer 2015	Herbst/Winter 2015
Var. 1		Zwiebeln	Endivie		Romana	Winterrettich
		Rote Bete	Grünkohl		Romana	Rettich Radieschen
					Paprika	Radicchio Zichorie Feldsalat
Var. 2		Dill		Radieschen	Romana	
		Petersilie			Romana	Winterheckzwiebel
		Schnittlauch (P)				
		Basilikum	Majoran	Rucola	Salanova Eichblatt	Fenchel
Var. 3	Spinat	Bohnen + Bohnenkraut	Winterrettich		Romana	Winterrettich
	Radieschen				Romana	Rettich Radieschen
					Paprika	Radicchio Zichorie Feldsalat
Var. 4	Kopfsalat	Paprika	Feldsalat		Buschtomate	
				Rucola	Buschtomate	
				Rucola	Andenbeere	
Var. 5	Schnittsalat	Broccoli	Erdbeere			
Var. 6	Kohlrabi	Zucchini		Winterheckzwiebel	Kopfsalat (in 2 Sorten)	Spinat
						Radieschen

Die unterschiedlichen Pflanzenarten wurden auch unterschiedlich auf den Dachmodellen ausgebracht. Die meisten Kulturen wurden für eine bessere Kultursicherheit und aufgrund der leichteren Verfügbarkeit als vorgezogene Jungpflanzen gesetzt. Lediglich Buschbohnen (2014), Rucola (Frühjahr 2015) und Aussaaten im Herbst 2015 wurden direkt in das Dachsubstrat gesät. Radieschen und Spinat wurden vorwiegend in Saatbändern ausgebracht (Bild 19).

Je nach Gemüsekultur wurden die Pflanzen in der typischen Tiefe gesetzt. Während Kopfsalat nur leicht in das Substrat eingesetzt wurde, wurden die Tomaten bis auf das Schutzvlies in 8 cm Tiefe vergraben (Bild 20). Die Abstände zwischen und in den Reihen variierten je nach Kultur und Variante.

Anhang 2).



Bild 19: Ausbringung von Radieschensamen durch ein Saatband



Bild 20: Pflanzung von Buschtomate am 03.06.2015 entlang des Tropfschlauchs im 8 cm Dachsubstrat mit Schutzvlies

Auf den Dachmodellen wurden eine, zwei oder mehrere Arten je Variante kultiviert. Bei einer Nutzung mit mehr als einer Art wurden die Kulturen in Reihen mit verträglichen Nachbarpflanzen gesetzt. Einzelne Abschnitte und Pflanzen wurden bei der Erfassung von Bonituren und Erträgen getrennt betrachtet. Neben der Gliederung in oberen, mittleren und unteren Abschnitt wurden z.B. auch Zucchinipflanzen einzeln nummeriert (Bild 21 und Abbildung 11).



Bild 21: Zucchinipflanzen auf einem Dachmodell am 24.07.2014

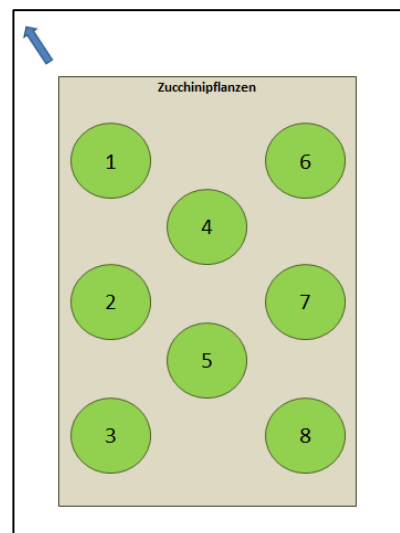


Abbildung 11: Verteilung von Zucchinipflanzen mit Nummerierung der Positionen auf Dachmodellen

Im Versuchsverlauf wurden die Kulturen fotografisch erfasst und auf ihre Vitalität bonitiert. Nach der Ernte wurde bei allen Varianten die Frischmasse und Qualität/Vitalität des jeweiligen Gemüses erfasst und beurteilt.

Im Versuch auf den Dachmodellen wurden neben unterschiedlichen Gemüsearten auch unterschiedliche Kulturführungen ausgewählt. Neben verringerten Wasser- und Nährstoffaufwendungen wurden auch bei einzelnen Varianten wesentlich mehr Wasser und Dünger gegeben, als das Gemüse benötigt.

3.2.2.2. Bewässerung der Varianten:

Über die Wetterdaten der Station am Standort Veitshöchheim [5] kann die Niederschlagssumme aufgerufen werden. Diese wurden zur Analyse der Wasserversorgung und zum Klimaverlauf genutzt. Die gesamte zugeführte Wassermenge wurde aus dem Niederschlag und der Zusatzbewässerung der verschiedenen Bewässerungsarten bestimmt. Die Summe wurde mit Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau verglichen (Abbildung 12) [6], [7].

Bei Pflanzung oder Aussaat des jeweiligen Gemüses wurde vorwiegend händisch eine Menge von etwa 5 bis 10 Liter pro m² ausgebracht. Die meisten Varianten wurden während der Wachstumsperiode mit Tropfschläuchen bewässert. Für die gesäten Radieschen, Spinat, Buschbohnen und Bohnenkraut wurden mit Micro-Sprinklern (Gardena, Ulm) eingesetzt (Bild 22). Die Ausbringmenge kann sehr stark variieren und jeweils bis zu 20 l/h betragen. Die druckkompensierenden Tropfschläuche (Gardena, Ulm) bringen etwa 4 l/h je Tropfer aus. Dies ergibt im Versuch bei 9 Tropfstellen je m² eine Bewässerung von etwa 0,6 l/min/m² bzw. etwa 2,4 l/min je Parzelle. Tropfschläuche und Mikro-Sprinkler wurden bei der Versuchsanlage mit speziellen Haken im Substrat befestigt (Bild 23).

Im Frühjahr 2014 erhielten einzelnen Varianten durch Niederschlag und Bewässerung wesentlich mehr Wasser, als für diese Kulturen optimal ist [6] [7]. Um die dabei entstehende Drainwassermenge zu minimieren, wurde die Bewässerung im Sommer 2014 bei den Kulturen minimiert. Da diese Pflanzen sich nicht optimal entwickeln konnten, wurde die Bewässerung im weiteren Versuchsverlauf wieder erhöht und die Kultur von Salaten und Paprika mit unterschiedlichen Bewässerungsmengen im Jahr 2015 getestet.

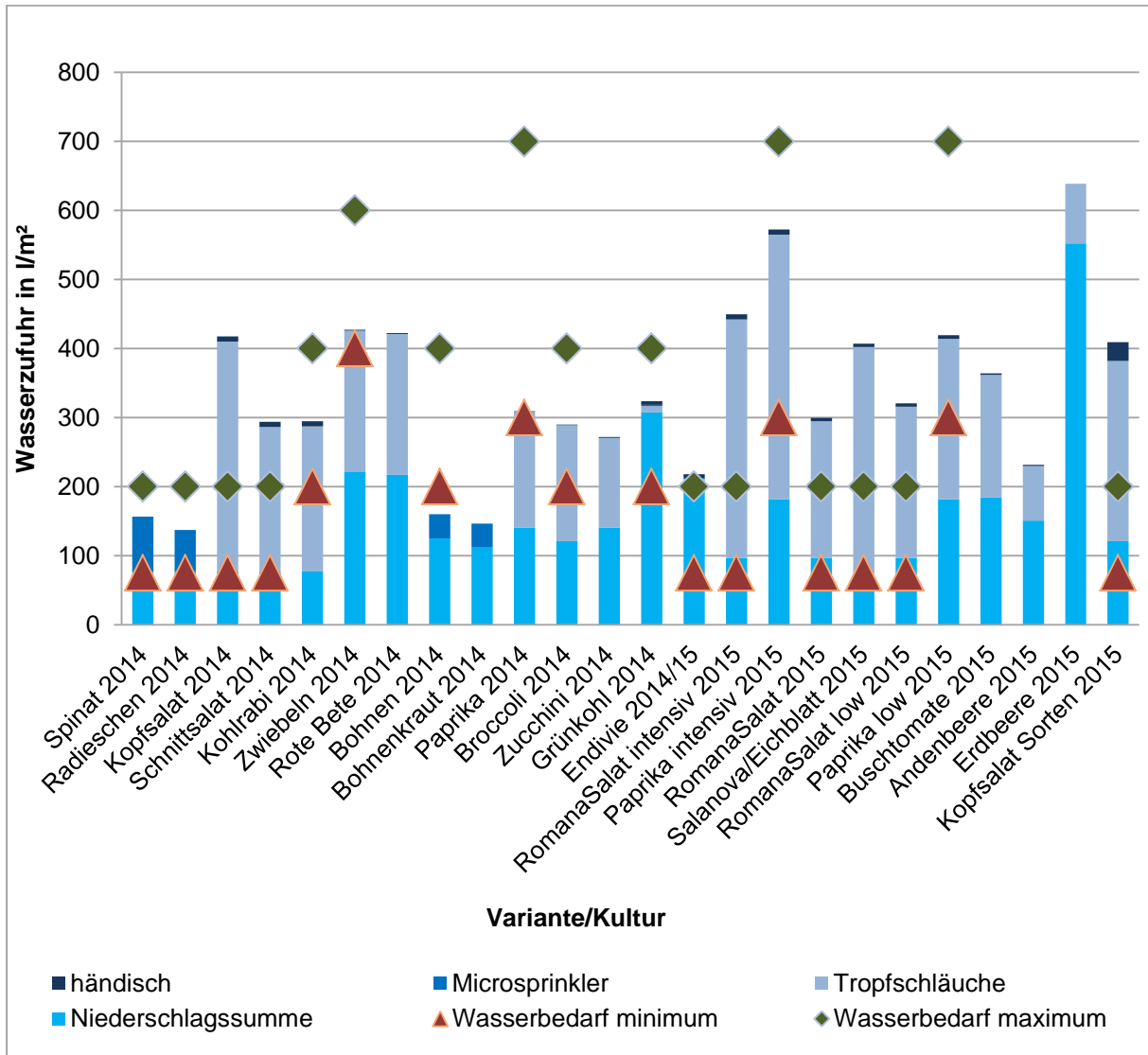


Abbildung 12: Wasserversorgung von Gemüse auf Dachmodellen mit Vergleichswerten aus dem Freilandanbau von Feldgemüse [6] [7]



Bild 22: Mikrosprinkler auf einem Dachmodell bei der Bewässerung von Buschbohnen



Bild 23: Befestigungshaken für Tropfschläuche im Dachsubstrat

Der Wasserbedarf variiert je nach Gemüseart. Bei einer Annahme von einem täglichen Wasserbedarf von etwa 0,5 bis 1 Liter pro Paprikapflanze [7] kann von einem Gesamtwasserbedarf der Kultur von etwa 300 bis 700 Litern pro m² ausgegangen werden. Die zusätzliche Bewässerungsmenge der Varianten lag zwischen 35 l/m² bei Bohnen und etwa 390 l/m² bei Paprika intensiv 2015.

Der Niederschlag unterschied sich im jeweiligen Kulturzeitraum. Während Spinat 2014 nur etwa 75 mm Niederschlag erhielt, ist im wesentlich längeren Versuchszeitraum der Erdbeeren eine Niederschlagssumme von etwa 550 mm am Standort Veitshöchheim gefallen.

3.2.2.3. Substrat-Untersuchung

Bei den verschiedenen Varianten wurden im Versuchsverlauf regelmäßig von den Parzellen gemischte Substratproben auf ihre chemischen Eigenschaften untersucht (Tabelle 5). Neben den Hauptnährstoffgehalten wurden vorwiegend der pH, der Gehalt an organischer Substanz und der Gehalt von Zink und Nickel im Dachsubstrat untersucht. Stets wurde die aktuelle Dichte des Substrats bestimmt. Am 26.06.2014 wurden auch Wasserproben des Überschusswassers (Drain) entnommen und analysiert.

Tabelle 5: Untersuchte Parameter der Varianten des Versuchs auf Dachmodellen

Datum	Analyse	Variante						Untersuchte Werte										
		1	2	3	4	5	6	N	P	K	Mg	Zn	Ni	Humus	pH	Salz	Dichte	weitere
22.03.2014	Substrat	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
13.05.2014	Substrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-
26.06.2014	Substrat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	Na, Cu Fe, Mn, B	
26.06.2014	Wasser	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	EC	-	Cl, Ca, Fe, Cu, B; °dH	
18.08.2014	Boden	x	-	x	-	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	
24.04.2015	Substrat	x	-	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	CaCo3	

3.2.2.4. Düngung der Varianten

Wegen der mineralischen Zusammensetzung des Dachsubstrats und der möglichst konstanten Anpassung der Nährstoffversorgung wurde fast ausschließlich mineralischer Dünger zugeführt. Aufgrund des geringen Stickstoffgehalts (siehe Vorversuch) von unter 0,1 g/m² (bei 80 l/m²) und den teils hohen Gehalten an Phosphor, Kalium und Magnesium wurde das Substrat vorwiegend mit Stickstoff gedüngt. Erst im Sommer 2015 wurden einzelne Varianten aufgrund des sinkenden Phosphorgehalts auch mit Triplesuperphosphat (TSP) oder einem Rasendünger gedüngt (Anhang 3). Meist wurde den Pflanzen weniger Stickstoff zugeführt, als sie tatsächlich benötigen (Abbildung 13). Lediglich der Schnittsalat 2014, der Romana-Salat 2015 und die Andenbeeren 2015 erhielten so viel zusätzlichen Stickstoff nach N_{min}, wie für diese Kulturen üblich ist (vgl. Taschenatlas Gemüse, Ulmer, 2006). Im Sommer 2015 erhielt die Variante des Paprikas in der intensiven Nutzung und der Paprika in der weniger intensiven (=low bzw. semi-intensiv) Nutzung mehr Stickstoff, als er benötigt. Dabei wurde bei der intensiven Nutzung vorwiegend Ammoniumsulfatsalpeter (ASS) aufgelöst und zur Tropfbewässerung hinzugegeben. Bei der Variante des Paprika low wurde mit einem stickstoffstabilisierendem ENTEC 26 direkt in Granulatform auf das Substrat gedüngt. Einzelne Varianten wurden zusätzlich mit einem langsam wirkenden Rasendünger gedüngt. Die Variante Romana Salat low erhielt etwa 5 g N/m² ausschließlich über diesen Dünger.

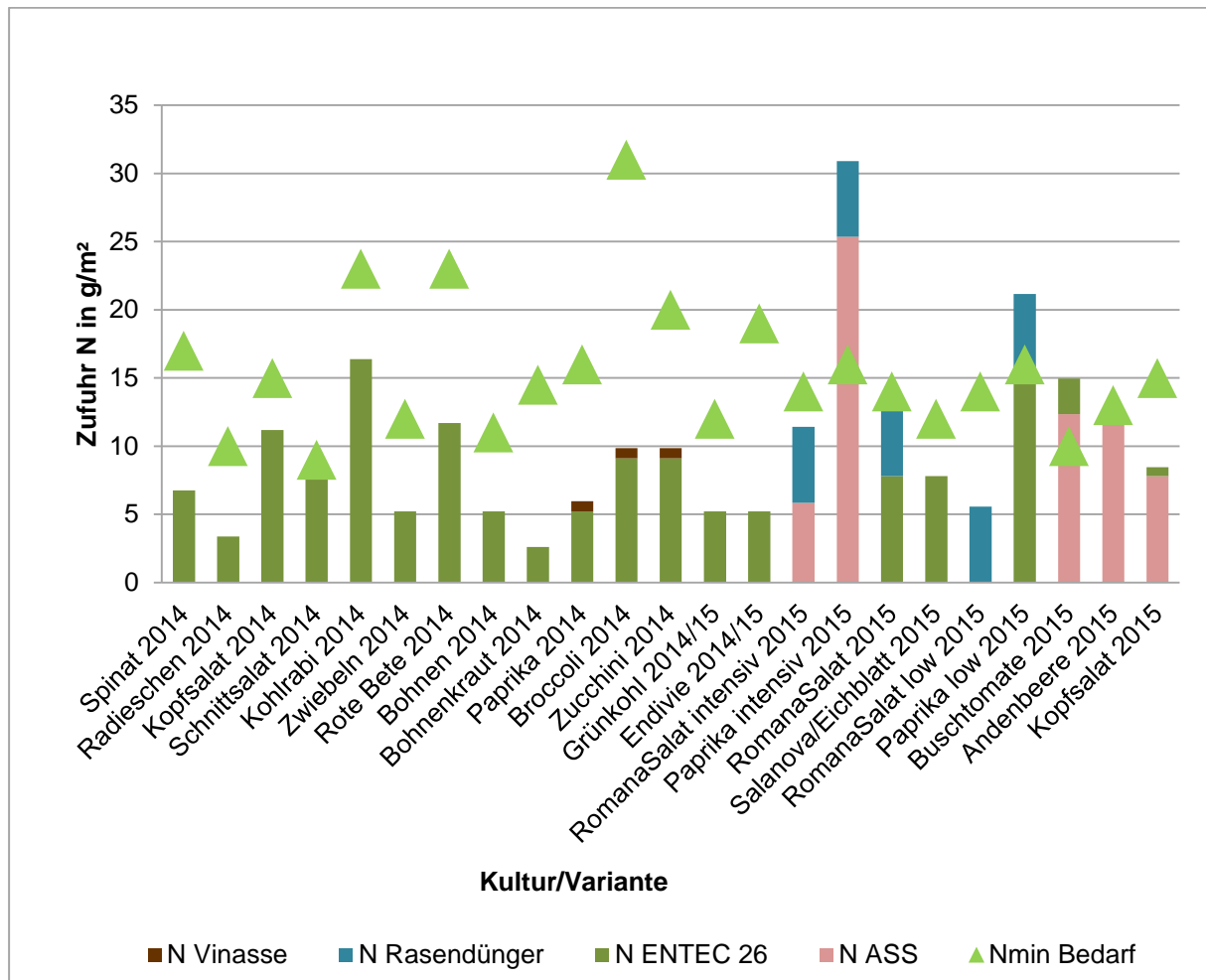


Abbildung 13: Tatsächlicher Bedarf und zugeführte Stickstoffdüngung der Varianten und Kulturen mit unterschiedlichen Düngern

3.2.2.5. *Temperaturaufzeichnungen*

Im Sommer 2015 wurden Temperatursensoren Thermochron iButton DS1921G-F5# (maxim integrated, San Jose, USA) im Substrat einzelner Parzellen vergraben. Mit den batteriebetriebenen Sensoren wurde stündlich die Temperatur am Standort gemessen (Größe je ca. 16 mm, Messbereich: -40°C bis 85°C, Auflösung 0,5°C bzw. 2°C, Abweichung: +-1 °C, Messfrequenz 1-255 Minuten, Speicher 2048). Die iButtons wurden zum Schutz vor Schmutz und Wasser eingeschweißt (Bild 24)

Nach der Messung wurden die Daten ausgelesen und zwischen den Varianten und Wiederholungen, sowie den Daten einer Wetterstation am Standort Veitshöchheim [5] verglichen. Dort sind neben Lufttemperatur in 2 m Höhe, Lufttemperatur in 20 cm, Bodentemperatur 5 cm und Luftfeuchte unter anderem auch Niederschlag und Globalstrahlung abrufbar.



Bild 24: Eingeschweißte iButtons

3.2.2.6. Kultur- und Erntearbeiten

Es wurden im Versuchsverlauf neben der Anlage der Modelldächer auch weitere Arbeiten durchgeführt. Neben der händischen mineralischen Düngung von Stickstoffgranulaten erfolgten auch händische Erntegänge. Schnittsalat wurde für ein erneutes Austreiben am Vegetationspunkt geschnitten (Bild 25). Kopfsalat wurde am Wurzelhals geschnitten (Bild 26) und entsprechende Umblätter und Erdpresstöpfe und Strünke aufgesammelt.



Bild 25: Ernte von Schnittsalat am 23.04.2014



Bild 26: Ernte von Kopfsalat am 08.05.2014

Verschiedene Kräuter wurden geschnitten und gebündelt (Bild 27). Paprika wurde regelmäßig geerntet und bonitiert und am 19.10.2015 in getrennten Partien geerntet und gewogen (Bild 28).



Bild 27 Ernte von Kräutern am 18.06.2014



Bild 28: Bonitur und Wiegen beim Abräumen der Paprikapflanzen am 19.10.2015

Der Grünkohl wurde möglichst komplett aus dem Substrat entnommen. Die Grünkohlblätter wurden anschließend von der Pflanze getrennt und gewogen (Bild 29). Auch die Rote Bete wurde in getrennten Anteilen von Laub und Wurzel gewogen (Bild 30).



Bild 29 voll entwickelte Grünkohlpflanze nach dem Herausziehen zur Ernte am 13.02.2015



Bild 30: Trennung von Rote-Bete-Wurzel von Blattmasse bei der Ernte am 07.08.2014

Um mögliche Beschädigungen der reifen Erdbeerfrüchte durch Vögel zu vermeiden wurden Kulturschutznetze ausgebracht. Dadurch wurden keine Früchte beschädigt aber einzelne wurden nur unzureichend durch Insekten bestäubt. Dies führte zu Verformungen der Erdbeerfrüchte (Bild 31).

Um eine bessere Pflanzenentwicklung bei einzelnen Kulturen zu ermöglichen, wurden die Dachmodelle von Unkräutern befreit (Bild 32).



Bild 31 Verformung der Erdbeerfrucht bei unzureichender Bestäubung durch Einsatz von Kulturschutznetzen (08.06.2015)



Bild 32: Unkrautpflege auf den Dachmodellen am 15.07.2015

3.2.3. Ergebnisse

3.2.3.1. Substratanalysen

Die Ergebnisse der Substratanalysen im Versuchsverlauf wurden miteinander verglichen (Abbildung 14). Vor der ersten Düngung der Substrate im März 2014 wurde ein Stickstoffgehalt von maximal 0,45 g pro Liter Substrat gemessen. Bei dem verwendeten Substrataufbau von etwa 8 cm Schichtdicke ergibt sich ein Stickstoffgehalt von etwa 35 g/m². Im weiteren Verlauf ist der Gehalt bis auf 0,05 g Stickstoff (N) je Liter Substrat gesunken. Dies entspricht nur etwa 4 g N/m². Um eine gute Pflanzenentwicklung zu ermöglichen wurden die Kulturen im Sommer 2014 wieder gedüngt. Bei den Varianten 3, 4 und 5 konnte am 26.06.2014 ein Stickstoffgehalt von etwa 0,25 g/l Substrat gemessen werden. Dies entspricht in etwa einem Nährstoffgehalt von 20 g N/m². Bis August 2014 fiel der Gehalt an Stickstoff im Substrat wieder ab. Je nach Gemüsekultur sollten Stickstoffgehalte zwischen 5-35 g N/m² angestrebt werden. Die FLL-Richtlinie für einschichtige extensive Gründächer empfiehlt allerdings einen Stickstoffgehalt im Dachsubstrat von unter 5 g N/m².

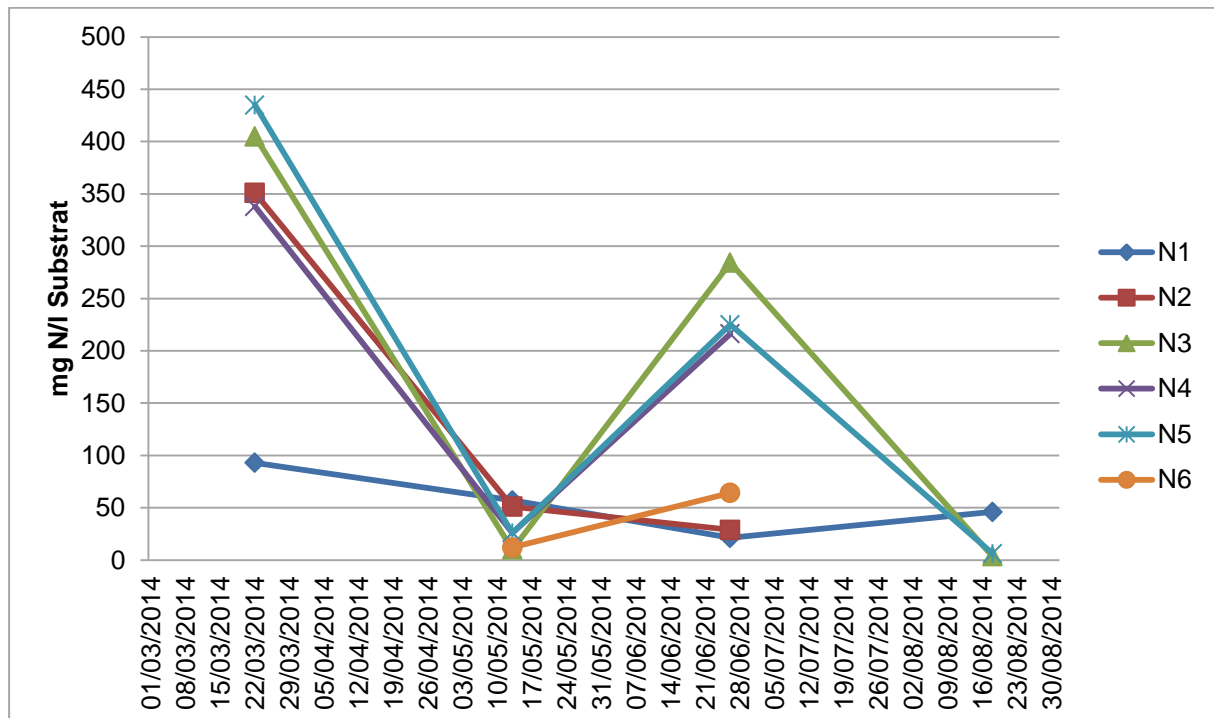


Abbildung 14: Veränderung des Stickstoffgehalts der Varianten im Versuchsverlauf 2014

Die Humusgehalt der Varianten 4 und 5 erhöhte sich bis zum 13.05.2014 auf etwa 7 %. Im weiteren Verlauf verringerte sich der Humusgehalt aller Varianten, trotz regelmäßiger Ausbringung von Erdpresstöpfen und Ernteresten (Abbildung 15). Für herkömmliche extensive Dachbegrünungssubstrate wird eine maximale organische Substanz von 40 g/l Substrat empfohlen. Dies entspricht meist ein etwa 3 Gew.-%.

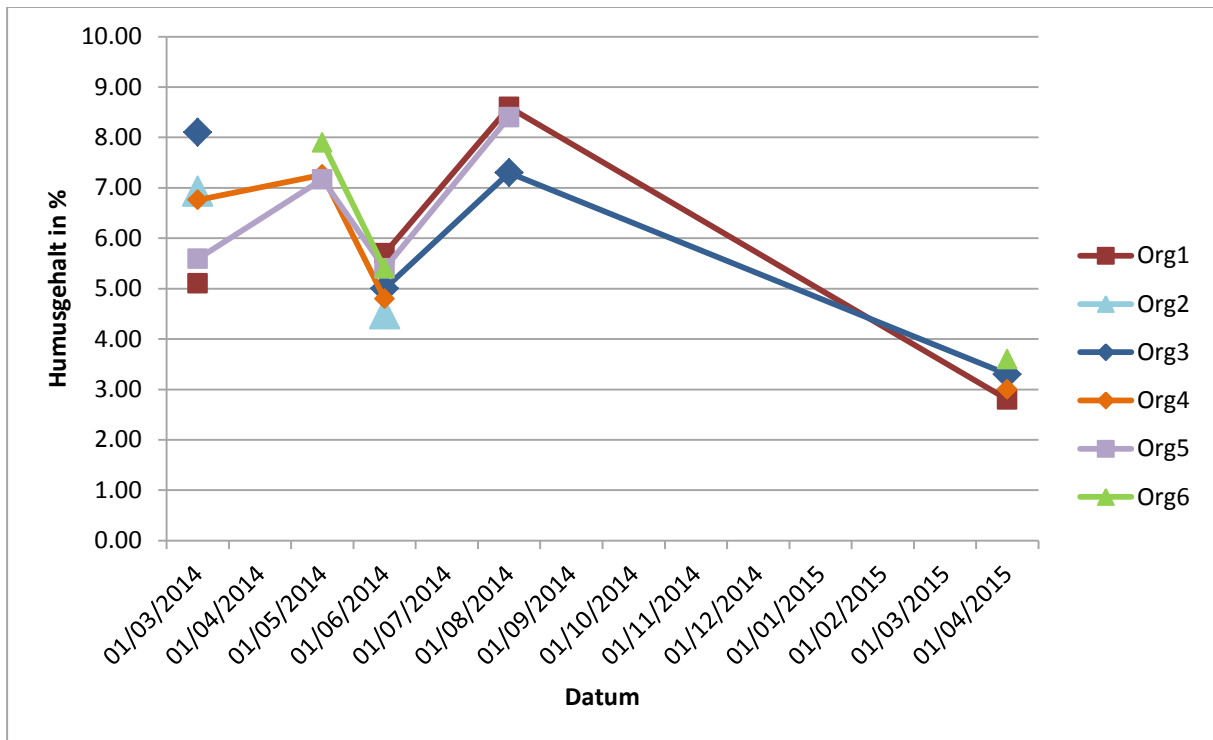


Abbildung 15: Veränderung des Humusgehalts des Substrats bei unterschiedlichen Varianten im Versuchsverlauf

Die Gehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium wurden mit Empfehlungen aus dem Gartenbau für Pflanzen mit unterschiedlichem Nährstoffbedarf verglichen [8].

Der Phosphorgehalt im Substrat war im Versuchsverlauf meist ausreichend (Abbildung 16). Erst im März 2015 wurde Phosphat gedüngt. Danach wurde allerdings auch keine Erhöhung des Gehalts festgestellt.

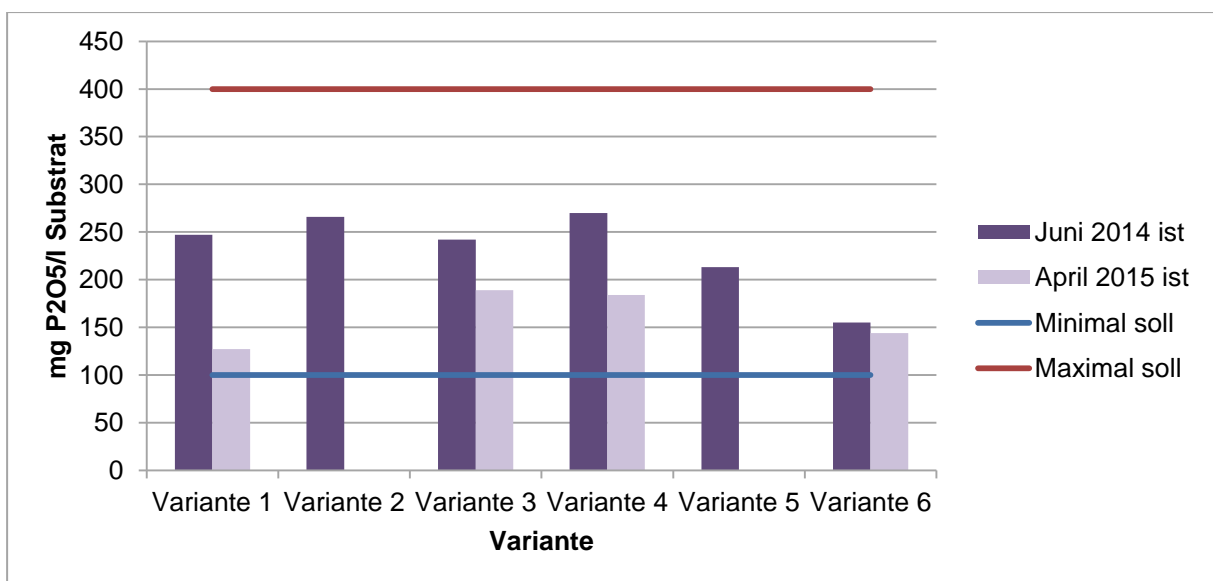


Abbildung 16: Vergleich des Gehalts an P2O5 im Substrat der Varianten auf den Dachmodellen

Der Gehalt an Kalium im Dachsubstrat war bei allen Varianten im Juni 2014 mehr als ausreichend (Abbildung 17). Im zweiten Anbaujahr sank der Gehalt auf etwa die Hälfte. Für Kulturen mit geringem Nährstoffbedarf ist diese Menge auch ausreichend. Dennoch ist eine Kaliumdüngung nach einem Jahr zu empfehlen.

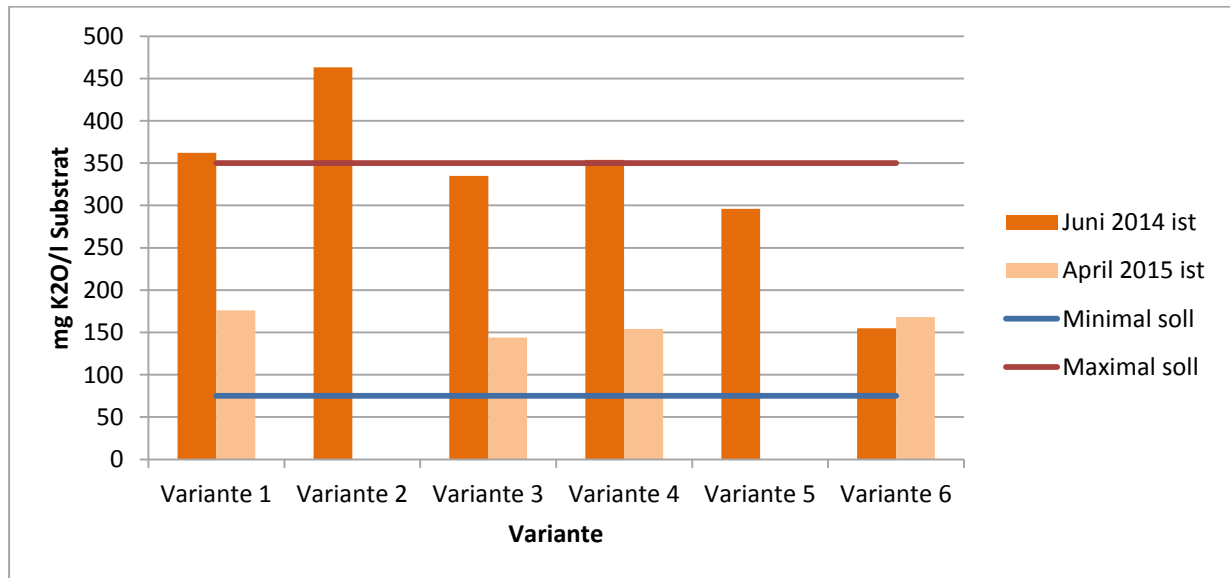


Abbildung 17: Vergleich des Gehalts an K₂O im Substrat der Varianten auf den Dachmodellen

Der Gehalt an Magnesium im Dachsubstrat lag bei allen Varianten im Juni 2016 über 100 mg/l, und somit ausreichend für die meisten Kulturen (Abbildung 18). Im Messzeitraum wurde deshalb keine Magnesiumdüngung durchgeführt. Bis April 2015 sank bei einzelnen Varianten der Gehalt bis auf die Hälfte. Für Kulturen mit höherem Magnesiumbedarf muss deshalb nach einem Anbaujahr bereits eine Magnesiumdüngung erfolgen.

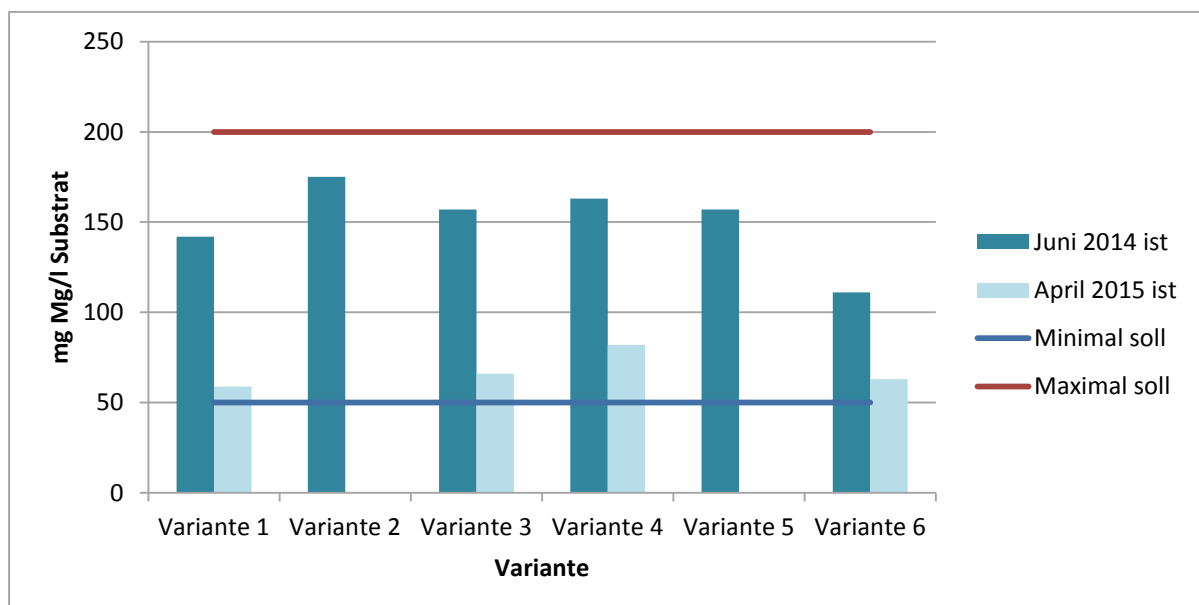


Abbildung 18: Vergleich des Gehalts an MgO im Substrat der Varianten auf den Dachmodellen

3.2.3.2. Drainwasser

Bei der Bewässerung der Dachmodelle fiel Überschusswasser an, das am Auslauf mit Eimern aufgefangen wurde. An einzelnen Terminen wurde nach einer Bewässerung das Drainwasser in seiner Quantität und Qualität erfasst. Einzelne Proben wurden im Labor auf Nährstoffgehalte und die damit verbundene Auswaschung von Nährstoffen aus dem Substrat untersucht.

Da nicht zu jedem Bewässerungs- und Düngungszeitpunkt das Drainwasser erfasst wurde, können keine Rückschlüsse auf die tatsächlich verfügbare Wassermenge und Nährstoffmenge gemacht werden. Bei der Überversorgung an Wasser und der Mobilisierung von Nährstoffen können diese ausgewaschen werden und im offenen System nicht mehr zu den Pflanzen zurückgeführt werden.

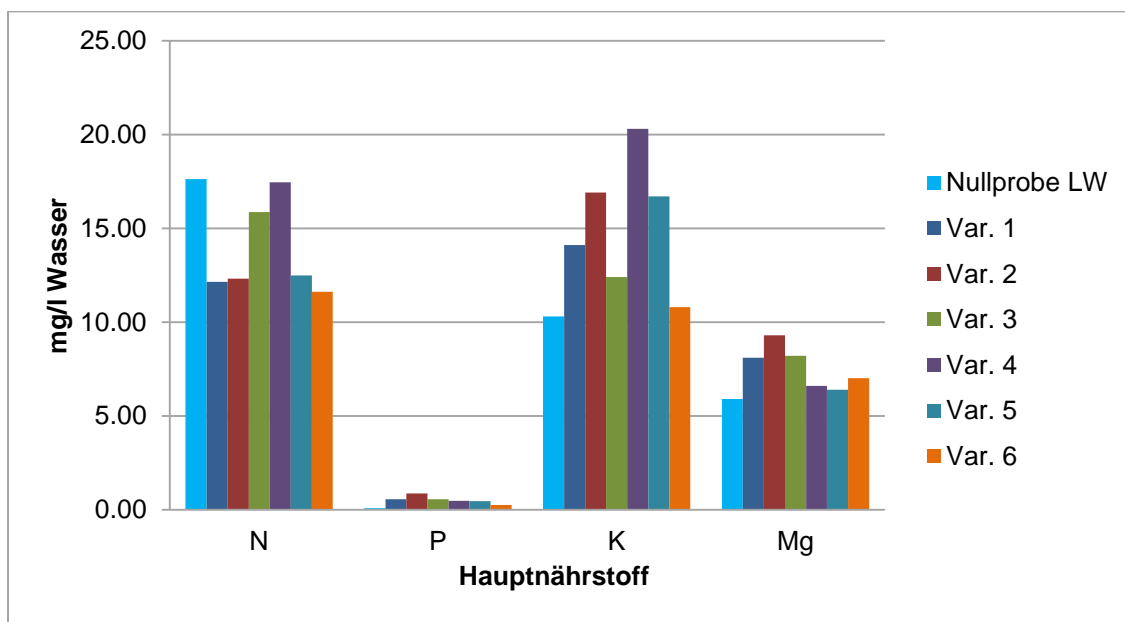


Abbildung 19: Analyseergebnisse zum Nährstoffgehalt im Drainwasser der Dachmodelle (Mischprobe) am 26.06.2014 nach einem Bewässerungsintervall

Wird der Gehalt an Nährstoffen im Drainwasser mit dem Gehalt im Gießwasser (Nullprobe) verglichen, konnte im Drainwasser aller Varianten eine geringere Konzentration an Stickstoff (N) gemessen werden, als bei der Nullprobe. Lediglich die Gehalte an Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg), die bereits in einer Überversorgung im Substrat vorhanden sind, wurden in höheren Mengen im Drainwasser

erfasst und somit beim Substrat in sehr geringen Mengen ausgewaschen (Abbildung 19).

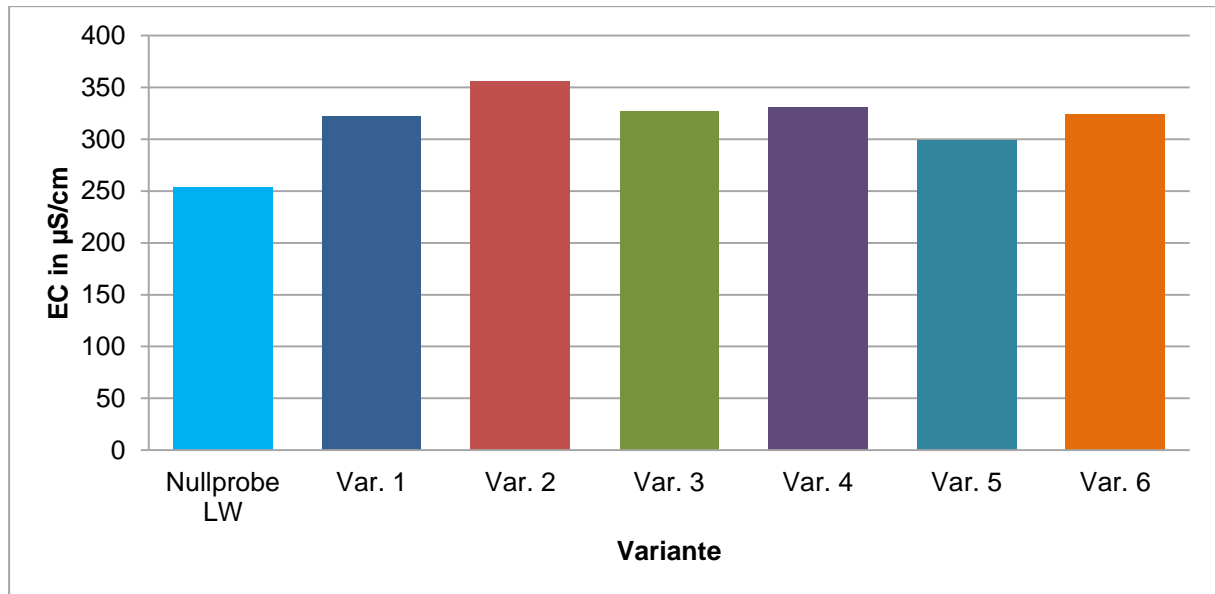


Abbildung 20: Analyseergebnisse zur elektrischen Leitfähigkeit im Drainwasser der Dachmodelle (Mischprobe) am 26.06.2014 nach einem Bewässerungsintervall

Die elektrische Leitfähigkeit war bei allen Varianten mit $0,3 \text{ mS}/\text{cm}$ nur geringfügig höher als die Nullprobe ($0,25 \text{ mS}/\text{cm}$). Die sehr geringe Auswaschung an den Nährstoffen P, K und Mg erhöht auch nur in geringem Maße den EC des Wassers (Abbildung 20).

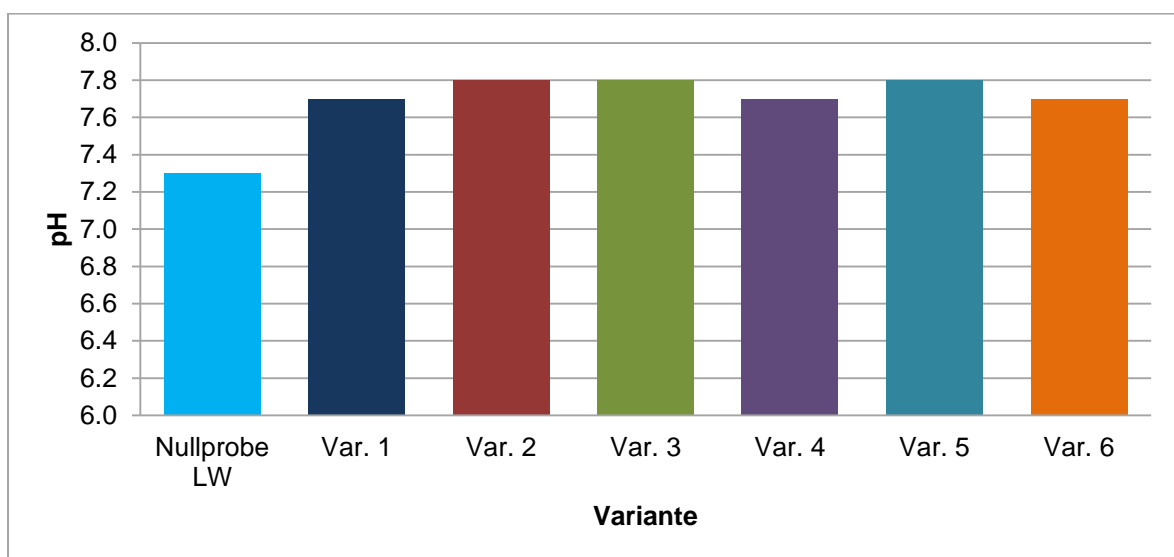


Abbildung 21: Analyseergebnisse zum pH im Drainwasser der Dachmodelle (Mischprobe) am 26.06.2014 nach einem Bewässerungsintervall

Der pH-Wert des Gießwassers liegt bei 7,3 und ist bei allen Varianten des Drainwassers der Dachmodelle mit Werten von 7,7 bzw. 7,8 etwas höher (Abbildung 21).

3.2.3.3. *Marktfähigkeit und Vitalität*

Die Vitalität und Eigenschaften der Gemüsearten für ihre Marktfähigkeit wurden zwischen den Gemüsearten und Varianten unterschiedlich bewertet.

Die Qualität der Buschbohnen ist bei etwa 70 bis 90 % der Erntemenge zufriedenstellend. Meist waren dort nur sehr geringe Mängel vorhanden und die Bohnen konnten sich gut entwickeln.

Die Kohlrabis hatten an unterschiedlichen Positionen auf den Dachmodellen auch verschiedene Qualitäten. Bei dem Vermarktungskriterium eines Mindestdurchmessers von 80 mm mussten die Pflanzen auch frei von Schäden und Schädlingen sein. An der letzten Position der Parzellen wurden gar keine Kohlrabis geerntet, da diese vollkommen ausfielen. Auch an den weiteren Positionen im unteren Bereich waren nur sehr wenig Kohlrabis von guter Qualität (Abbildung 22). Dennoch war der Pflanzenbestand sehr gut entwickelt (Bild 33). An den Positionen 2, 3 und 6 wurden sogar über 80 % der Kohlrabis für marktfähig beurteilt. Da sich an einzelnen Tagen Stauwasser im unteren Bereich des Substrats gebildet hat, konnten die Pflanzen sich aufgrund der heterogenen Wasserversorgung sehr unterschiedlich entwickeln.



Bild 33 Kohlrabibestand auf einem Dachmodell

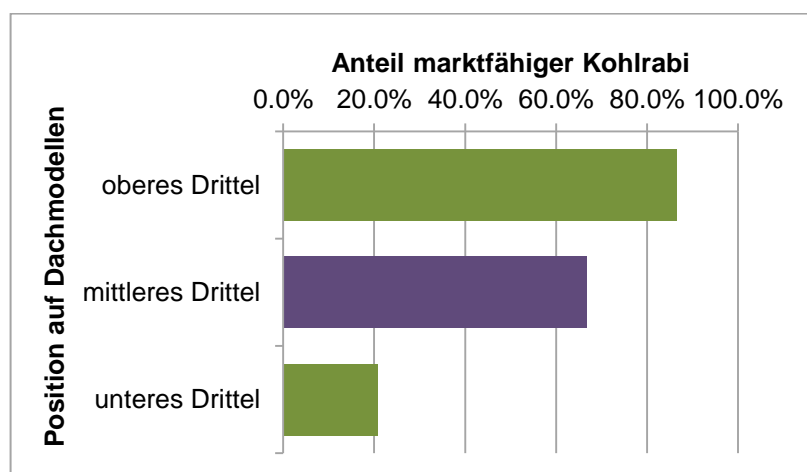


Abbildung 22: Mittlerer marktfähiger Anteil (bei Durchmesser >80 mm) von Kohlrabiknollen beim Anbau auf unterschiedlichen Positionen der Dachmodelle im Frühling 2015

Die Paprikapflanzen entwickelten sich bei unterschiedlichen Wasser- und Nährstoffgaben teils unterschiedlich. Im Sommer 2014 wurde der Anbau von Paprika mit wenig Nährstoffen und wenig Wasser sehr extensiv betrieben. Die Pflanzen waren sehr gelb und konnten sich kaum entwickeln (Bild 34). Im Sommer 2015 wurden neben Salaten und verschiedenen Aussaaten auch Paprika kultiviert. Die semi-intensive Variante erhielt dabei etwas weniger Wasser und Nährstoffe als die intensive Variante. Beide wurden besser versorgt als die Kultur 2014. Die semi-intensive Variante hatte einen etwas kleineren Habitus während die intensive Variante den stärksten Wuchs mit geringen Mängeln aufwies (Bild 35 und Bild 36).



Bild 34: Paprika extensiv angebaut auf einem Dachmodell am 11.09.2014



Bild 35: Paprika mit Ansaaten semi-intensiv angebaut auf einem Dachmodell am 29.09.2015



Bild 36: Paprika mit Ansaaten intensiv angebaut auf einem Dachmodell am 29.09.2015

3.2.3.4. Erträge

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

Erträge von Kräutern

Unterschiedliche Kräuter wurden in ihrer Frischmasse erfasst. Schnittlauch wurde im Versuchszeitraum fast durchgehend geerntet. Die Erträge waren je nach Erntetermin zwischen 202 und 898 g/m². Dabei wurde dem Schnittlauch nur selten eine eingeschränkte Marktfähigkeit mit einer Boniturnote von 5 oder geringer eingeräumt (Abbildung 23).

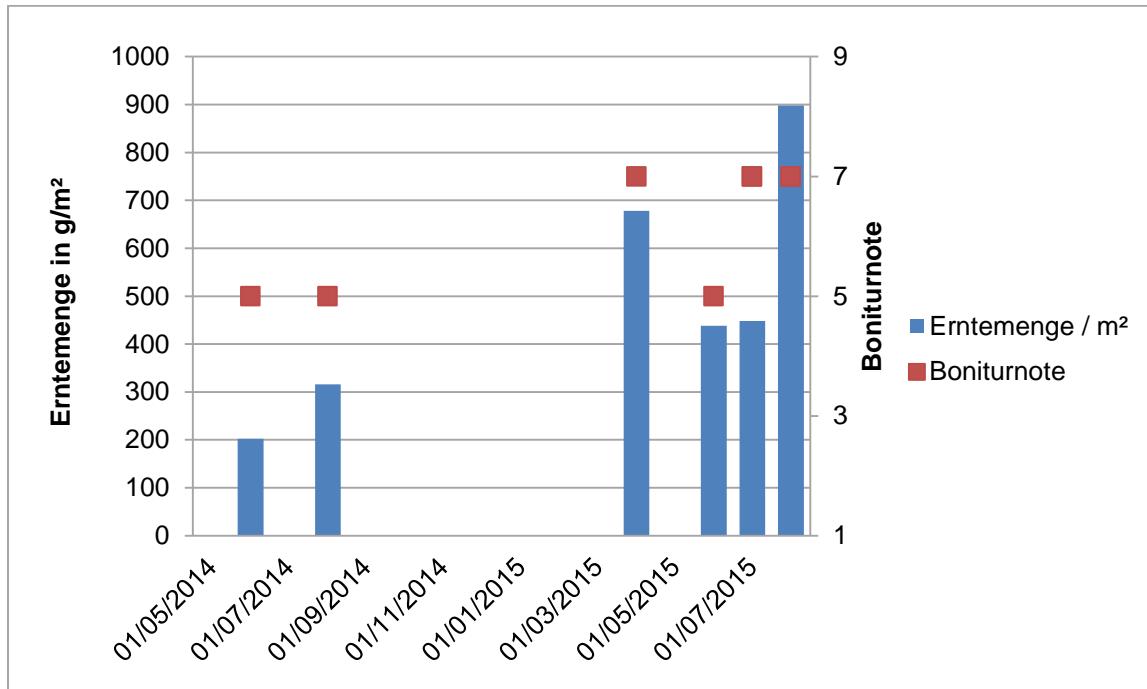


Abbildung 23: Ernte- und Boniturverlauf (1=Pflanze kümmert bis 9=Wuchernd) von Schnittlauch

Basilikum wurde nach der ersten Ernte im Juni 2014 nochmal im August 2014 geerntet. Bei der zweiten wurden höhere Erträge erfasst, als bei der ersten. Während im Juni im unteren Bereich ein Ertrag von 435 g/m² erfasst wurde, hatte dort das Basilikum im August 940 g/m² (Abbildung 24).

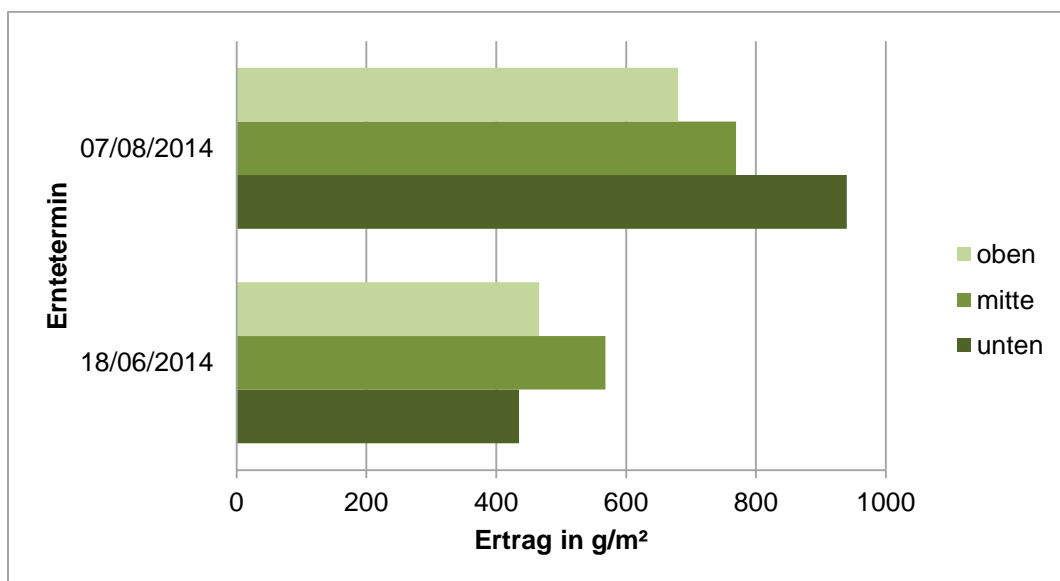


Abbildung 24: Flächenertrag von Basilikum (mittel) an unterschiedlichen Abschnitten der Dachmodelle bei zwei Ernten

Im oberen Bereich der Dachmodelle wurden geringere mittlere Erträge von Petersilie festgestellt (ca. 280 g/m²), als im unteren Bereich (ca. 600 g/m²).

Erträge von Spinat und Radieschen

Beim Spinat wurden im Frühling 2014 je nach Parzelle und Abschnitt marktfähige Erträge zwischen nahezu 0 und 270 g/m² gemessen. Vor allem im oberen Bereich der Dachmodelle waren die Erträge wesentlich höher, als im unteren Bereich (Abbildung 25).

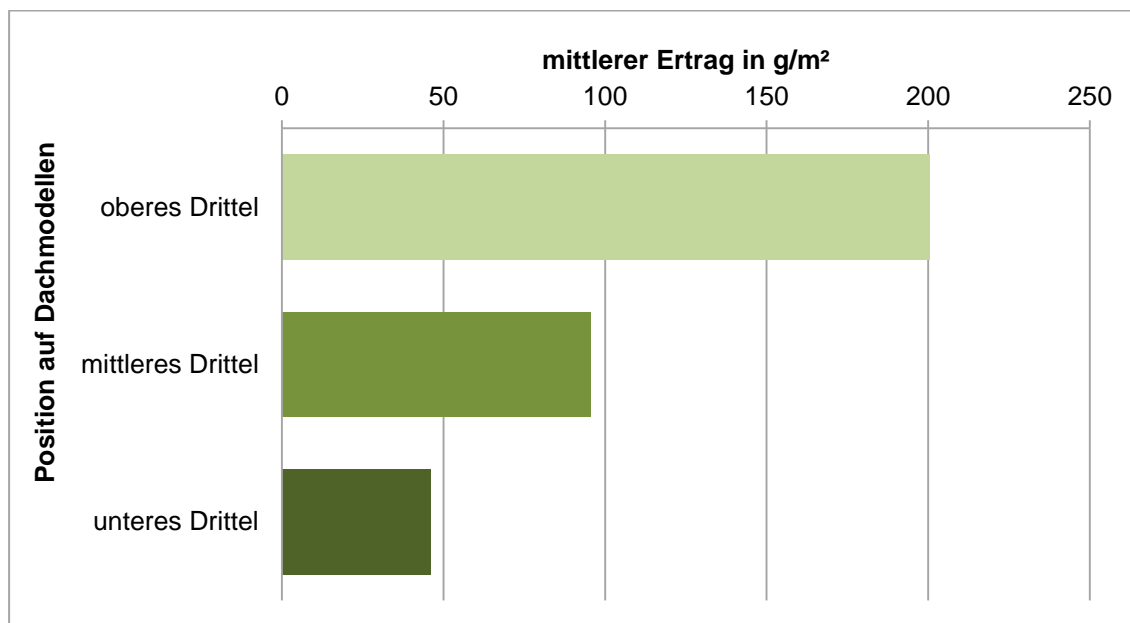


Abbildung 25: Flächenertrag von Spinat im Frühling 2014 nach Abschnitten auf den Dachmodellen

Radieschen wurden in den gleichen Parzellen als Reihemischkultur kultiviert, wie Spinat (Bild 37). Die Radieschen hatten aber teils höhere Erträge im unteren Abschnitt der Dachmodelle. Während im obersten Abschnitt Radieschenwurzeln der Parzelle 7 nur mit 1922 g/m² geerntet wurden, waren die Radieschen im unteren Bereich der gleichen Parzelle mit 3736 g/m² fast doppelt so schwer. Allerdings unterscheiden sich die weiteren Partien kaum voneinander (Abbildung 26). Vor allem die Frischmasse des Radieschenlaubes verzeichnet kaum Unterschiede zwischen den Positionen.



Bild 37 Dachmodell mit Spinat und Radieschen bei der Ernte in Abschnitten 2014

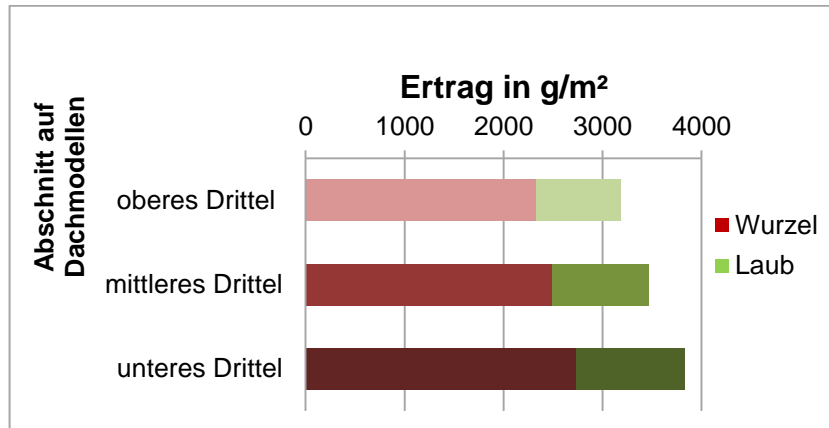


Abbildung 26: Mittlerer Ertrag von Radieschen im Frühling 2014 bei einzelnen Dachmodellen und Abschnitten getrennt nach Laub und Wurzel

Erträge von Broccoli

Das geerntete Gewicht einzelner Broccoli-Strünke unterschied sich auch bei den Positionen auf den Dachmodellen. Während im oberen Bereich der Ertrag bei etwa 80 g/Stück lag, erreichte ein Strunk im unteren Bereich durchschnittlich 130 g (Abbildung 27). Allerdings waren alle Broccoli-Pflanzen aufgrund eines Befalls mit Weißer Fliege nur begrenzt für eine Auswertung geeignet.

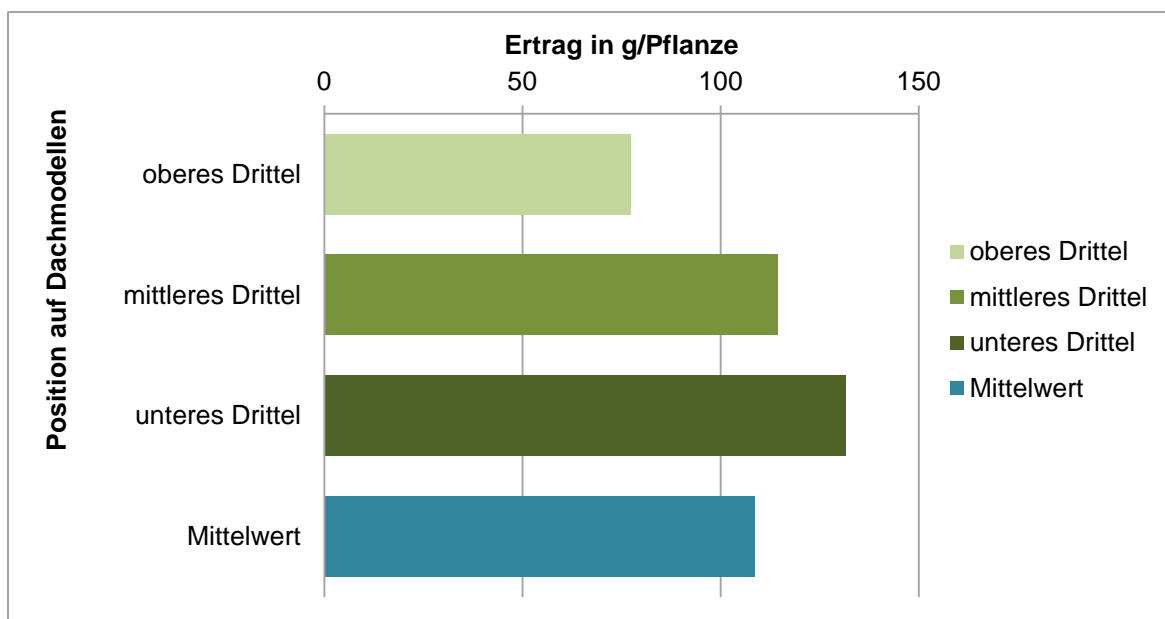


Abbildung 27: Mittlere Erträge von Broccolipflanzen an unterschiedlichen Positionen auf Dachmodellen

Erträge von Rote Bete und Zwiebel

Die gesamte Frischmasse der Roten Bete auf den Dachmodellen betrug bis zu etwa 7500 g je Parzelle. Durch das Qualitätskriterium eines Mindestdurchmessers der Knolle von 40 mm (Bild 38) und dem Kriterium der Schädlings- und Schadensfreiheit konnte nur ein Teil des Gemüses für vermarktungsfähig beurteilt werden. Dennoch wurden durchschnittlich etwa 1297 Gramm vermarktungsfähige Rote Bete je Quadratmeter geerntet. Im Durchschnitt hatten etwa 771 g/m² keine ausreichende Qualität. Die Laubmasse betrug nur etwa 243 g/m². In den Abschnitten unterschied sich nach einem F-Test ($p=95\%$) kein Abschnitt der Roten Bete signifikant voneinander.



Bild 38: Rote Bete mit Mindestgröße von 40 mm Durchmesser bei der Ernte



Bild 39: Abb.: Zwiebelpflanzen auf dem Dachmodell am 07.08.2014

Auf den gleichen Dachmodellen der Roten Bete wurden auch Zwiebeln angebaut und geerntet. Der Flächenertrag der Zwiebeln unterschied sich teils in den einzelnen Abschnitten und Parzellen um bis zu 3,5 kg. Auf den Dachmodellen war der Unterschied aber kaum optisch erkennbar (Bild 39) und nach einem durchgeführten F-Test ($p=95\%$) keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen zwischen den Abschnitten festgestellt.

Erträge von Zucchini

Im Versuchsverlauf konnten regelmäßig gelbe und grüne Zucchini Früchte geerntet werden. Die Flächenerträge variierten stark zwischen einzelnen Zucchini Pflanzen. Es wurden Flächenerträge einzelner Pflanzen zwischen 500 und bis zu 6000 g/m² erfasst. Im Mittel haben sich die Zucchini Pflanzen zwischen den einzelnen Wiederho-

lungen sehr ähnlich entwickelt. Die acht Pflanzen je Parzelle bewirkten eine gute Deckung der Fläche.

Bei den Erträgen wurden nach der statistischen Auswertung Unterschiede zwischen den Pflanzpositionen (siehe Abbildung 11, Seite 27) festgestellt. So wurden die signifikant höchsten Erträge an der Position 6 (im oberen Rechten Abschnitt der Modelle) mit durchschnittlich 4318 g/m² erfasst. Die Erträge der Zucchiniplanzen an Position 4 (obere Mitte) waren signifikant höher als die Erntemenge an den Positionen 2,3 und 8. Alle anderen Zucchinipositionen unterschieden sich in ihren Erträgen nur zufällig voneinander (Abbildung 28). Im oberen Bereich des Dachmodells wurden allerdings insgesamt höhere Erträge erzielt, als im unteren Bereich.

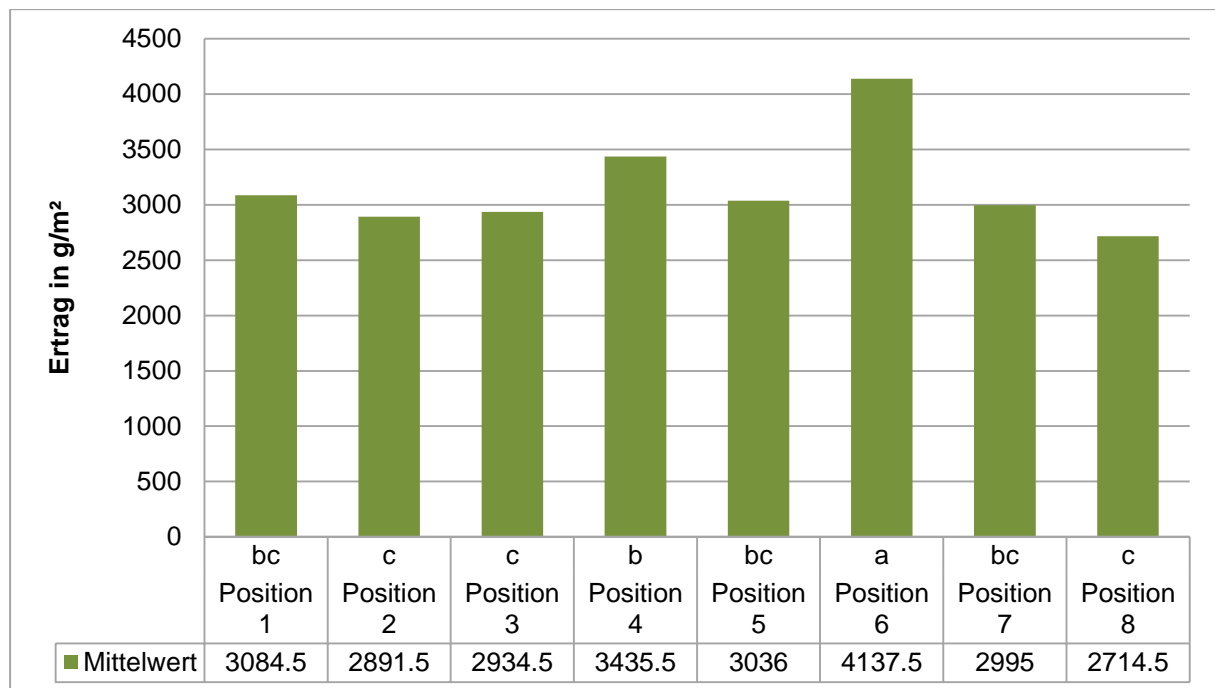


Abbildung 28: Mittlere marktfähige Erträge von Zucchini im Sommer 2014 nach Positionen auf den Dachmodellen (Bonferoni-95 %GD: 478,5 g, $\alpha=5\%$, Erträge mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander)

Erträge von Erdbeeren

Die unterschiedlichen Erdbeersorten (Bild 40) auf den Dachmodellen erzielten trotz gleicher Düngung und Bewässerung im gleichen Versuchszeitraum sehr unterschiedliche Erträge. Während die Sorte 'Lambada' nur etwa 340 g/m² erbrachte, trug die

Sorte 'Elsanta' mit etwa 650 g/m² fast doppelt so viel. Bei den Monatserdbeeren wurde das sehr hohe Gewicht von 1214 g/m² im Versuchszeitraum erfasst (Abbildung 29).



Bild 40: Erdbeerpflanzen auf einem Dachmodell vor Erntebeginn im Mai 2015

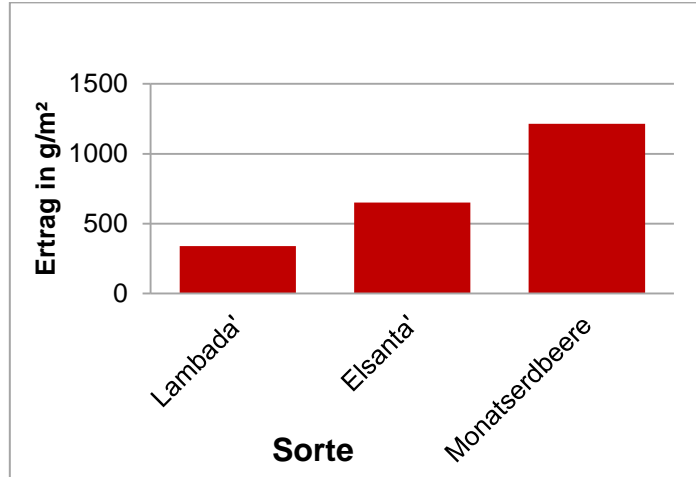


Abbildung 29: Mittlere Erntesumme unterschiedlicher Erdbeersorten auf den Dachmodellen im Jahr 2015

Im zeitlichen Ernteverlauf waren die Erträge zwischen den Sorten im Mai 2015 bei den Erntegängen sehr ähnlich. Jedoch konnten noch im August 2015 sehr hohe Erträge durch die Monatserdbeere erzielt werden (Abbildung 30).

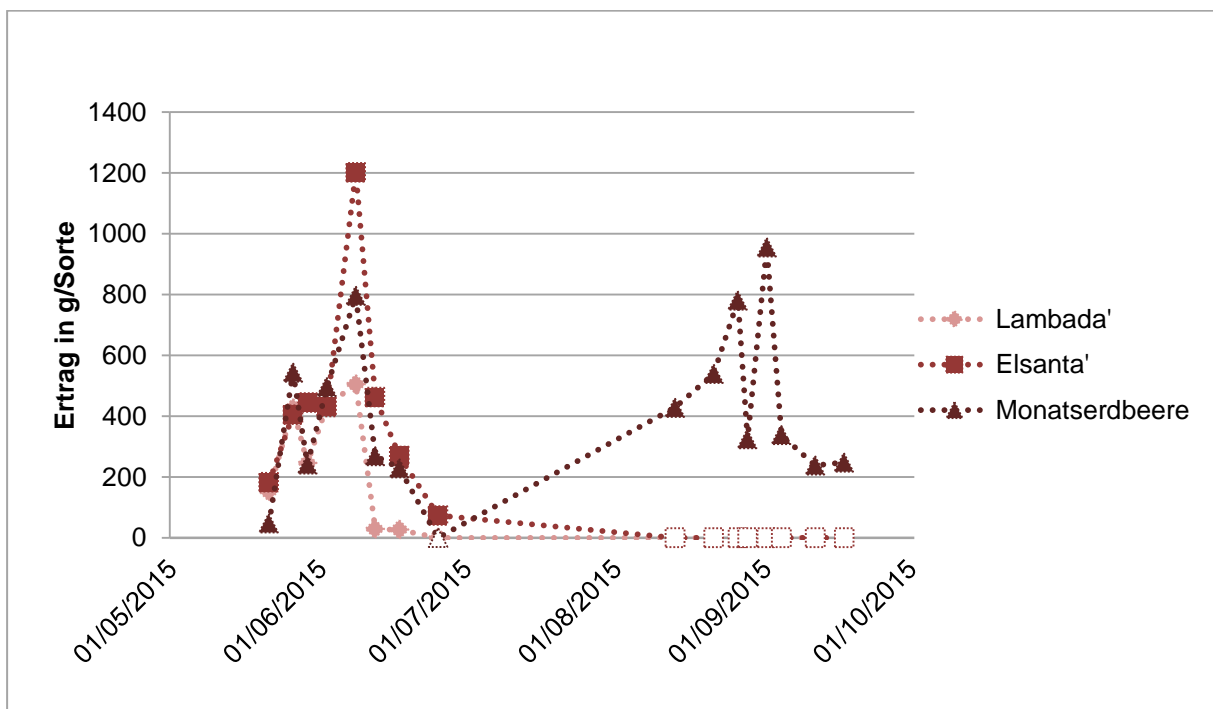


Abbildung 30: Erträge von Erdbeeren unterschiedler Sorten auf den Dachmodellen im Sommer und Herbst 2015

Bei einer sensorischen Beurteilung der verschiedenen Sorten wurde keine negativ bewertet. Die Sorten unterschieden sich vorwiegend in ihrer typischen äußeren Erscheinung und bei genaueren Geschmackstests.

Erträge von Endivie und Grünkohl

Endiviensalat wurde im Herbst 2014 mit Erträgen zwischen 1385 und 2066 g/m² geerntet. In den einzelnen Positionen auf den Dachmodellen unterschied sich der Salat kaum im Gewicht. Auch der Pflanzenbestand entwickelte sich sehr homogen (Bild 41).



Bild 41: Endiviensalat neben Grünkohl auf einem Dachmodell



Bild 42: Grünkohl am 07.01.2015 auf einem Dachmodell

Grünkohl wurde im Herbst 2014 neben dem Endivie kultiviert (Bild 42) und im Winter 2015 in zwei Erntegängen geerntet. Die Erträge von einzelnen Abschnitten waren zwischen 465 und 887 g/m². Der mittlere Flächenertrag betrug 633 g/m². Bei einem F-Test (p=95 %) wurden keine Unterschiede in der Erntemenge zwischen den Positionen der Grünkohlpflanzen festgestellt. Die Pflanzen haben sich allerdings nur auf einer kompakten Höhe entwickelt.

Erträge von Buschtomaten und Andenbeeren

Die Erträge der Buschtomaten im Sommer 2015 unterschieden sich zwischen den Wiederholungen und Positionen kaum. Im Mittel lag die Erntemenge der Tomaten bei etwa 1 kg/m². Die Pflanzen blieben über den Versuchszeitraum auch sehr kompakt und konnten keine flächige Begrünung ermöglichen (Bild 43).



Bild 43: Buschtomatenpflanzen und Physalis auf einem Dachmodell am 09.10.2015

Die Andenbeeren wurden direkt neben den Tomaten kultiviert. Es wurden im Versuchszeitraum keine vermarktungsfähigen Früchte geerntet. Beim Abräumen der Variante wurde lediglich die Frischmasse erfasst. Je nach Parzelle wurden hier bis zu 4 kg/m² gewogen. Die mittlere Frischmasse der Pflanzen mit Fruchtansätzen lag bei den Modellen bei etwa 3670 g/m². Entgegen der Pflanzenentwicklung der Tomaten konnte sich die Andenbeere sehr gut auf dem Dachmodell ausbreiten und ermöglichte eine sehr gute flächige Deckung auf dem Substrat (Bild 43)

Erträge von Salaten

Der Schnittsalat auf den Dachmodellen wurde zweimal geschnitten. Beim ersten Erntegang unterschieden sich die Erträge zwischen den Sorten kaum. Beim zweiten war insgesamt der höchste mittlere Ertrag mit etwa 214 Gramm je 3 Pflanzen bei der grünen Schnittsalatsorte (Abbildung 31). Die Schnittsalatpflanzen konnten sich insgesamt sehr gut auf den Dachmodellen entwickeln und hatten nahezu keine Mängel und entlang der Tropfschläuche eine sehr gute Flächendeckung (Bild 44).

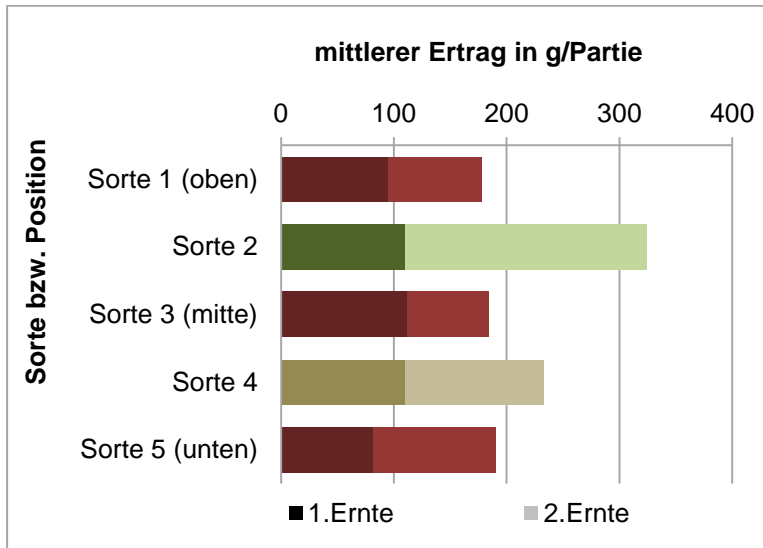


Abbildung 31: Erträge von Schnittsalat (je drei Pflanzen) im Frühling 2014 bei zwei Schnitten



Bild 44: Schnittsalatbestand am 23.04.2014

Die mittleren Erträge von Kopfsalat fielen in den einzelnen Reihen und auf den Modellen sehr unterschiedlich aus. Dennoch haben sich die Salate sehr gut entwickelt und bildeten schöne Salatköpfe (Bild 45). Nach einem Bonferoni-Test ($\alpha=5\%$) wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Positionen der Kopfsalatpflanzen auf den Dachmodellen festgestellt. Das mittlere Kopfgewicht betrug 260,8 gramm.



Bild 45: Kopfsalatbestand auf einem Dachmodell im Frühling 2014

Im Sommer 2015 wurden zwei Sorten Kopfsalat (Rijk Zwaan, Welper) auf ihre Schossfestigkeit und Eignung zum Anbau auf dem Dach untersucht. Die mittleren

Erträge waren an den unterschiedlichen Positionen bei der Sorte ‚43-183 RZ‘ höher, als die der Sorte ‚Hungarina RZ‘ (Abbildung 32). Der Ertrag lag bei allen Salatköpfen bei etwa 150 bis 400 g. Bei der Sorte ‚41-183 RZ‘ wurden allerdings 9 schießende Pflanzen festgestellt (Bild 46). Bei der Sorte ‚Hungarina‘ war kaum Schossen des Salats erkennbar.



Bild 46: Geschossener Kopfsalat im Sommer 2015

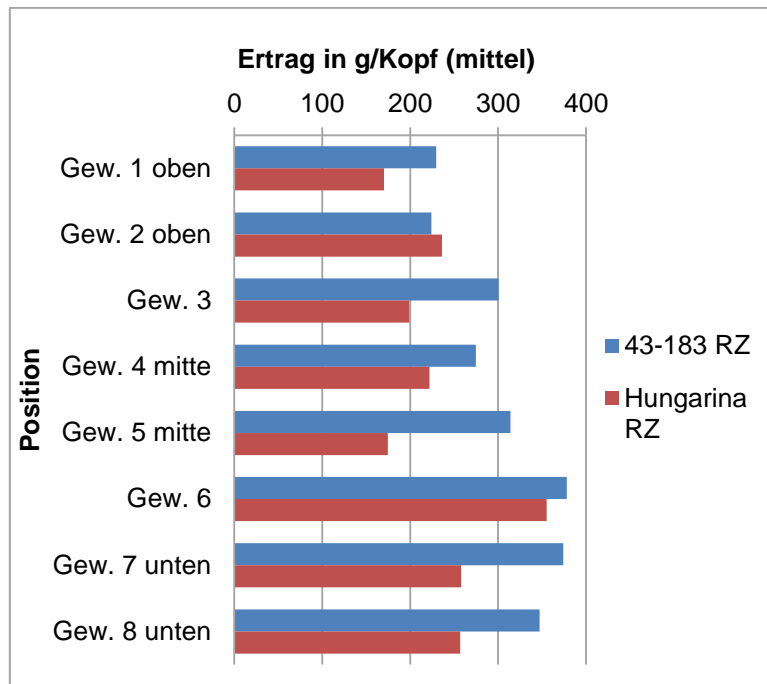


Abbildung 32: Erträge von Kopfsalat im Sommer 2015 (mittel) nach Sorten und Positionen auf den Dachmodellen

Der Ertrag von Salaten unterschied sich auch in den einzelnen Varianten. Während Kopfsalat im Frühjahr 2014 mit einer Frischmasse von etwa 2 kg/m² geerntet wurde, betrug die Erntemenge im Sommer 2015 nur noch etwa 300 g/m². Zwar erhielten beide Varianten jeweils nahezu gleichviel Wasser und Stickstoff. Allerdings war die Witterung im Sommer 2015 wesentlich heißer und weniger gut entwickelte Jungpflanzen wurden im zweiten Jahr gesetzt.



Bild 47: Variante 1 mit Romanasalat und Paprika unmittelbar vor der Ernte



Bild 48: Variante 3 mit Romanasalat und Paprika unmittelbar vor der Ernte

Die Erträge der unterschiedlichen Varianten der Kulturführung von Romanasalaten (Bild 47 und Bild 48) wurden erfasst und verglichen. Im ersten Erntegang wurden die höchsten Erträge erzielt. Variante 1 hatte mit durchschnittlich etwa 1413 g/m² den höchsten Ertrag. Variante 2 erbrachte im Mittel etwa 1229 g/m², und Variante 3 verzeichnete mit etwa 848 g/m² den geringsten Ertrag. Nach einem Bonferoni-Test ($\alpha=5\%$) wurden keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen zwischen Variante 1 und 2 festgestellt (Tabelle 6). Allerdings waren die Erträge von Variante 3 signifikant geringer als die der anderen beiden Romanasalat-Varianten. Vor allem die geringere Düngegabe bei Variante 3 führte zu geringeren Erträgen.

Tabelle 6: Vergleich der Romanasalat-Varianten auf Dachmodellen

Variante	Bewässerung in mm	Düngung in g N/m ²	mittlerer Ertrag in g/m ²
1	442	12	1413 a
2	295	13	1229 a
3	316	6	848 b

Verschiedene Sorten von Salanova und Eichblattsalat wurden in gleicher Reihenfolge gepflanzt und geerntet. Die Salate haben sich sehr gut entwickelt und hatten Einzelgewichte zwischen 150 und 280 g. Im unteren Bereich der Dachmodelle wurden durchschnittlich geringere Erträge dieser Salate erfasst, als im oberen Bereich (Abbildung 33). Nach einem Bonferoni-Test ($\alpha=5\%$) wurden fast keine signifikanten Unterschiede zwischen Erträgen der einzelnen Positionen bzw. Sorten auf den Dachmodellen festgestellt. Lediglich der rote Eichblattsalat an der untersten Position wies ein signifikant geringeres Gewicht auf, als die anderen Salate.

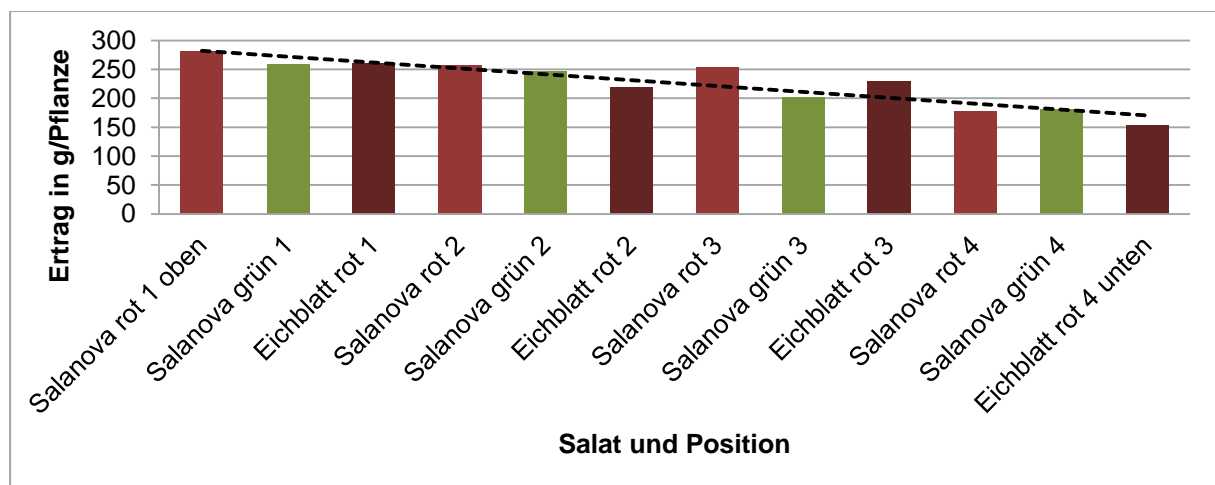


Abbildung 33: Mittlere Frischmasse von Salanova- und Eichblattsalat bei der Ernte am 11.08.2015 auf unterschiedlichen Positionen der Dachmodelle

Erträge von Paprika

Im Sommer 2014 wurden erstmals Erträge von Paprika auf den Dachmodellen erfasst. Da die Pflanzen sich nur kaum entwickelten, wurden sehr geringe marktfähige Erträge von etwa 700 g/m² gewogen. Aufgrund von Qualitätsmängeln wurde auch bei vielen Paprikapflanzen ein nicht marktfähiger Ertrag von bis zu 270 g/m² erfasst.

Die mittleren Erträge von Paprika 2014 (702 g/m²), Paprika 2015 semi-intensiv (2467 g/m²) und Paprika intensiv 2015 (3773 g/m²) unterschieden sich wesentlich voneinander. Bei der statistischen Auswertung wurde durch einen T-Test ($\alpha=5\%$) ein signifikant höherer Ertrag bei Paprika intensiv zu den anderen Varianten festgestellt. Die extensive und die semi-intensive Variante unterschieden sich trotz des wesentlich höheren mittleren Ertrags bei der Kultur 2015 nicht signifikant in ihren Erträgen voneinander.

Bei den Positionen auf den Dachmodellen konnten zwar Unterschiede in den Gesamterträgen festgestellt werden. Allerdings ist vor allem zwischen Variante 1 und 3 die Ertragsdifferenz erkennbar (Abbildung 34).

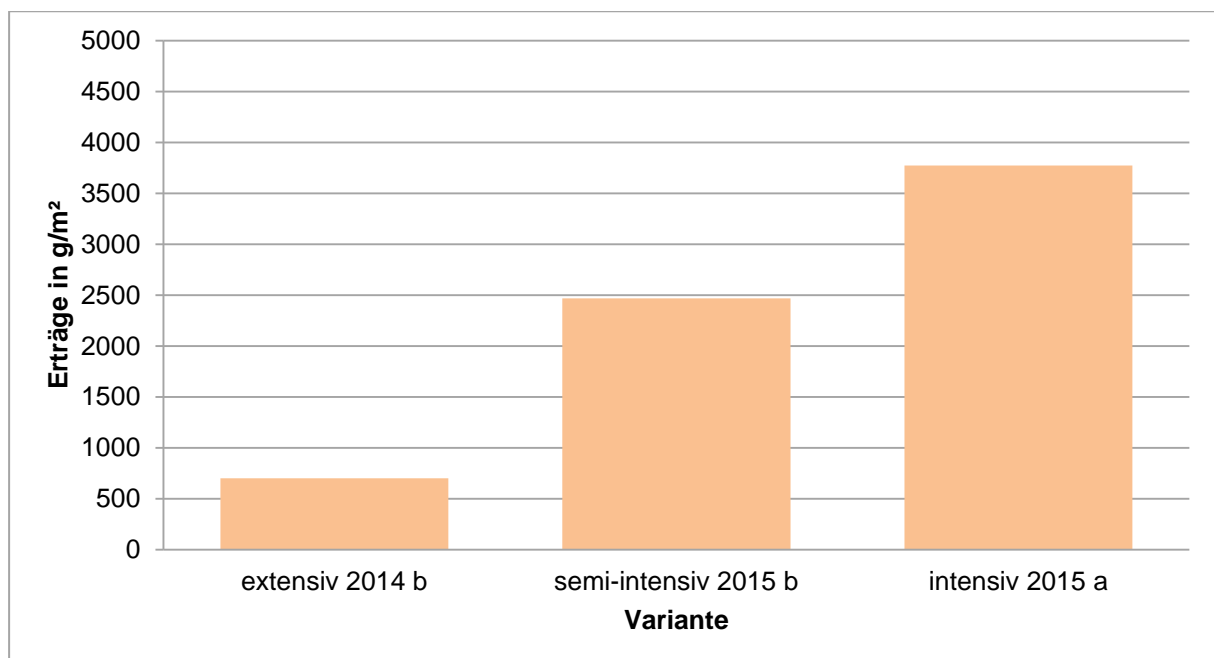


Abbildung 34: Mittlere Erträge von Paprikapflanzen auf Dachmodellen im Sommer 2014 und 2015 bei unterschiedlichen Kulturführungen

Auch bei der Frischmasse zum Abräumen der Paprikapflanzen wurde eine höhere Laubmasse bei Variante 1 als bei Variante 3 erfasst (Abbildung 35). Durch die bessere Wasser- und Nährstoffversorgung konnten die Pflanzen mehr Blattmasse und Früchte bilden.

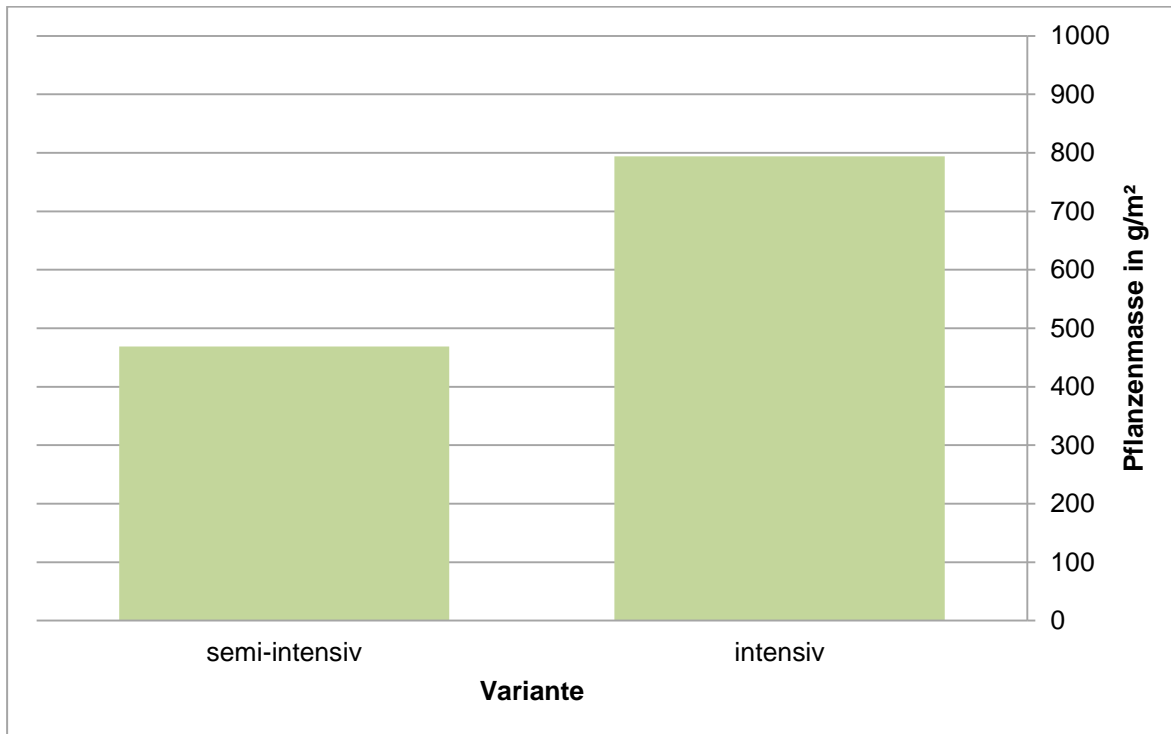


Abbildung 35: Mittlere Laubmasse von Paprikapflanzen am 19.10.2015 auf den Dachmodellen bei unterschiedlicher Bewässerung und Düngung

Somit kam es vor allem bei einer höheren Düngergabe auch zu höheren Paprikaerträgen. Die Wasserversorgung von nur etwa 300 l/m² waren mit einer Düngegabe von 6 g N pro m² zu wenig für die anspruchsvollen Paprikapflanzen. Die Erhöhung der Düngegabe von 22 auf 31 g N/m² und höhere Wasserzufuhr um 150 l/m² brachten nur eine mittlere Ertragssteigerung von 300 g/m² (Tabelle 7)

Tabelle 7: Vergleich der unterschiedlichen Kulturführungen bei Paprika auf Dachmodellen

	Wasserversorgung in l/m ²	Düngergabe in g/m ²	Marktfähiger Ertrag in g/m ²
Extensiv	308	6	702 b
Semi-intensiv	414	22	2467 b
intensiv	564	31	3773 a

Vergleich der Erträge mit Erfahrungswerten des Erwerbsanbaus

Die mittleren Erträge der meisten Kulturen wurden mit Erfahrungswerten aus dem Erwerbsanbau von Freilandgemüse verglichen (Abbildung 36, [9]). Dabei wurden auf den Dachmodellen nahezu immer geringere Erträge je Quadratmeter festgestellt, als im Freilandanbau durchschnittlich im Jahr 2014 zu verzeichnen waren. Einige Kulturen auf den Dachmodellen konnten aber ähnliche Erträge wie im Erwerbsanbau erzielen. So entsprach der Ertrag von Radieschen 2014, Zucchini 2014, Buschbohnen 2014, Paprika intensiv 2015, Romana 2015 und Salanova/Eichblatt 2015 nahezu den Erträgen aus dem Erwerbsanbau. Im Vergleich zu den Erträgen aus dem Erwerbsanbau waren die mittleren Erträge von Spinat 2014, Paprika 2014, Kopfsalat 2015 auf den Dachmodellen sehr viel geringer.

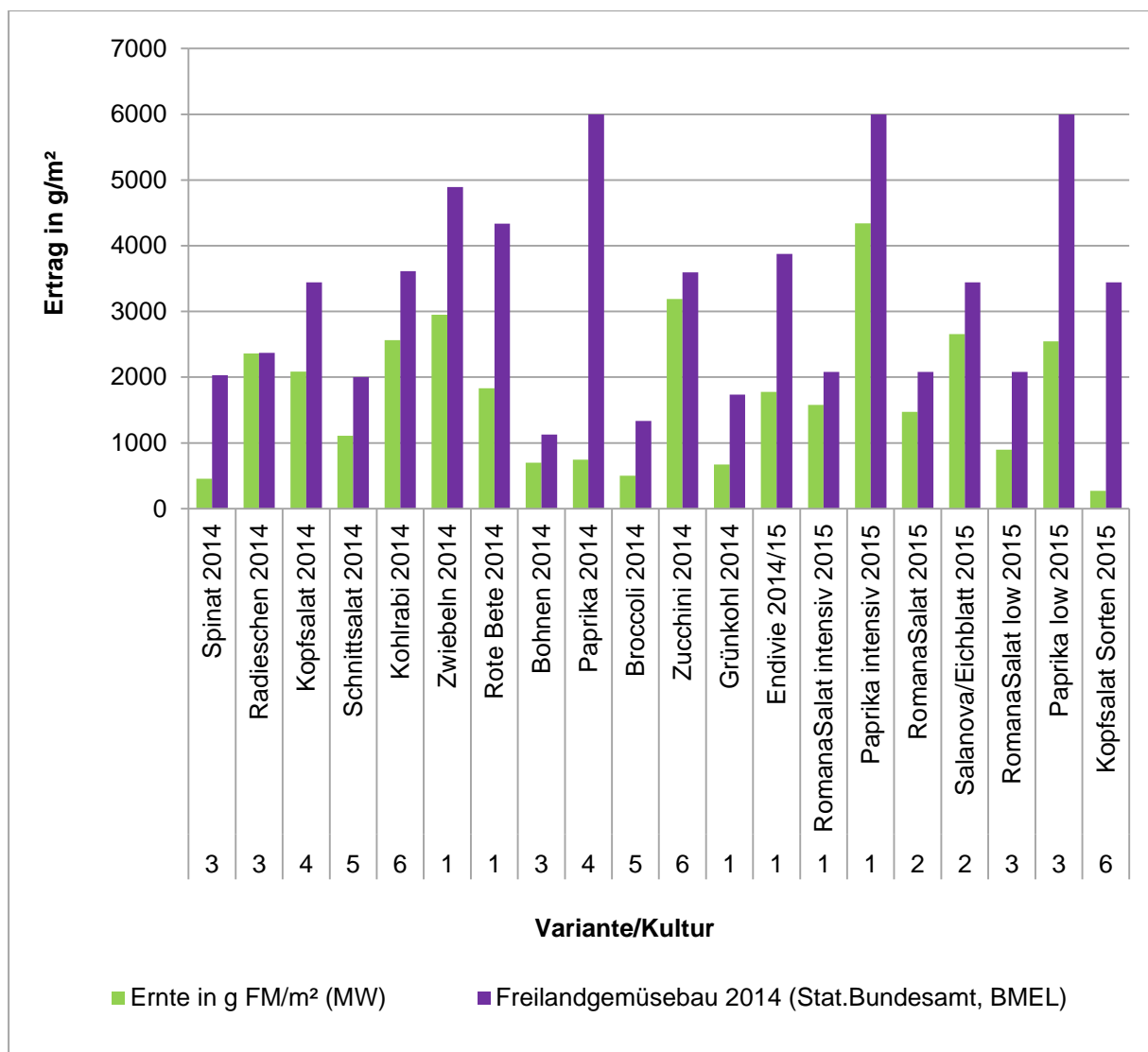


Abbildung 36: Mittlere Erträge von Gemüse im Erwerbsanbau [9] und auf den Dachmodellen

Beim Vergleich der mittleren Erträge konnten die verschiedenen Gemüsearten kategorisiert werden (Abbildung 37). Mehr als 75 % geringere Erträge (rot) hatten der Kopfsalat 2015, Paprika 2014 und Spinat 2014. Ausfälle von bis zu 50 % hatten darüber hinaus noch Paprika semi-intensiv (low) 2015, Romanasalat (low) 2015, Endivie und Grünkohl 2014/15, Broccoli 2014 und Rote Bete 2014. Erträge von über 75 % des Erfahrungswertes (dunkelgrün) hatten die Varianten Salanova/Eichblatt, Romanasalat intensiv 2015, Zucchini 2014 und Radieschen 2014. Alle anderen Gemüsekulturen hatten Erträge zwischen 50 % und 75 % des Erfahrungswertes (hellgrün).

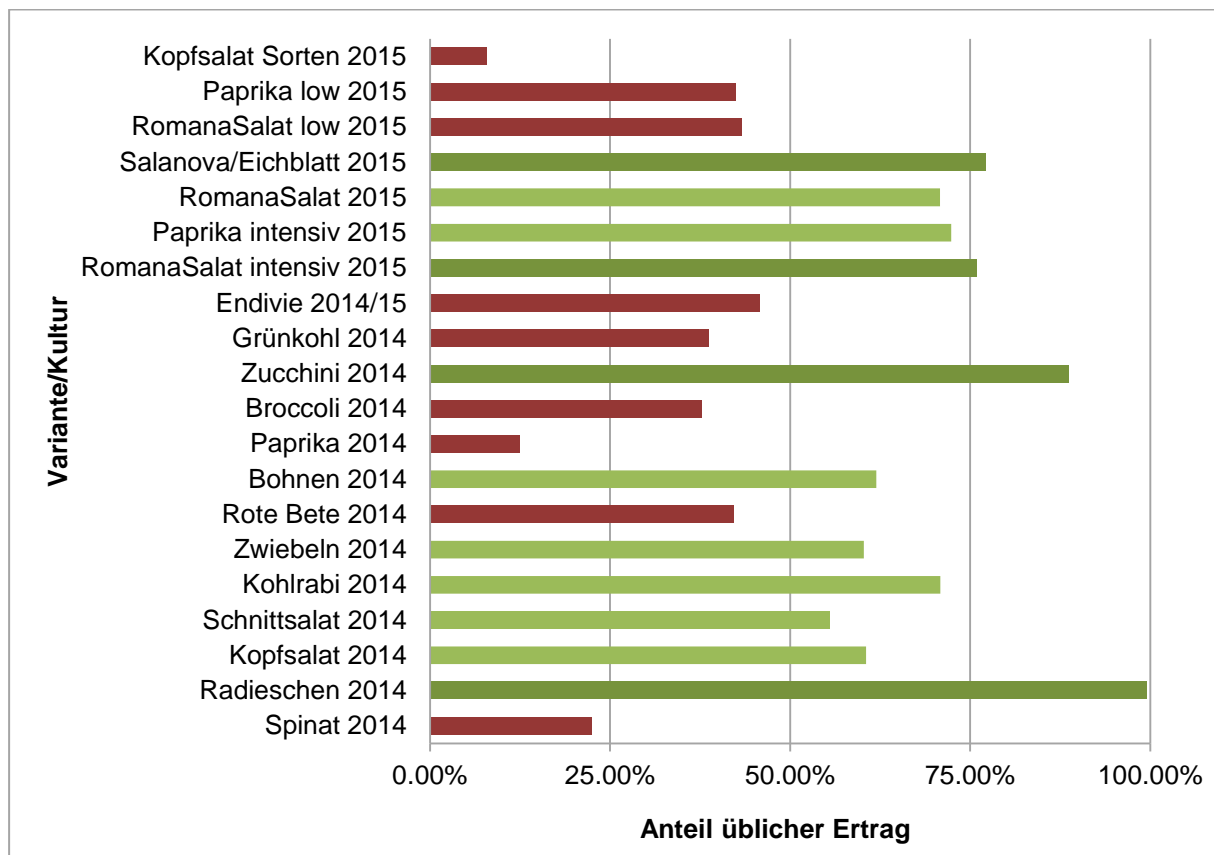


Abbildung 37: Anteil marktfähiger Erträge im Vergleich zu den Erfahrungswerten im Erwerbsanbau [9] (rot=unter 25 %, hellgrün=25 % bis 75 %, dunkelgrün= über 75 %)

3.2.3.5. Kosten

Da die Bewässerungszeiten und Bewässerungsmengen erfasst wurden, konnten potentielle Kosten bei der Nutzung von Leitungswasser berechnet werden. Bei fast allen Varianten ist mit Bewässerungskosten unter 1 €/m² je Kultur zu rechnen (Abbildung 38). Die Kosten für die Anschaffung des Pflanz- bzw. Aussaatmaterials unterscheiden sich bei einzelnen Kulturen. Während die meisten Varianten bereits

für unter 0,50 €/m² bepflanzt wurden, waren vor allem Paprika mit 2,50 €/m² am teuersten. Die Nutzung von Saatbändern für Spinat und Radieschen kostet etwa 1,60 €/m². Gepflanzte Zwiebeln wurden für Kosten in Höhe von etwa 1,20 €/m² eingesetzt.

Da bei den meisten Varianten wenig Dünger verwendet wurde, sind diese Kosten sehr gering. Bei keiner Variante fielen mehr als 0,10 €/m² an.

Die summierten direkten Kosten der Varianten unterschieden sich damit vorwiegend durch den Einsatz unterschiedlicher Pflanzenarten und der damit verbundenen Pflanzkosten. Während für Kohlrabi, Buschbohnen, Broccoli, Grünkohl, Endivie, Romana (ohne intensiv) mit direkten Kosten bis 1 €/m² zu rechnen. Die teuersten Varianten waren mit Paprika bepflanzt und benötigten etwa 3,50 €/m² an direkten Kosten je Kulturzeitraum.

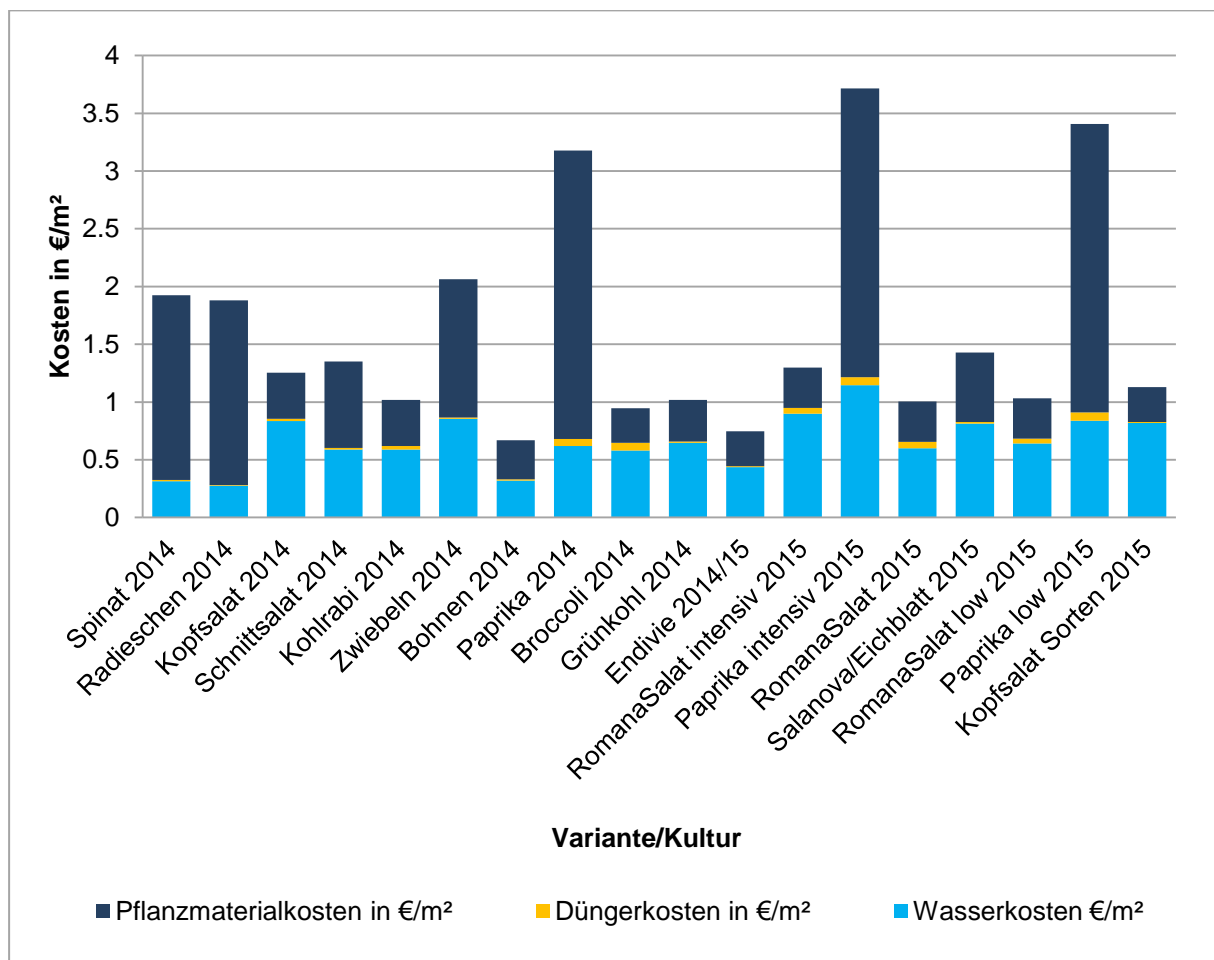


Abbildung 38: Direkte Kosten der Gemüsekulturen bzw. Varianten

3.2.3.6. *Temperaturaufzeichnungen*

Beim Vergleich der Temperaturaufzeichnungen auf den Dachmodellen im Substrat und den Daten der Wetterstation am Standort Veitshöchheim konnten die Temperaturverläufe benannt werden und Unterschiede bei den Messdaten festgestellt werden (Anhang 4). Zudem ist der Temperaturverlauf am Standort mit dem Niederschlag und der Luftfeuchte zu beurteilen.

Temperaturverläufe an warmen Sommertagen

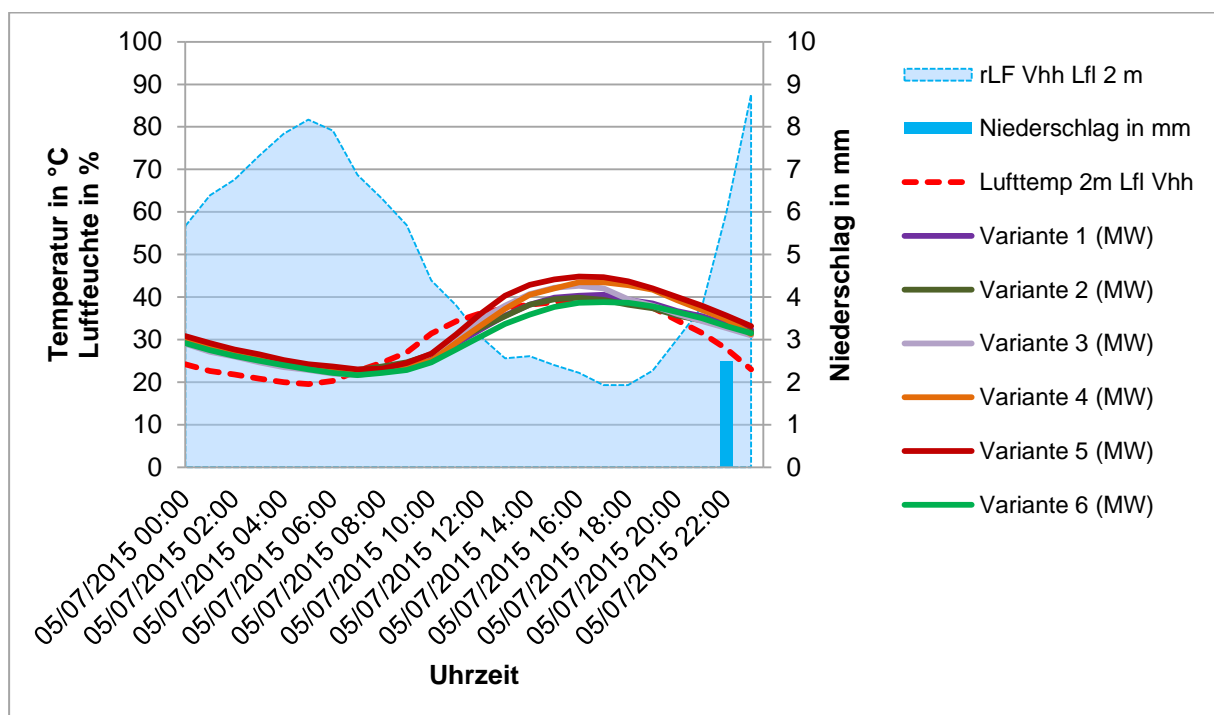


Abbildung 39: Temperatur- und Luftfeuchteverlauf am 05.07.2015 im Substrat der Varianten (Mittel) und bei der Wetterstation am Standort Veitshöchheim

Werden die Temperaturverläufe am 05.07.2015 verglichen, sind an der Wetterstation und bei den Sensoren der Dachmodelle unterschiedliche Temperaturen festzustellen (Abbildung 40). Während die Lufttemperatur (in 2 m) der Station bei Messbeginn in der Nacht bei etwa 24°C liegt ist die bei den Dachmodellen im Substrat gemessenen Temperatur um etwa 5 K höher. Im Tagesverlauf verändern sich die Temperaturunterschiede zwischen der Messstation und den Dachmodellen. Zwischen den Kulturvarianten treten nachmittags Temperaturunterschiede von bis zu etwa 5 K auf. Die höchste Temperatur wurde mit fast 45°C bei Variante 5 (Erdbeeren) gemessen. Diese wurde als einzige Variante an diesem Tag nicht bewässert. Die verschiedenen

Varianten wiesen zum Messzeitpunkt eine eingeschränkte Deckung auf (Bild 49, Bild 50, Bild 51 und Bild 52).



Bild 49: Dachmodell der Variante 1 (Paprika und Romana-salat intensiv) am 07.07.2015



Bild 50: Dachmodell der Variante 4 (Butschtomaten und Andenbeere) am 07.07.2015



Bild 51: Dachmodell der Variante 5 (Erdbeere) am 07.07.2015

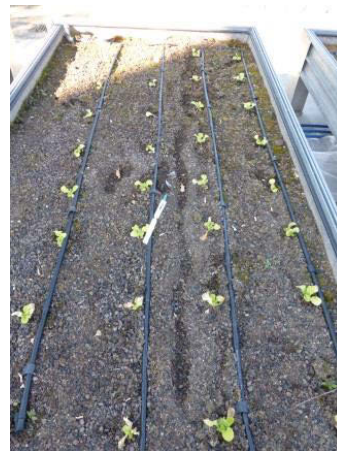


Bild 52: Dachmodell der Variante 6 (Kopfsalat) am 07.07.2015

Temperaturverläufe bei hoher Luftfeuchte und Niederschlag im Sommer

Bei sehr konstanter Außentemperatur und hoher Luftfeuchtigkeit am Versuchsstandort wurden am 28.08.2015 kaum Veränderungen der Temperatur auf den Modellen gemessen (Abbildung 40).

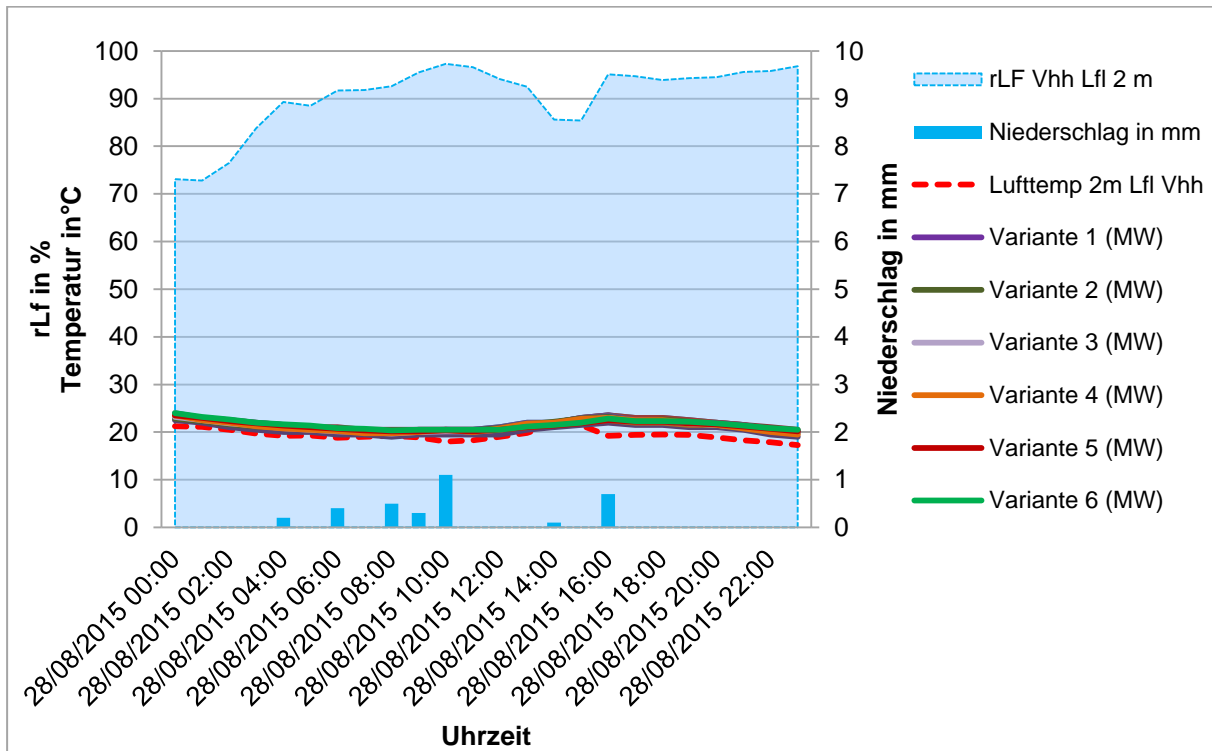


Abbildung 40: Temperatur- und Luftfeuchteverlauf und Niederschläge am Versuchsstandort am 28.08.2015

Im Tagesverlauf veränderte sich die Temperatur auf den Dachmodellen und in der Luft am 05.07.2015 um bis zu 25 K (Abbildung 41). Zwischen den Dachmodellen war der Unterschied der mittleren Temperatur am jeweiligen Zeitpunkt maximal 5 K. Nach etwas Regen um 22:00 Uhr erhöhte sich die vorher abgesenkte Luftfeuchte in Veitschöchheim wieder auf fast 90 %. Während nachts die Temperatur bei der Wetterstation schneller auf etwa 23 °C abfiel, wurde auf den Dachmodellen noch eine Temperatur von über 30°C um 23:00 Uhr gemessen.

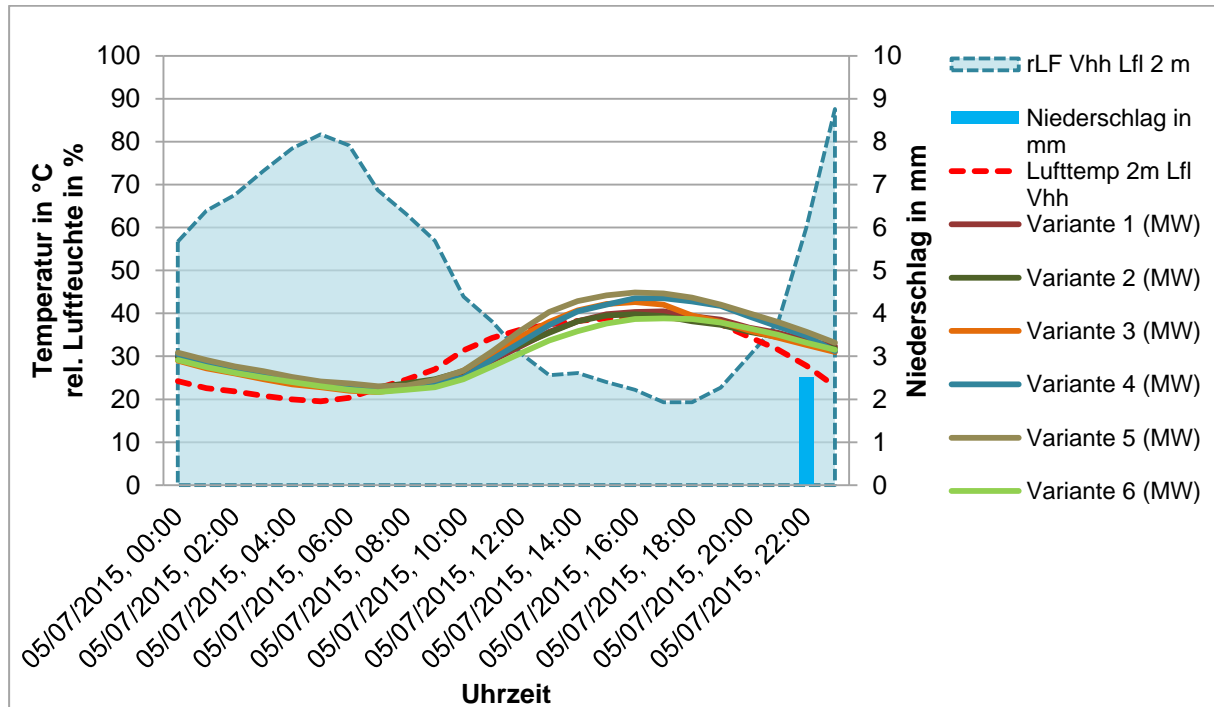


Abbildung 41: Temperatur- und Niederschlagsverlauf, sowie Niederschlag an der Wetterstation und den Dachmodellen (mittel) am 05.07.2015 (Etwa 1 Woche nach Beginn der Datenaufzeichnung)

Verläufe der Temperaturabweichungen zur Wetterstation

Nachdem nachts am 07.08.2015 die Temperatur auf den Dachmodellen um bis zu 4 K wärmer war, als bei der Wetterstation, war die Mittagstemperatur bei Variante 6 um bis zu 11,5 K geringer als bei der Referenztemperatur (Abbildung 42). Bei Variante 3 war die Differenz wesentlich geringer ausgeprägt. Um 15:00 Uhr war dort die Temperatur im Mittel sogar höher als an der Wetterstation. Variante 3 wurde mit Paprika und Salaten kultiviert und erhielt weniger Wasser, als Variante 1 mit den gleichen Kulturen.

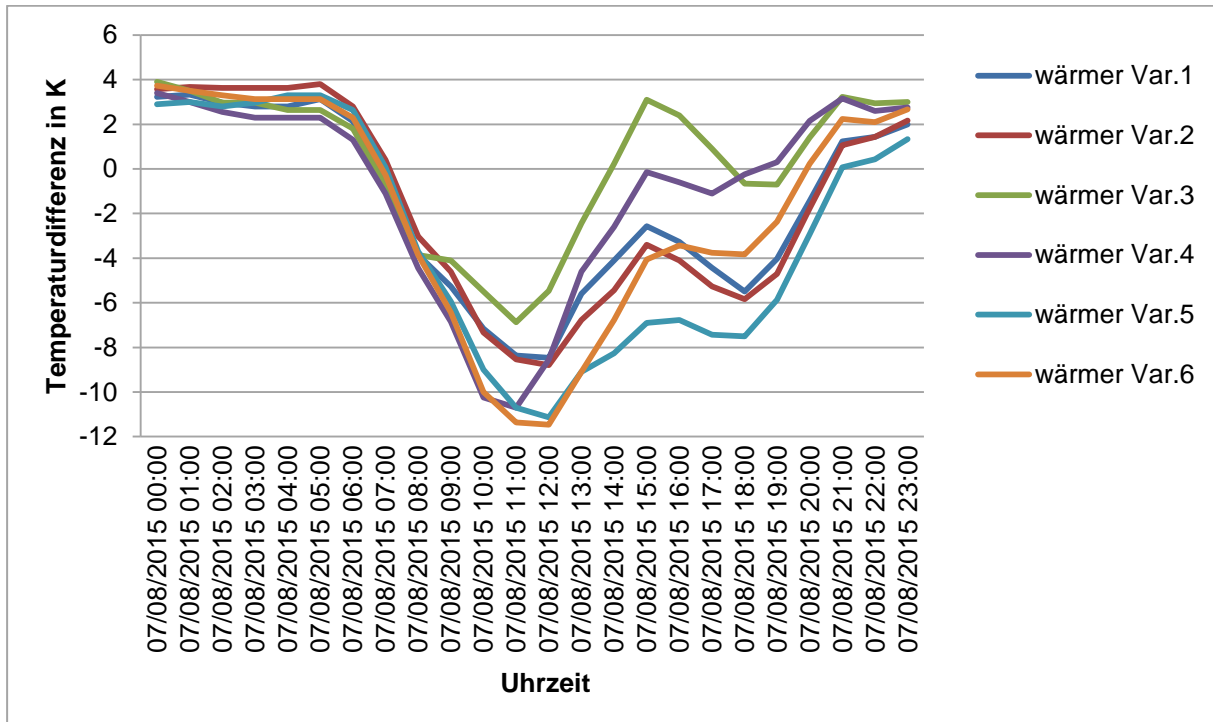


Abbildung 42: Verläufe der Temperaturabweichung der Dachmodelle (mittel) im Vergleich zum Referenztemperaturverlauf am Standort Veitshöchheim am 07.08.2015

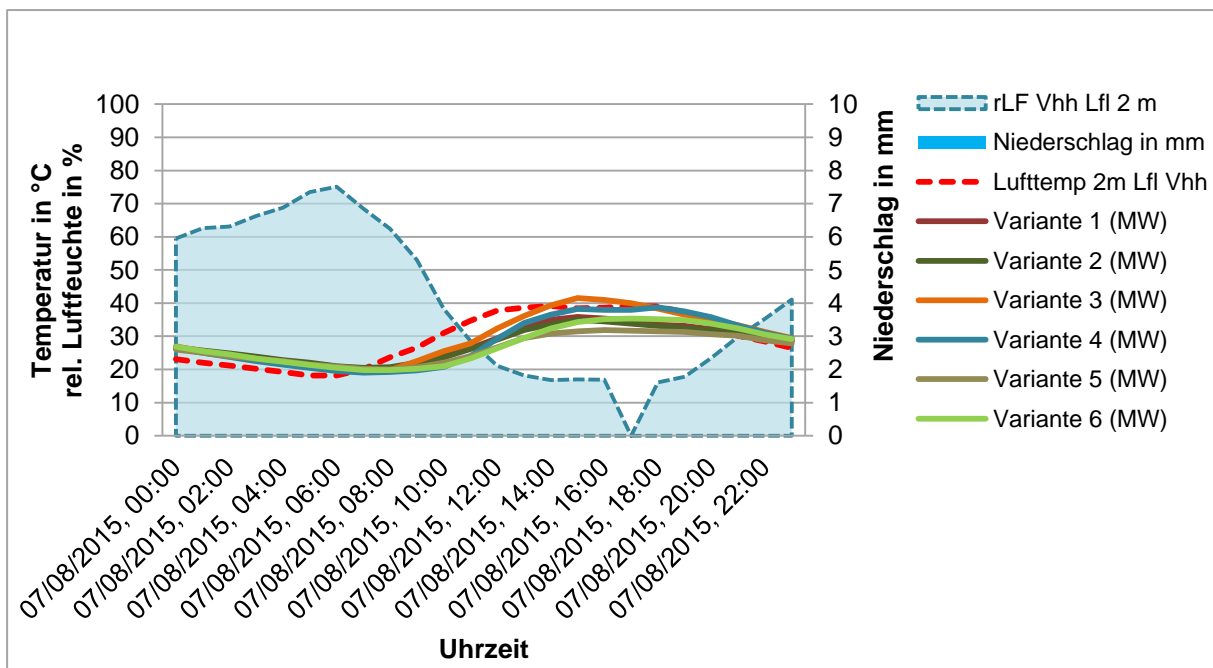


Abbildung 43: Temperatur- und Niederschlagsverlauf, sowie Niederschlag an der Wetterstation und Temperaturverlauf der Dachmodelle (mittel) am 07.08.2015

Die Temperaturen waren insgesamt am 07.08.2015 sehr hoch. An der Wetterstation wurden nachmittags Temperaturen von bis zu 40°C gemessen. Bei Variante 5 (Erdbeeren) betrug die mittlere Temperatur aber nur etwa 32°C am Nachmittag (Abbildung 43).

Am 13.08.2015 unterschied sich die Temperatur auf den Dachmodellen sehr stark von der Referenztemperatur der Wetterstation. Tagsüber war es bei Variante 5 (Erdbeeren) und 6 (Kopfsalat) um bis zu 6 K kühler als bei der Wetterstation (Abbildung 44). Am Abend hingegen war es, vor allem bei Variante 3 (Paprika und Salat mit weniger Wasser) um bis zu 10 K wärmer, als bei der Vergleichstemperatur.

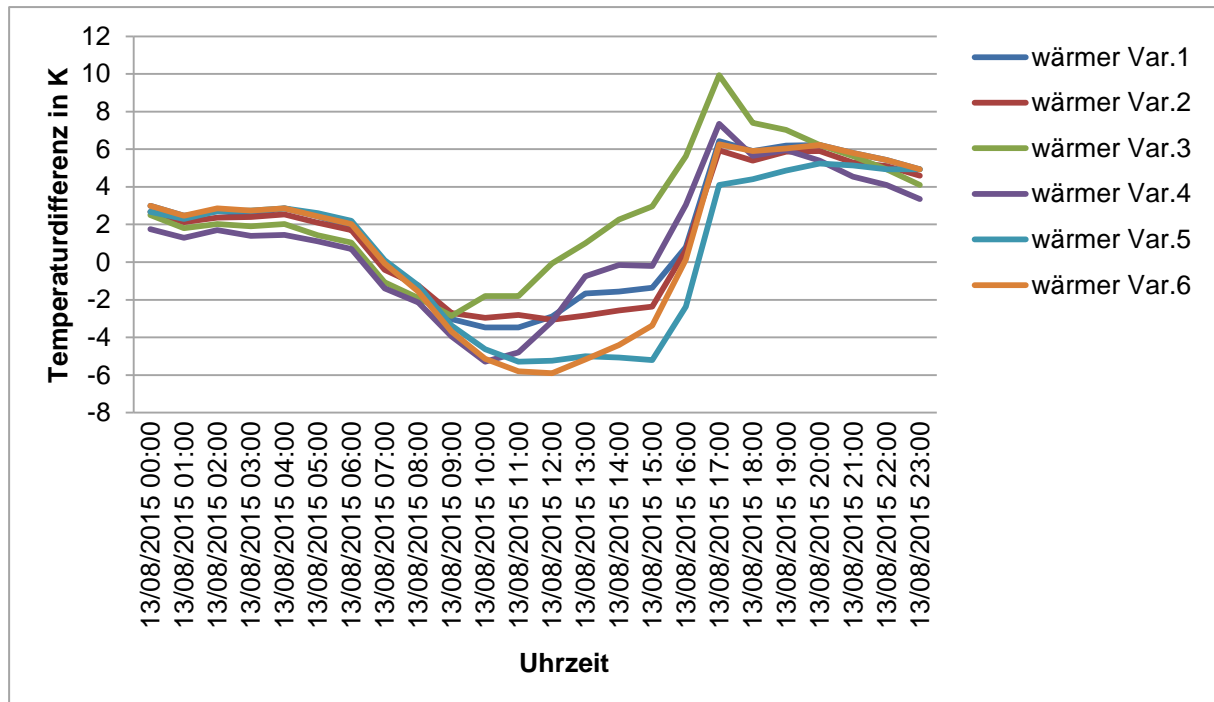


Abbildung 44: Verläufe der Temperaturabweichung der Dachmodelle (mittel) im Vergleich zum Referenztemperaturverlauf am Standort Veitshöchheim am 13.08.2015

Beim Wetterverlauf am 13.08.2015 wurden Temperaturen zwischen 20°C und 40°C gemessen. Nachdem die Luftfeuchtigkeit bis Nachmittag sank, stieg diese nach einem Niederschlag am Abend wieder an (Abbildung 45). Dies führte zu einer Temperaturabsenkung bei der Wetterstation. Bei den Dachmodellen wurde allerdings nach dem Niederschlag teils noch eine Temperatur von bis zu 30°C gemessen.

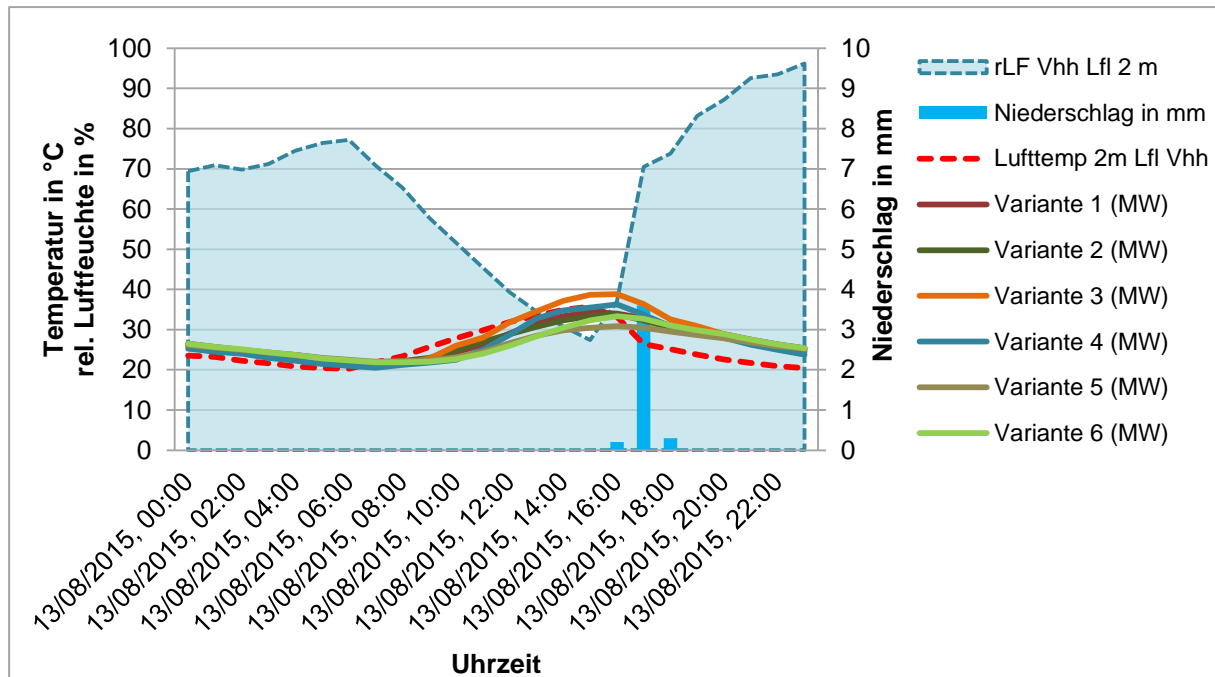


Abbildung 45: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Standort Veitshöchheim und bei den Dachmodellen (mittel)

Meist waren die Temperaturen auf den Dachmodellen nachts um etwa 5 K höher tagsüber etwas geringer als bei der Wetterstation am Standort Veitshöchheim. Am 16.08.2015 und 17.08.2015 wurden aber keine geringeren Temperaturen auf den Dachmodellen gemessen, als bei der Wetterstation (Abbildung 46). An den Tagen vorher und nachher gab es die typischen Temperaturabsenkungen.

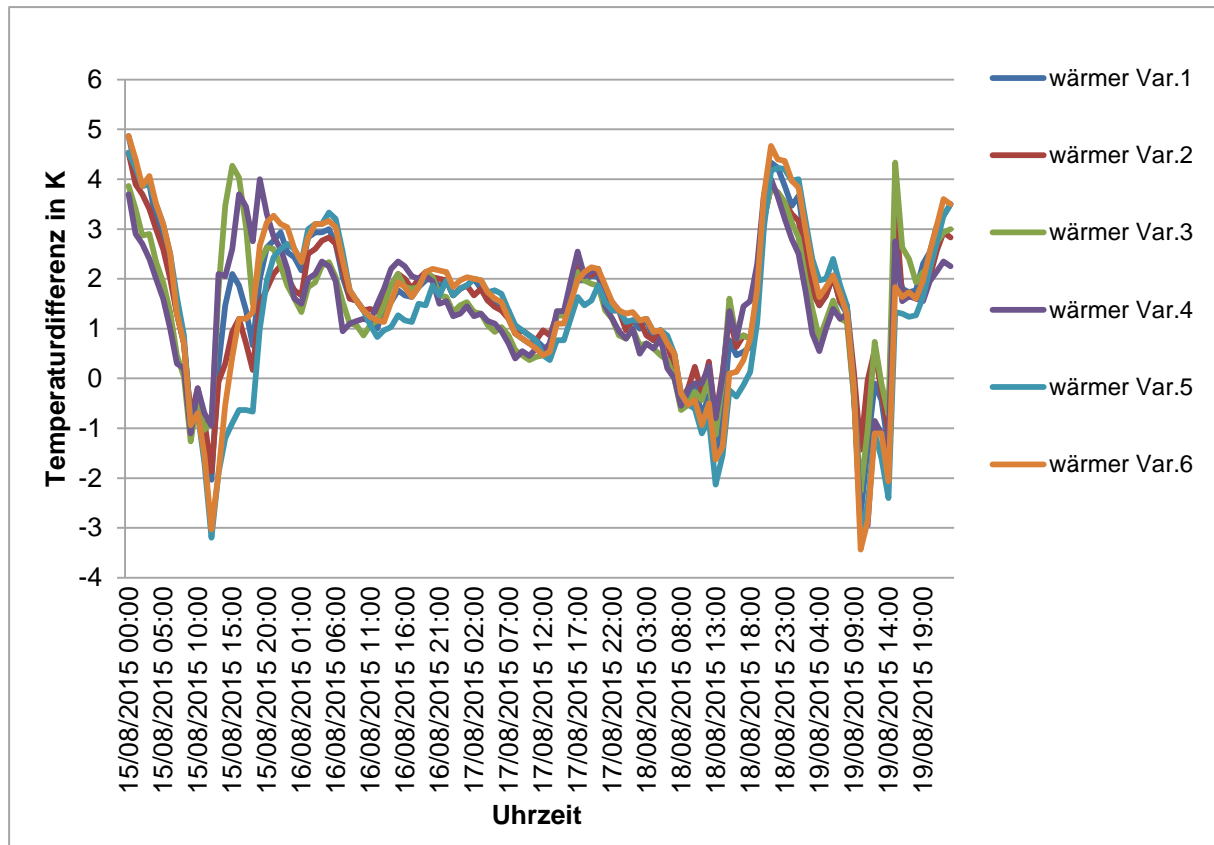


Abbildung 46: Abweichung der Temperaturverläufe auf den Dachmodellen im Verhältnis zum Temperaturverlauf der Wetterstation am Standort Veitshöchheim zwischen dem 15.08.2015 und dem 19.08.2015

Der Kühlungseffekt der begrünten Dachmodelle wurde am 16. Und 17. August 2015 tagsüber nicht festgestellt. An diesen Tagen fiel sehr viel Neiderschlag am Standort Veitshöchheim und die Luftfeuchtigkeit war durchgehend sehr hoch (Abbildung 47).

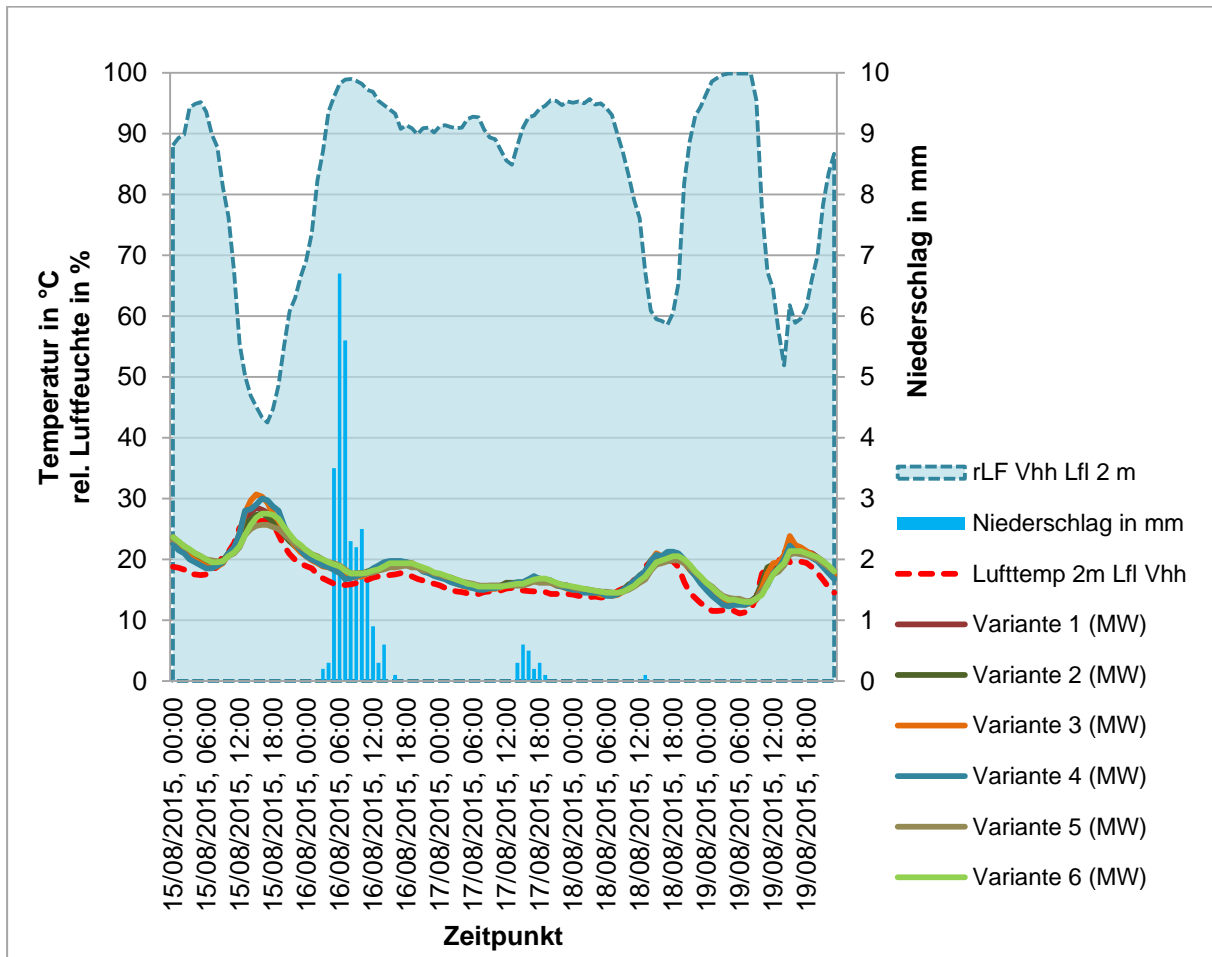


Abbildung 47: Temperatur- Luftfeuchte und Niederschlagsverlauf auf den Dachmodellen (mittel) und bei der Wetterstation am Versuchsstandort zwischen dem 15. Und 19.08.2015

3.2.4. Schlussfolgerungen

3.2.4.1. Pflanzenauswahl

Im Versuch konnte festgestellt werden, dass unterschiedlichste Gemüsekulturen auf dem dünn-schichtigen Dachsubstrat kultiviert werden können. Neben Kräutern und Salaten sind auch Wurzel- und Knollengemüse, sowie Fruchtgemüse gewachsen. Sehr geringe Erträge gab es teils durch Schädlingsbefall oder eine unzureichende Kulturführung. In den Erträgen wurden z.B. bei den Salaten auch Unterschiede in den Sorten festgestellt. Aber auch die Position auf den Dachmodellen hatte einen großen Einfluss auf den Ertrag. Entscheidend für die gute Pflanzenentwicklung war aber eindeutig eine optimale Nährstoff- und Wasserversorgung.

Paprikapflanzen sollten auf Dachbegrünungen, vor allem aufgrund der hohen Jungpflanzenkosten, möglichst optimal kultiviert werden. Die geringen Paprikaerträge bei einer extensiven Nutzung können durch stärkere Wasser- und Nährstoffgaben zu wesentlichen höheren Erträgen führen.

3.2.4.2. Nährstoffe

Die Düngung für extensive Dachbegrünung erfolgt normalerweise nach FLL-Richtlinie mit nur etwa 5 g N/m². Da das Substrat allerdings sehr wenig Stickstoff enthält, und für eine gute Pflanzenentwicklung dieser Nährstoff bei Gemüse benötigt wird, ist eine höhere Düngegabe unerlässlich. Je nach Kultur kann somit mit einer zusätzlichen Düngung zwischen 5 und 40 g N/m² gerechnet werden. Um diesen Dünger möglichst pflanzenverfügbar zu machen, sollte die Düngung mineralisch erfolgen und das Substrat ausreichend bewässert werden. Die tatsächliche Nährstoffverfügbarkeit wurde noch nicht genauer untersucht.

Der hohe Gehalt an Kalium und Magnesium im Dachsubstrat führt dazu, dass diese Nährstoffe bei einer Neuanlage erstmal nicht gedüngt werden müssen. Die starke Überversorgung durch Kalium kann auch als Ursache für einen eher kompakten Wuchs (z.B. bei Paprika) gedeutet werden.

Bei der Zufuhr von mineralischen Düngern können die Nährstoffe auch ausgewaschen werden.

3.2.4.3. Wasser

Die unterschiedliche Bewässerungs- und Düngungsmenge bei Paprika zeigt deutlich, wie diese Faktoren die Pflanzenentwicklung und den Ertrag beeinflussen.

Vor allem in den Sommermonaten ist bei Temperaturen von bis zu 40°C eine Bewässerung für Gemüsekulturen unabdingbar. Auch in der Anwachsphase oder bei der Aussaat muss zusätzlich auf dem Dach bewässert werden. Im Versuch erhielten die meisten Kulturen wesentlich mehr Wasser, als sie eigentlich benötigen. Allerdings kommt es auch bei der Bewässerung zur Bildung von Überschusswasser. Somit ist nicht jeder Liter auch für die Pflanzen verfügbar.

In jedem Fall ist die zusätzliche Bewässerung für den Anbau von Nahrungspflanzen auf Dachbegrünungen bei nicht ausreichenden Niederschlägen im Frühling und Sommer notwendig.

3.2.4.4. Klimawirkung

Die Temperaturverläufe auf den Dachmodellen unterscheiden sich teils von den Verläufen an der Wetterstation Veitshöchheim. Auch zwischen den Varianten und Kulturen konnten im Sommer 2015 Temperaturunterschiede festgestellt werden. Allgemein war bei warmen Tagen mittags auf den Dachmodellen eine geringere Temperatur zu verzeichnen, als beim Referenzwert.

Kulturen mit besserer Pflanzentwicklung und/oder mehr Bewässerung (Vergleich Variante 1 und 3 im Sommer 2015) senken die Temperaturen auf den Dachmodellen deutlich stärker, als die mit geringerer Entwicklung und Wasserversorgung.

Am 16. Und 17.08.2015 gab es keinen Kühlungseffekt auf den Dachmodellen. Es war sogar etwas wärmer, als bei der Referenztemperatur. Dies zeigt, dass während des Niederschlags keine Kühlwirkung vorhanden ist, aber dafür in niederschlagsfreien Zeiten die Temperatur auf den begrünten Flächen geringer sein kann.

3.2.5. Weiterer Forschungsbedarf

Im Versuch wurde bei den Dachmodellen nur an wenigen Zeitpunkten das Überschusswasser nach Bewässerungen erfasst. Für eine möglichst umweltschonende Nutzung des Systems sollten aber auch die Nährstoffgehalte im Drainwasser beachtet werden und die Potentiale eines möglichst geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreislaufs erörtert werden. Dabei sollte auch eine Kulturempfehlung mit genauen Dünger- und Bewässerungsgaben möglich sein. Dazu sollten die Wasserverfügbarkeit und der Wassergehalt im Substrat erfasst werden.

Der Einsatz auf einer realen Dachfläche mit den dort herrschenden Standort- und Kulturbedingungen kann sich nochmals wesentlich von dem Standort auf den Dachflächen unterscheiden. Deshalb müssen praxisrelevante Untersuchungen gemacht werden. Neben der praktischen Umsetzung sollten auch Arbeitsaufwendungen und die allgemeine Handhabung zum Anbau von Gemüse auf der Grundlage von extensiven Gründächern untersucht werden.

Nachdem erste klimatische Effekte im Versuch erkennbar waren ist vor allem auf einem Gebäude in der Stadt die klimamäßigende Wirkung durch die Begrünung interessant.

3.3. Versuch auf herkömmlicher Dachbegrünung

Neben dem Versuch auf den Dachmodellen wurde parallel ein Versuch auf einer herkömmlichen extensiven Dachbegrünung durchgeführt.

3.3.1. Zielsetzung

Der Versuch auf einer ehemaligen extensiven Dachbegrünung soll die praktische Umsetzbarkeit des Anbaus von Gemüse auf der Grundlage dieser Begrünungsmethode untersuchen. Der Aufbau des Systems soll dem einer herkömmlichen Dachbegrünung mit einer Zusatzausstattung aus dem Versuch mit den Dachmodellen erfolgen. Es sollen neben der Anbaueignung der Gemüsekulturen auch Aufwendungen erfasst und bewertet werden. Die Pflanzenentwicklung soll aufgezeichnet werden. Auch die klimatischen Standort- und Kulturbedingungen auf dem Dach einer extensiven Begrünung sollen näher beurteilt werden.

3.3.2. Material und Methode

3.3.2.1. Versuchsaufbau

Nachdem die Versuchsfläche bereits etwa 13 Jahre begrünt und mit sehr stark wurzelnden Pflanzen und Wildkräutern bedeckt war, wurde das Substrat abgeräumt und ausgetauscht (Bild 53 und Bild 54). Das Dach wurde auch mit dem Substrat des Versuchs auf den Dachmodellen ausgestattet (Optigrün Extensiv Einschichtsubstrat Typ M-leicht), um möglichst ähnliche Kulturbedingungen zu erhalten.



Bild 53: Abräumen der Vegetationsschicht des Versuchs-dachs



Bild 54: Ausbringung und Einebnung des neuen Dachsub-strats

Das Versuchsdach hatte neben der Dachabdichtung auch ein Schutzvlies (Geotextil). Der Kiesrand des Daches wurde ebenfalls ausgetauscht. Dieser dient im Bereich des Ablaufs zur besseren Entwässerung.

Auf dem 8 cm dick aufgeschütteten Dachsubstrat wurden 6 Reihen Tropfschläuche (Gardena, 30 cm Tropferabstand, 4 l/h, wie bei Versuch auf Dachmodellen) montiert und eine mineralische Grunddüngung (ENTEC 26) durchgeführt (Bild 55). Die Installation der Tropfschläuche war bereits für etwa 5 €/m² Materialkosten möglich. Der Preis der verwendeten Düngung ist pro Anbauperiode vernachlässigbar.



Bild 55: Düngerausbringung auf dem Versuchsdach (nach Ausbringung der Bewässerungseinrichtung)



Bild 56: Pflanzung von Kopfsalat im Frühling 2014

Verschiedene Gemüsekulturen wurden in Reihen nebeneinander gepflanzt und gesät (Bild 56). Dabei wurden immer drei Arten in einem Block ausgebracht. Die Mischkulturen wurden nach der typischen Eignung für die jeweilige Pflanzenfamilie ausgewählt [10] [11].

Neben Pflanzen aus dem Versuch der Dachmodelle wurden auch Dauerkulturen, wie z.B. Thymian und Perllauch auf dem Dach angebaut. Die Versuchsfläche wurde ab Sommer 2015 für einen weiteren Versuch zur Testung von essbaren Ansaatmischungen verwendet (Tabelle 8).

Tabelle 8: Versuchsplan der Varianten auf dem Versuchsdach (P=gepflanzt, S=gesät, SB=Saattband)

	Frühjahr 2014	Sommer 2014	Herbst/ Winter 2014/15	Frühjahr 2015	Sommer 2015	Herbst/ Winter 2015
Var. 1	Spinat (SB)	Buschbohnen (S)	Endivie (P)	Kopfsalat (P)	Mischungen/Ansaaten → weiterer Versuch	
Var. 2	Radies (SB)	Paprika (P)	Grünkohl (P)			
Var. 3	Kopfsalat (P)		Winterrettich (P)			
Var. 4		Rote Bete (P)		Spinat (S)		
Var. 5		Perllauch (P)				
Var. 6		Pariser Möhren (S)	Erdbeere (P)			
Var. 7	Kohlrabi (P)	Broccoli + Salat (P)	(Rucola) (S)	Kopfsalat (P)	Mischungen/Ansaaten → weiterer Versuch	
Var. 8	Schnitt-salat (P)	Broccoli (P)				
Var. 9	Fenchel (P)	Broccoli + Salat (P)	Feldsalat (S)			
Var. 10		Thymian (P)				
Var. 11		Zwiebel-RoteBete (P)		Puff-bohne (S)	Aubergine/ Tomatillo	
Var. 12		Sonstige (S)	Erdbeeren (P)			

3.3.2.2. Düngung und Bewässerung

Die Düngung auf dem Dach erfolgte angepasst an den Bedarf der Gemüsekulturen. Im Versuchsverlauf wurde vorwiegend mineralisches Stickstoffgranulat ausgebracht (Anhang 5)

Die Gemüsekulturen auf dem Versuchsdach wurden möglichst selten bewässert. Je nach Witterung und bei Aussaat bzw. Pflanzung wurden die Pflanzen intensiv per Hand gegossen oder die Tropfschläuche wurden betrieben (Anhang 6).

3.3.2.3. Ernte des Gemüses

Die Entwicklung der Gemüsekulturen wurde fotografisch erfasst und regelmäßig bonitiert. Die Ernte erfolgte händisch bei dem Einsatz einer Absturzsicherung (Bild

57 und Bild 58). Nach der Ernte wurde die Frischmasse des Gemüses erfasst. Von einzelnen Arten wurden auch die Nährstoff- und Schadstoffgehalte erfasst. Dazu wurden auch Gemüseproben aus dem Versuch auf den Dachmodellen entnommen und für die Analyse verwertet.



Bild 57: Ernte von Kopfsalat am 08.04.2015



Bild 58: Ernte von Radieschen am 08.04.2015

Die Temperaturverläufe im Sommer 2015 auf dem Versuchsdach wurden wie bei den Dachmodellen gemessen und mit den Wetterdaten der Wetterstation in Veitshöchheim [5] verglichen. Es wurden Sensoren im Substrat bei den Erdbeeren, Thymian, auf dem Weg, bei einer nichtbepflanzten Fläche und an einer beschatteten Stelle platziert.

3.3.3. Ergebnisse

3.3.3.1. Pflanzenentwicklung

Die Gemüsekulturen konnten sich unterschiedlich im Versuchsverlauf entwickeln.

Im Frühling 2014 hat sich der Schnittsalat, wie bei dem Versuch auf den Dachmodellen, sehr gut entwickelt. Manche Kohlrabi- und Fenchelpflanzen hatten allerdings einen schwachen Wuchs (Bild 59). Entlang der Tropfschläuche konnte sich der gesäte Spinat nicht optimal entwickeln und war aufgrund nicht ausreichender Bewässerung schlecht gekeimt (Bild 60). Die Radieschen konnten sich besser auf dem Dach entwickeln. Auch der Kopfsalat wuchs gut an.



Bild 59: Mischpflanzung auf dem Versuchsdach mit Kohlrabi, Schnittsalat, Fenchel am 22.04.2014



Bild 60: Mischpflanzung mit Spinat, Radieschen, Kopfsalat am 22.04.2014

Auch die im Sommer 2014 kultivierten Gemüsekulturen haben sich unterschiedlich entwickelt. Während die kleinen Möhren ‚Pariser Markt‘ gut wachsen konnten, war die Rote Bete etwas kleiner und bildete nur geringes Laub (Bild 61). Der Perllauch wuchs nahezu gar nicht. Der Broccoli hingegen bildete eine starke Blattmasse (Bild 62). Aufgrund von Schädlingsbefall war die Ertragsbestimmung beim Broccoli nur begrenzt möglich.



Bild 61: Möhren ‚Pariser Markt‘, Perllauch, Rote Bete



Bild 62: Broccoli auf dem Versuchsdach

Neben einzelnen Roten Bete-Pflanzen wurden auch Zwiebelpflanzen gesetzt. Diese entwickelten sich auch ähnlich zu den Pflanzen auf den Dachmodellen. Der Thymian auf dem Versuchsdach konnte sich im gesamten Versuchsverlauf sehr gut entwickeln. Auch die Buschbohnen zeigten im Sommer 2014 eine gute Vitalität (Bild 63).

Die Paprikapflanzen wuchsen auf dem Dach im Sommer 2014 nur sehr gering. An der sehr hellen Laubfärbung ist auch deutlich ein Mangel an Stickstoff und Wasser zu erkennen (Bild 64).



Bild 63: Pflanzenbestand mit Zwiebeln, Thymian und Buschbohnen auf dem Dach am 24.07.2014



Bild 64: Paprikapflanzen auf dem Dach am 11.09.2014

Die im Herbst 2014 ausgebrachten Kulturen entwickelten sich teils unterschiedlich auf dem Dach. Der ausgesäte Winterrettich blieb sehr klein. Grünkohl und Endivie zeigten hingegen eine gute Vitalität (Bild 65).



Bild 65: Versuchsdach mit Herbstpflanzung (Winterrettich, Grünkohl, Endivie)

Die unterschiedlichen Kopfsalatsorten konnten sich im Frühling 2015 gut entwickeln (Bild 66). Während der Kopfsalat ohne Vlies ein langsames Wachstum aufwies, waren die Salate unter dem Kulturvlies früher erntefähig und hatten einen höheren Deckungsgrad. Die Erdbeerpflanzen auf dem Versuchsdach entwickelten sich auch gut und trugen regelmäßig Erdbeeren (Bild 67). Um Erdbeerfrüchte vor Vögeln zu schützen, wurden die Pflanzen mit Netzen abgedeckt.



Bild 66: Versuchsdach am 11.05.2015 mit Kopfsalat und Thymian



Bild 67: Erdbeere auf dem Versuchsdach (am 11.05.2015)

Während die Kopfsalate auf dem Dach bis Mitte Juni geerntet wurden, wuchsen auch die ausgebrachten Puffbohnen gut auf der Versuchsfläche neben dem Thymian (Bild 68).



Bild 68: Versuchsdach im Juni 2015

Die unterschiedlichen Gemüsekulturen auf dem Versuchsdach konnten meist gut wachsen. Teils traten einzelne Mängel bei den Pflanzen auf. So waren beim Kohlrabi, Fenchel und Paprika aufgrund der unzureichenden Wasser- und Nährstoffversorgung geringe Mängel im Wachstum der Pflanzen vorhanden (Tabelle 9).

Tabelle 9: Erntemenge und Vitalität ausgewählter Gemüsearten auf dem Versuchsdach(Boniturnote einzelner Gemüsekulturen: 1=keine Marktfähigkeit, 3=Mängel, 5=leichte Mängel, 7=gute Entwicklung, 9=herausragende Qualität und Entwicklung)

Kultur	Zeitraum	allgemeine Vitalität (1=Ausfall, 9=hervorragend)	Erntemenge g/m ²
Rucola	April 2014	9	1137
Feldsalat	April 2014	9	1022
Radieschen (Knolle)	Mai 2014	7	1452
Fenchel	Mai 2014	5	801
Kohlrabi	Mai 2014	5	2758
Kopfsalat	Mai 2014	7	2758
Schnittsalat	Mai 2014	7	1180
Buschbohnen	Juli 2014	7	1397
Möhren 'Pariser Markt'	August 2014	7	1293
Paprika	August 2014	5	652
Thymian	August 2014	5	546
Rote Bete	September 2014	5	7170
Zwiebel+Rote Bete	September 2014	7	4899
Kopfsalat	Juni 2015	5	3025
Erdbeeren	Sommer 2015	7	1663

3.3.3.2. Nährstoff- und Schadstoffgehalte im Gemüse

Aus den verschiedenen Versuchen wurden die Inhaltsstoffe nach der Ernte im Labor analysiert und mit Erfahrungswerten verglichen.

Hauptnährstoffe

Die Stickstoffgehalte aller von den untersuchten Gemüsekulturen sind wesentlich geringer als die Vergleichswerte aus dem Gemüsebau. Die höchsten Stickstoffgehalte wurden bei Kohlrabi und Radieschen mit nur 0,5 g/kg Frischmasse gemessen (Anhang 7).

Der Phosphorgehalt ist bei nahezu allen Gemüsekulturen des Versuchs geringer als der Vergleichswert aus dem Feldgemüsebau (Anhang 8). Lediglich Rucola (siehe Versuch Kapitel 3.4.) im Jahr 2015 hatte nach einer zusätzlichen vorhergegangenen Phosphordüngung den üblichen Gehalt. Bei Rucola im Frühjahr 2014 wurde

hingegen bei der Unterversorgung der Phosphormangel durch rötliche Verfärbungen der Blätter bestätigt (Bild 69). Die höchsten Phosphorgehalte wurden bei Spinat, Kopfsalat und Broccoli festgestellt.



Bild 69: Rucola am 22.04.2014 mit Symptomen der Unterversorgung von Phosphor

Die Kaliumgehalte des Gemüses entsprechen bei vielen Varianten in etwa den Erfahrungswerten (Anhang 9). Verminderte Kaliumgehalte wurden bei Feldsalat 2014, rotem Kohlrabi, Schnittlauch, Tomaten, Endivie, Spinat und Erdbeeren 2015 erfasst. Wesentlich höhere Gehalte als üblich wurden bei Spinat, Rucola, Petersilie, Basilikum, Fenchel-Laub und Kopfsalat 2015 gemessen.

Die gemessenen Gehalte an Magnesium im Gemüse unterscheiden sich teils von den Erfahrungswerten aus dem Erwerbsanbau (Anhang 10). Vor allem bei Kräutern, Spinat und den meisten Salaten wurden höhere Mg-Gehalte gemessen als üblich. Auch bei den Karotten und im Laub der Radieschen wurden höhere Mengen erfasst. Die Radieschenknollen hingegen wiesen geringere Mengen an Magnesium auf, als üblich. Auch bei Tomaten, Zwiebeln, Endivie, Erdbeeren 2015 und Kopfsalat 2014 wurde weniger Magnesium im Gemüse gemessen, als bei den Erfahrungswerten gemessen wurde. Die Kohlrabiknolle wies allerdings einen typischen Gehalt auf.

Weitere Inhaltsstoffe im Gemüse

Auch die Calciumgehalte der geernteten Gemüsekulturen unterscheiden sich von den Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau (Anhang 11). Geringere Ca-Mengen als üblich wurden nur bei Radieschen und Kohlrabi festgestellt. Vor allem bei Salaten, Spinat, Karotten und Fenchel wurden wesentlich höhere Gehalte an Calcium gemessen, als bei den Erfahrungswerten. Der höchste Calciumgehalt wurde bei Rucola mit etwa 350 mg/100 g Frischmasse festgestellt.

Die analysierten Zinkgehalte sind im untersuchten Gemüse meist höher als üblich (Anhang 12). Der Gehalt bei Feldsalat, Spinat, Karotten, Rote Bete, Zwiebeln, Paprika, Spinat und Kopfsalat 2015 ist höher als der Erfahrungswert. Bei Kopfsalat im Jahr 2014, bei Zucchini und Endivie traten hingegen geringere Mengen an Zink auf. Der Gehalt bei Kohlrabi und Fenchel entsprach den Vergleichswerten.

Da in dem verwendeten Dachsubstrat der Prüfwert des Bundes-Bodenschutzgesetzes (§ 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1) von 15 mg Ni /kg Boden überschritten wurde, kam es zur Untersuchung einzelner Gemüsearten auf den Nickelgehalt in der Trockenmasse.

Nach dem LANUV-Bericht [2] ist ein TRD-Wert von 0,08 µg Nickel pro kg Körpergewicht (KG) je Tag (d) zulässig. Bei einer Resorption von 1-2 % wird ein Gehalt von 4 bis 8 µg Ni/kg KG*d tolerierbar. Somit sind bei einem Erwachsenen von 70 kg etwa 0,28 mg Ni täglich möglich. Im Versuch wurden bei den untersuchten Gemüsearten keine Nickelgehalte oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt. Nur Rucola hatte 4 mg Ni/kg TM (Trockenmasse). Anhand des Wassergehalts von Rucola weist dieser einen Gehalt von 0,054 mg Ni/100 g FM auf. Bei einem Körpergewicht von 70 kg können somit etwa 500 g Rucola vom Dach pro Tag unbedenklich verzehrt werden. Wird von einem Nickelgehalt bei den anderen Gemüsearten knapp unterhalb der Nachweisgrenze von 1 mg/kg TM ausgegangen, kann bei diesen eine Menge von über 2 kg pro Tag unbedenklich verzehrt werden.

3.3.3.3. Klimaverläufe

Wie bei dem Versuch auf den Modelldächern unterschieden sich die Temperaturverläufe auf dem Versuchsdach zu den Referenztemperaturen am Standort Veitshöchheim. Am 04.07.2015 wurde an dem Messpunkt ohne Vegetation auf dem Dach eine Temperatur von bis zu 50°C gemessen (Abbildung 48). An den anderen Messpunkten lag sie zu diesem Zeitpunkt bei 40°C bzw. 30°C bei Thymian und Erdbeeren, die auch regelmäßig bewässert werden. Somit war bei den bewässerten Flächen ein Kühlungseffekt im Substrat festzustellen. Auch im Schattenbereich lag die Temperatur auf dem Dach bei etwa 40°C. Ab etwa 18:00 Uhr sank die Temperatur an allen Messpunkten.

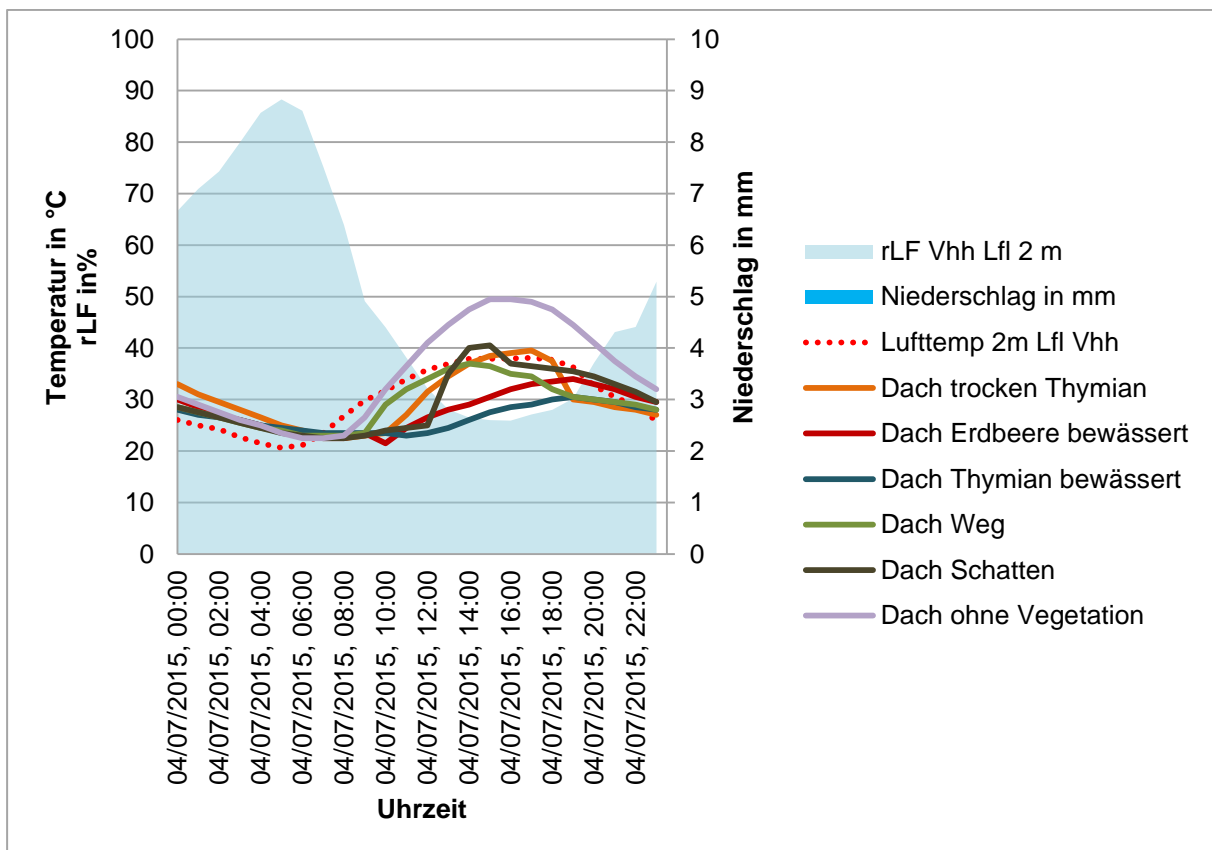


Abbildung 48: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am 04.07.2015 auf dem Versuchsdach und an der Wetterstation am Standort Veitshöchheim

Am 25.07.2015 fiel nachts Niederschlag von etwa 5 l/m². Im Tagesverlauf blieb damit die Temperatur bei etwa 20 bis 25°C. Mittags wurde beim bewässerten Thymian und der Erdbeere, sowie im Schattenbereich die geringste Temperatur gemessen (Abbildung 49).

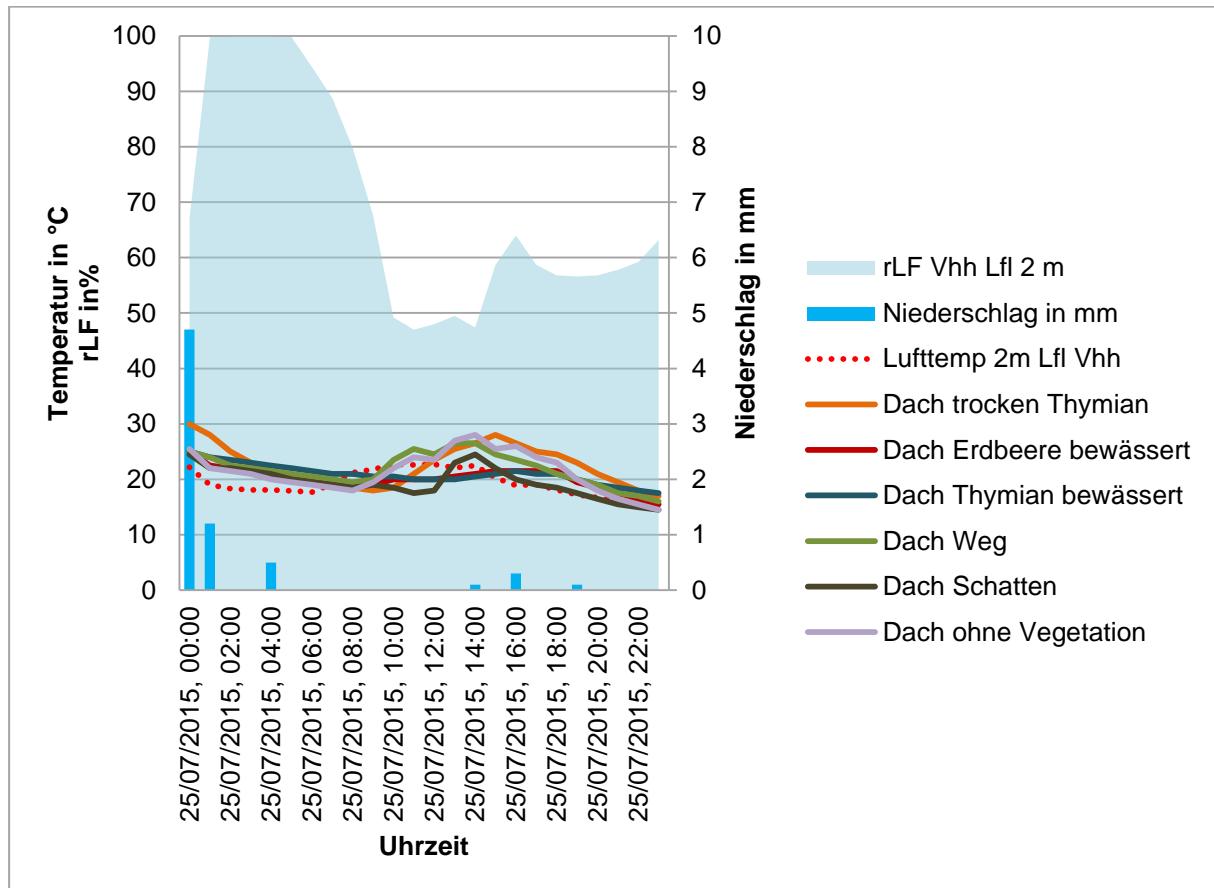


Abbildung 49: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am 25.07.2015 auf dem Versuchsdach und an der Wetterstation am Standort Veitshöchheim

Am 03.08.2015 wurde an den Messpunkten ohne Vegetation und beim Thymian ohne Bewässerung die höchste Temperatur von etwa 50°C gemessen. Die tatsächliche Lufttemperatur am Standort Veitshöchheim lag zu diesem Zeitpunkt bei etwa 35°C. Die gemessene Substrattemperatur beim bewässerten Thymian und den Erdbeeren war mit etwa 27°C wieder etwas geringer als bei den anderen Messpunkten. Nachts und am Morgen unterschieden sich die Werte der einzelnen Sensoren sehr wenig. Um 07:00 Uhr lag die Temperatur bei allen iButtons und an der Wetterstation bei etwa 15°C (Abbildung 50).

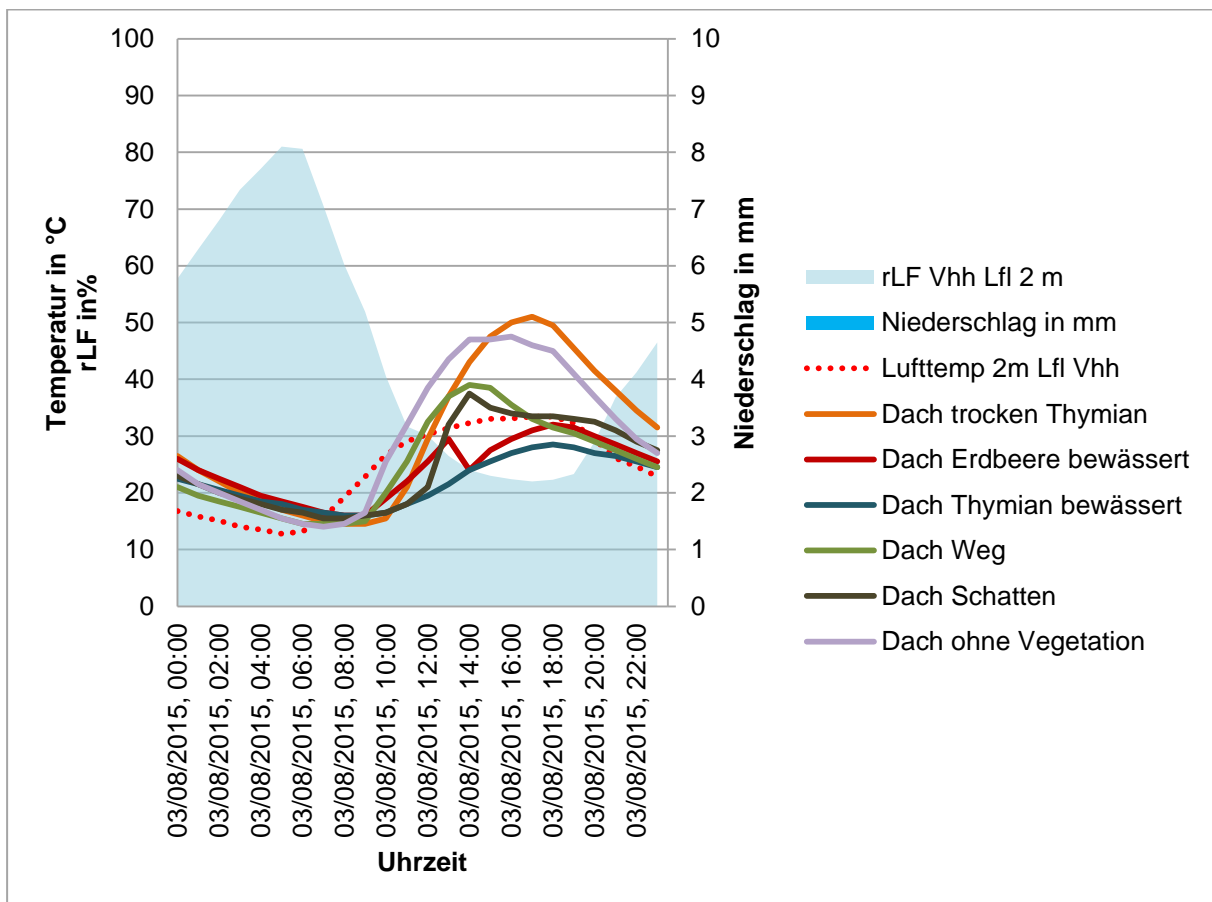


Abbildung 50: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am 03.08.2015 auf dem Versuchsdach und an der Wetterstation am Standort Veitshöchheim

Am 17.08.2015 wurde den ganzen Tag eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit an der Wetterstation gemessen. Die Temperatur lag auch gleichmäßig bei etwa 16°C. Die Temperatur der Sensoren auf dem Versuchsdach unterschied sich auch kaum von der Temperatur der Wetterstation (Abbildung 51).

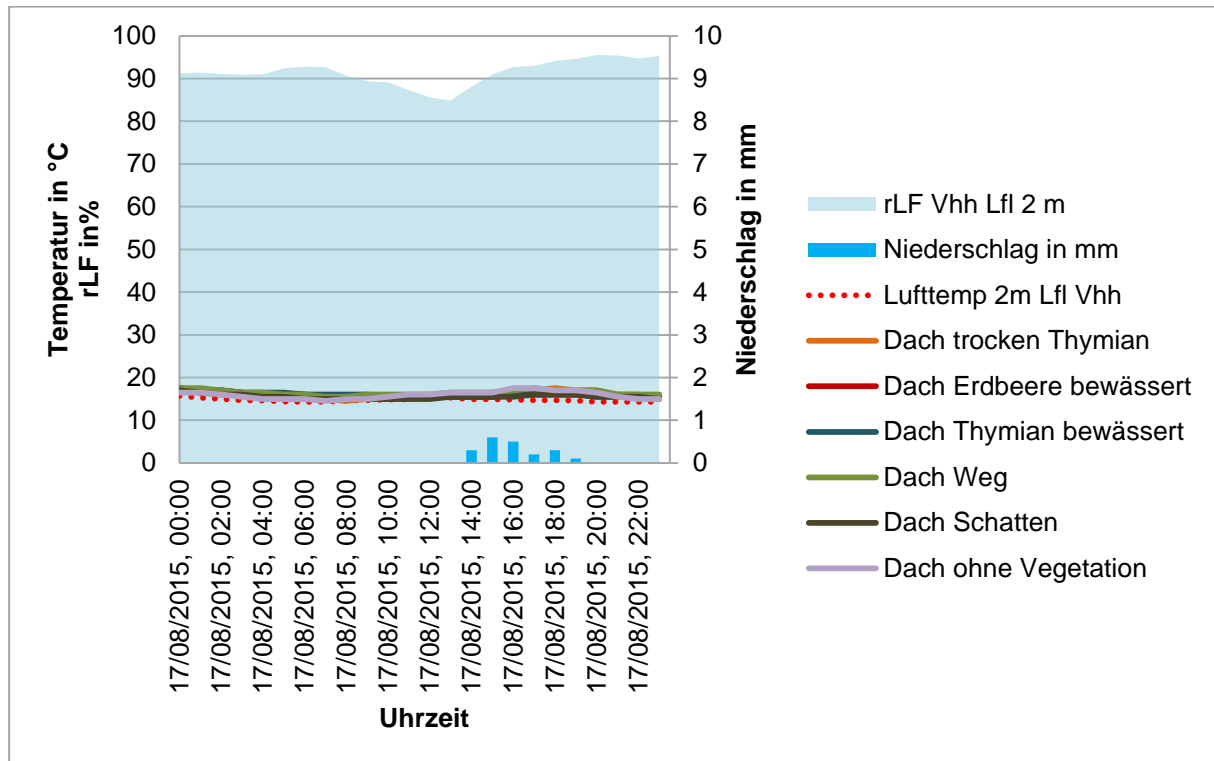


Abbildung 51: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am 17.08.2015 auf dem Versuchsdach und an der Wetterstation am Standort Veitshöchheim

3.3.4. Schlussfolgerungen

Die Nutzung von herkömmlichen extensiven Dachbegrünungen zur Produktion von Gemüsepflanzen bietet eine interessante Option. Wenn das verwendete Substrat frei von Pflanzen oder Unkräutern ist, bietet es ein gutes Saat- und Pflanzbett. Das Dach muss lediglich mit einer Bewässerungseinrichtung, z.B. mit Tropfschläuchen, ausgestattet werden. Die Düngung der Gemüsekulturen kann über ein mineralisches Stickstoffgranulat erfolgen. Jedoch bietet sich für die bessere Handhabung auf dem Dach auch eine Düngereinspeisung über Tropfschläuche an.

Die zusätzlichen Kosten für die Bewässerung belaufen sich lediglich auf etwa 5 €/m². Somit kann bei einer Nutzung des Daches über etwa 10 bis 15 Jahren die

Anschaffungskosten verteilt werden. Damit ergeben sich etwa 3 bis 5 €/m² pro Jahr für die Nutzungsgrundlage eines Gemüsedachs (Tabelle 10). Jedoch fallen im Versuchsverlauf voraussichtlich Kosten für die Bewässerung, Pflanzen und Kulturarbeiten an.

Tabelle 10: Kostenschätzung für die Einrichtung eines Gemüsedachs

Ausstattung	Kosten
Wurzelschutzbahn	5,50 €/m ²
Schutzvlies	2,50 €/m ²
Dachsubstrat 8 cm	18,- €/m ²
= Grundaufbau	26,- €/m ²
+ Tropfschlauch	4,- €/m ²
+ Befestigungshaken	1,- €/m ²
= Bewässerungseinrichtung	5,- €/m ²
Materialkosten gesamt	ab 31 €/m ²
Zzgl. AKh für Installation	ca. 10-20 €/m ²
Erwartete Abschreibung: 10-15 Jahre → 3 bis 5 €/m ² /Jahr	

Die meisten Nahrungspflanzen konnten auf dem Dach gut wachsen. Dennoch ist für verbesserte Erträge und Qualitäten eine gute Nährstoff- und Wasserversorgung notwendig.

Das Gemüse auf dem Dach erhält meist nicht ausreichend Stickstoff und Phosphor. Kalium und Magnesium wird trotz Überversorgung je nach Kultur in unterschiedlichen Mengen aufgenommen. Auch Calcium tritt in unterschiedlichen Gehalten im Gemüse im Vergleich zu den Erfahrungswerten des Freilandanbaus auf. Die Gehalte an Zink sind bei nahezu allen Gemüsekulturen höher als üblich. Nickel kann zwar im Dachsubstrat vorkommen, wird aber bei den gegebenen Anbaubedingungen nur in sehr geringen Mengen in das Gemüse übertragen.

Die Temperatur auf dem Dach kann im Sommer mit bis zu 50°C sehr hoch werden. Bei einem gut entwickelten Pflanzenbestand mit Bewässerung wird allerdings die Temperatur beim Substrat um bis zu 15 K verringert. Trockentolerante Kulturen, wie z.B. Thymian können aber auch bei 50°C mit wenig Bewässerung auf dem Dach überdauern.

3.3.5. Weiterer Forschungsbedarf

Die Entwicklung des Dachsubstrats bei einer langjährigen Bewirtschaftung mit Gemüsekulturen sollte beurteilt werden. Da regelmäßig Pflanzenreste auf dem Dach verbleiben, sind noch keine Auswirkungen auf die Struktur und weitere Eigenschaften des Dachsubstrats bekannt. Vor allem auch die Nutzung unterschiedlicher Gemüsekulturen in regelmäßiger Fruchtfolge auf dem Dach muss bezüglich der phytopathologischen Eigenschaften untersucht werden.

Zwar wurde bereits mehrfach die Wirkung von Gründächern auf das Gebäude- und Umgebungsklima untersucht. Allerdings können die dabei auftretenden Effekte bei unterschiedlichen Pflanzenbeständen unterschiedlich ausgeprägt sein. So ist die Klimawirkung von bewässert oder nicht bewässerten Gemüseflächen gegenüber einer herkömmlichen Dachbegrünung mit Sukkulente n interessant.

Vor allem die Nutzung der Dachbegrünung in einem möglichst geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreislauf sollte untersucht werden. Neben der Verwertung von Ablaufwasser könnte auch Grauwasser zur Bewässerung verwendet werden.

3.4. Tastversuch auf der herkömmlichen Dachbegrünung

3.4.1. Zielsetzung

Auf dem Versuchsdach der Abteilung Landespflege sollen im Randbereich weitere Gemüsekulturen getestet werden. Der Aufbau entspricht dabei dem Systemdach der vorherigen Versuche. 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.

3.4.2. Material und Methode

Das Versuchsdach (aus dem vorherigen Versuch, siehe 3.3.) wurde im Randbereich verwendet. Die Versuchsbedingungen entsprechen nahezu denen des Hauptversuchs. Einzelne Parzellen wurden mit Tropfschläuchen bewässert, andere erhielten

nur gelegentlich eine manuelle Bewässerung. Es wurde auch ein überschatteter Bereich auf dem Dach für den Anbau von Gemüsepflanzen genutzt.

Die Kulturen erhielten meist eine Düngung nach eigentlichem Bedarf. Somit wurde je nach Art zwischen 5 und 35 g ENTEC 26 je m² bedarfsgerecht gedüngt.

Im Frühjahr 2014 wurde mit Feldsalat und Rucola begonnen. Die Salate wurden durch Jungpflanzen in Erdpresstöpfen ausgebracht und in einem Abstand von etwa 7 cm entlang der Tropfschläuche gepflanzt (Bild 70 und Bild 71).



Bild 70: Feldsalat auf dem Dach am 22.04.2014



Bild 71: Rucola auf dem Dach am 22.04.2014

Im Randbereich des Versuchsbaus wurden neben Zucchini und Paprika (Bild 72) auch Auberginen kultiviert (Bild 73). Die Zucchini und Paprika wurden ausschließlich händisch gegossen und gedüngt.



Bild 72: Randbereich auf dem Versuchsbaus mit Zucchini, Paprika Basilikum am 15.07.2014



Bild 73: Randbereich auf dem Versuchsbaus mit Aubergine, Zucchini am 15.07.2014

Entlang der Tropfschläuche wurden im Sommer 2014 auch Hirschhornwegerich und Ampfer kultiviert (Bild 74). Neben den Erdbeer- und Auberginenpflanzen stand auch der Ewige Kohl (Bild 75). Bei dieser Pflanze kann regelmäßig das Laub geerntet und verzehrt werden.



Bild 74: Ampfer und Hirschhornwegerich auf dem Dach am 08.05.2015



Bild 75: Randbereich mit Tropfschläuchen bei gepflanzten Tomaten, Auberginen, Zucchini und Ewiger Kohl am 11.06.2014

Die Tomatenpflanzen auf dem Dach wurden mit Hilfe von einfachen Bambusstecken gestützt (Bild 76). Neben Buschtomaten konnten sich auch Rispentomaten auf dem Dach etablieren (Bild 77).



Bild 76: Tomatenpflanzen auf dem Dach mit Bambusstecken als Stütze am 23.06.2014



Bild 77: Tomatenrispe auf dem Versuchsdach am 24.07.2014

Im Versuchsverlauf wurden die verschiedenen Kulturen regelmäßig per Hand zusätzlich bewässert (Anhang 13). Die einzelnen Gießvorgänge waren etwa zwischen 5 und 20 Liter je Tag.

3.4.3. Ergebnisse

Die meisten Gemüsekulturen konnten sich im Randbereich gut etablieren. Bei zunehmender Hitze und abnehmender Nährstoff- und Wasserzufuhr im Sommer verringerte sich allerdings das Wachstum einzelner Pflanzen.

Dennoch konnten gute Erträge bei den verschiedenen Gemüsearten erzielt werden (Tabelle 11). Bei einer Fläche von jeweils etwa 3 m² bei Feldsalat und Rucola ergibt sich ein Flächenertrag von über 1 kg Salat je m². Auch der Ertrag von etwa 18,6 kg bei den fünf Zucchinipflanzen ist gut.

Der Hirschhornwegerich wuchs nach der Ernte sehr schnell nach und war nach etwa ein bis zwei Wochen im Sommer erneut erntefähig. Allerdings kam es beim Hirschhornwegerich auch sehr früh zu Ansätzen von Blühknospen.

Tabelle 11: Gemüseernte im Randbereich auf dem Versuchsdach

Zeit	Kultur	Frischmasse in g
Frühling 2014	Rucola	3411
Frühling 2014	Feldsalat	3066
Sommer 2014	Zucchini	18600
Sommer 2014	Tomaten	5555
Sommer 2014	Aubergine	1882
15.05.2015	Radieschen	100
18.05.2015	Radieschen	230
18.05.2015	Namenia	280
18.05.2015	Hirschhornwegerich	150
18.05.2015	Ampfer	100
12.06.2015	Namenia	263
25.06.2015	Ampfer	90
25.06.2015	Hirschhornwegerich	350
25.06.2015	Kohlrabi (klein)	490
27.06.2015	Dill, wild aufgegangen	1 Bund
07.07.2015	Kohlrabi (klein)	707
07.07.2015	Ackerbohne inkl. Hülse	2646
01.10.2015	Rote Bete Laub	394
01.10.2015	Rote Bete Wurzel	977

3.4.4. Schlussfolgerung

Verschiedenste Gemüsekulturen können auf dem Dach untersucht werden. Gepflanzter Feldsalat und Rucola kann gute Erträge auf dem Dach erzielen und kann regelmäßig geerntet werden. Sehr oft kann Hirschhornwegerich auf dem Dach geerntet werden. Diese Pflanze wächst sehr anspruchslos auch mit wenig Wasser- und Nährstoffeinsatz. Für den Anbau von höherwachsenden Kulturen, wie z.B. Tomaten könnten Rankhilfen genutzt werden. Allerdings ist die Befestigung auf dem Dach nur sehr schwer möglich. Zucchini können sich auch auf dem Dach sehr gut entwickeln.

3.4.5. Weiterer Forschungsbedarf

Unterschiedliche Sorten von Tomatenpflanzen könnten auf dem Dach untersucht werden. Da eine Befestigung und Überdachung auf dem Dach nur schwer möglich ist, kann der Einsatz spezieller Sorten untersucht werden.

Auch die Nutzung von Ansaatmischungen würde auf dem Dach eine interessante Alternative zur aufwendigen Pflanzarbeit bieten. Da bisher die meisten Kulturen gepflanzt wurden, ist vor allem die Aussaat von Gemüse auf dem Dach zu untersuchen. Der Hirschhornwegerich konnte sich in dem Tastversuch bereits gut etablieren.

3.5. Versuch zu essbaren Ansaatmischungen auf dem Dach

3.5.1. Zielsetzung

Die Fläche aus den vorherigen Versuchen zur essbaren Extensivbegrünung sollen für den Versuch zur Testung von Mischungen genutzt werden. Da bei der Pflanzung von Gemüsekulturen zusätzliches Topfsubstrat ausgebracht wird, sollen Aussaaten auf dem Dachbegrünungssystem untersucht werden. Nach der möglichst einmaligen Aussaat soll die Mischung regelmäßig geerntet werden können. Damit soll auch der Arbeitsaufwand für die Ausbringung der Pflanzen und damit die Anzahl der Dachzugänge minimiert werden. Die FLL-Richtlinie zur Dachbegrünung empfiehlt eine Düngung von nur 5 Gramm Stickstoff je Quadratmeter extensive Dachbegrünung. Einige Gemüsekulturen benötigen allerdings wesentlich mehr Nährstoffe. Deshalb sollen die Mischungen mit unterschiedlichen Düngegaben kultiviert werden. Die Pflanzenentwicklung soll gesichtet werden und die Erträge auf dem Dach sollen erfasst werden.

3.5.2. Material und Methode

Drei unterschiedliche essbare Ansaatmischungen wurden auf dem System untersucht. Neben einer Gemüsemischung kamen auch eine Wildgemüsemischung und eine Kräutermischung zum Einsatz.

Die Gemüsemischung enthielt in den 5,7 g/m² Arten aus verschiedensten Gemüsfamilien (Tabelle 12).

Tabelle 12: Zusammensetzung der Gemüsemischung (Mischung 1) für das Dach

Kultur	%	g/m ²
Hirschhornwegerich	17,2 %	0,99
Römersalat Kasseler Strünkchen	5,7 %	0,33
Radieschen Celsta F1	35,0 %	2
Mangold Five Colors	31,5 %	1,8
Möhre Guerande	1,8 %	0,1
Allium Stuttgarter Riesen	7,0 %	0,4
Steckrübe Wilhelmsburger	1,8 %	0,1
Summe	100,0 %	5,74

Die Mischung 2 enthielt 16 Arten von Wildgemüse (Tabelle 13).

Tabelle 13: Zusammensetzung der Wildgemüsemischung (Mischung 2) für das Dach

Kultur	%	g/m ²
Allium senscens ssp. Montanum	7,00	0,05
Allium vineale	6,00	0,04
Amaranthus lividus, Roter Meier	4,00	0,03
Atriplex hortensis rot, Gartenmelde rubinrot	6,00	0,04
Campanula rapunculus	4,00	0,03
Eruca sativa, Salatrauke	8,00	0,06
Malva moschata	4,00	0,03
Malva verticillata var.crispa, chin. Gemüsemalve	7,00	0,05
Oenothera biennis	5,00	0,04
Papaver rhoeas	3,00	0,02
Plantago media	5,00	0,04
Rumex acetosa	5,00	0,04
Sanguisorba minor	10,00	0,07
Scandix pecten-veneris	7,00	0,05
Silene alba, silene latifolia subsp.alba	7,00	0,05
Silene vulgaris	12,00	0,08
Summe	100,00	0,70

Die Kräutermischung bestand aus 16 verschiedenen Kräutern (Tabelle 14).

Tabelle 14: Zusammensetzung der Kräutermischung (Mischung 3) für das Dach

Kultur	%	g/m ²
Agastache foeniculum	3,3 %	0,03
Allium fistulosum	11,0 %	0,1
Anethum graveolens	11,0 %	0,1
Anthriscus cerefolium	8,8 %	0,08
Chrithum maritimum	5,5 %	0,05
Cochlearia officinalis	5,5 %	0,05
Coriandrum sativum	13,2 %	0,12
Foeniculum vulgare	8,8 %	0,08
Melissa officinalis	4,4 %	0,04
Origanum vulgare	1,6 %	0,015
Petroselinum crispum einfache Schnitt	11,0 %	0,1
Satureja montana	4,4 %	0,04
Schnittknoblauch, allium tuberosum	5,5 %	0,05
Sideritis syriaca	1,9 %	0,017
Tagetes tenuifolia Orange Gem	1,5 %	0,014
Thymus pulegioides	2,7 %	0,025
Summe	100,0 %	0,91

Die Versuchsfläche befindet sich auf dem Versuchsdach des vorherigen Versuchs zur Nahrungsmittelproduktion auf einer ehemaligen extensiven Dachbegrünung (siehe 3.3. und 3.4.). Die Fläche von über 25 m² wird in 18 gleichgroße Parzellen zu je ca. 1 m x 1,25 m eingeteilt. Neben den drei Mischungen werden 2 Düngvarianten gewählt. Jede Variante hat drei Wiederholungen. Alle Parzellen werden randomisiert auf dem Dach angelegt (Abbildung 52).

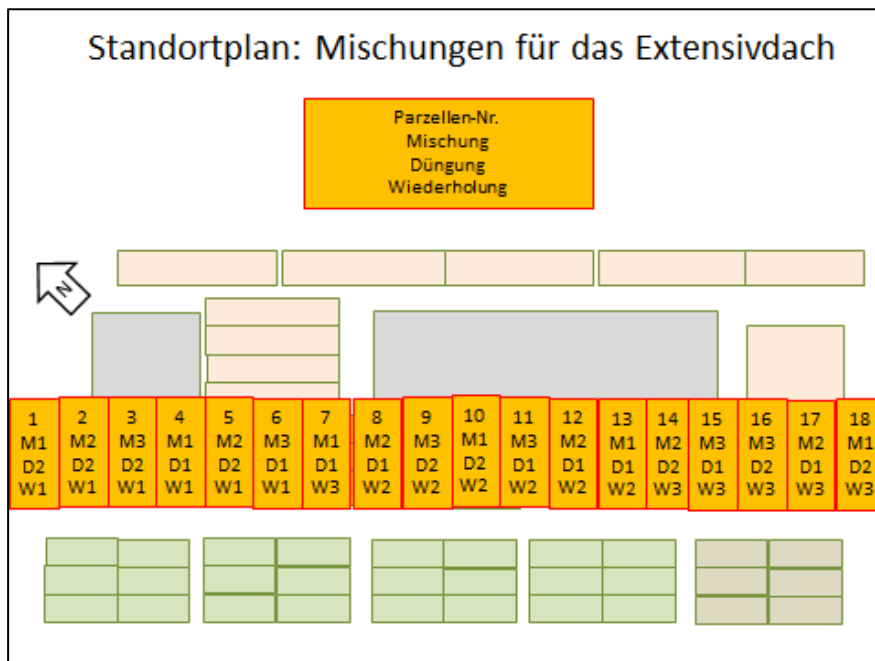


Abbildung 52: Plan zur Parzellenverteilung auf dem Versuchsdach (Parzellennr. 1-18, M1= Gemüsemischung, M2= Wildgemüsemischung, M3=Kräutermischung, D1= einfache Düngung, D2= intensive Düngung, W=Wiederholung)

Die Versuchsfläche wurde vor Beginn von allen Pflanzenresten befreit und eingeebnet (Bild 78). Das Saatgut für jeweilige Parzelle wurde zur erleichterten Aussaat mit Sojaschrot vermengt (Bild 79).



Bild 78: Dachfläche frei von Pflanzenbeständen vor der Aussaat am 01.07.2015

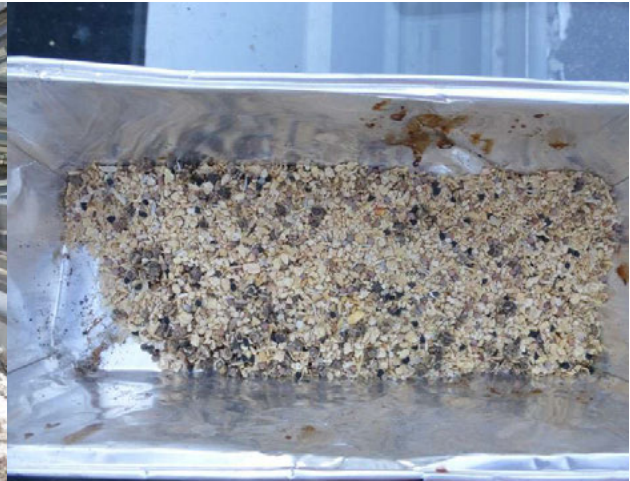


Bild 79: Saatgut mit Sojaschrot für die Aussaat auf einer Parzelle

Die Mischungen wurden am 01.07.2015 ausgesät und gründlich angegossen (Bild 80). Anschließend wurden Micro-Sprinkler auf den Flächen montiert. Die Bewässerung erfolgte im weiteren Versuchsverlauf über diese und händisch.

Nach etwa zwei Wochen begann die Aussaat der Gemüsemischung zu keimen (Bild 81). Bei den anderen Mischungen waren kaum Pflanzen im Keimstadium zu sehen.



Bild 80: Bewässerung per Hand bei den Aussaaten am 01.07.2015



Bild 81: Keimbeginn am 15.07.2015 bei der Gemüsemischung einer Parzelle

Die Mischungen wurden mit zwei Düngevarianten kultiviert. Neben der nach FLL-empfohlener Düngegabe von 5 g N/m² wurde eine weitere Variante der Mischungen mit 15 g N/m² im ersten Versuchsabschnitt bis zum 28.09.2015 gedüngt. Nach der Ernte Ende September 2015 wurde eine weitere Düngegabe mit der Unterscheidung zwischen organischem (D1) und mineralischem Dünger (D2) gegeben (Tabelle 15).

Tabelle 15: Varianten und Düngergaben bei den Parzellen (Düngerformen E=ENTEC 26, A=Ammoniumsulfatsalpeter, H=Bio-Hornspäne)

Parzelle	Mischung	Düngevariante		14.08.2015	24.08.2015	29.09.2015
1	1	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
2	2	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
3	3	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
4	1	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
5	2	2	intensiv	5 g N/m ² (E) ²	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
6	3	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
7	1	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
8	2	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
9	3	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
10	1	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
11	3	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
12	2	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
13	1	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
14	2	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
15	3	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
16	3	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)
17	2	1	extensiv	0	5 g N/m ² (E)	4 g N/m ² (H)
18	1	2	intensiv	5 g N/m ² (E)	10 g N/m ² (E+A)	10 g N/m ² (E+A)

Nach dem Angießen bei der Aussaat wurden regelmäßig die Mikro-Sprinkler betrieben und zusätzlich händisch durchdringend gewässert (

Anhang 14). Ab dem 04.09.2015 wurden aufgrund des ausreichend dichten Pflanzenbestandes regelmäßige Bewässerungsgaben über drei Tropfschläuche gegeben (pro Parzelle je etwa 10 Tropfer mit jeweils 4 l/h).

Die Pflanzenentwicklung der Mischungen wurde regelmäßig fotografisch erfasst und bei der Sichtung an mehreren Terminen bonitiert. Es wurden insgesamt drei Erntegänge durchgeführt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Bonitur- und Erntetermine des Ansaat-Versuchs

Datum	Aktion
15.07.2015	Bonitur
13.08.2015	Bonitur
14.08.2015	Ernte und Bonitur
28.08.2015	Bonitur
02.09.2015	Ernte und Bonitur Hirschhornwegerich
18.09.2015	Bonitur
23.09.2015	Ernte
13.10.2015	Bonitur

Der Ertrag des Hirschhornwegerichs wurde vorwiegend bei der letzten Ernte mit Abräumen am 23.09.2015 erfasst. Aufgrund der sehr starken Bedeckung durch die Pflanzen wurden diese komplett entfernt (Bild 82 und Bild 83). Die anderen Kulturen wurden je nach Entwicklungszustand geerntet.



Bild 82: Dichter Bewuchs mit Hirschhornwegerich bei einer Parzelle auf dem Versuchsdach



Bild 83: Erntearbeiten beim Abräumen des Hirschhornwegerichs aus den Parzellen

Die Mischungen wurden nach Parzellen und nach Kulturen sortiert geerntet (Bild 84 und Bild 85). Bei der Gemüsemischung kam es vorwiegend zu Ernte von Hirschhornwegerich, Radieschen und Mangold. Bei der Wildgemüsemischung wurden

Amaranth, Rucola und Malve geerntet. Bei der Kräutermischung wurden die Duftnessel, Koriander, Dill, Melisse, Oreganum, Petersilie und Tagetes geerntet. Alle anderen essbaren Pflanzen wurden aufgrund der geringen Entwicklung zum Erntezeitpunkt auf der Fläche belassen.



Bild 84: Ernte der Wildgemüsemischung auf dem Versuchsdach



Bild 85: Ernte der Kräutermischung auf dem Versuchsdach

Vor der Aussaat der Kulturen wurden Temperatursensoren (wie bei den vorherigen Versuchen) auf dem Dach verteilt. Damit wurden die Temperaturverläufe aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Die Messungen wurden zwischen Anfang Juli und Anfang September 2015 durchgeführt.

3.5.3. Ergebnisse

3.5.3.1. Pflanzenentwicklung

Etwa sechs Wochen nach der Aussaat der Pflanzen haben sich die einzelnen Parzellen unterschiedlich entwickelt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde keine Düngung durchgeführt. Während die Gemüsemischung eine sehr hohe Flächendeckung (Bild 86), vor allem durch den Hirschhornwegerich aufwies, war der Deckungsgrad bei der Wildgemüsemischung etwas geringer (Bild 87). Bei der Kräutermischung haben sich nur wenige Pflanzen und vorwiegend Unkräuter entwickelt (Bild 88)



Bild 86: Mischung 1 (Gemüse) ohne Düngung am 13.08.2015



Bild 87: Mischung 2 (Wildgemüse) ohne Düngung am 13.08.2015



Bild 88: Mischung 3 (Kräuter) ohne Düngung am 13.08.2015

Im weiteren Verlauf wurden die Aussaaten mit 5 bzw. 15 Gramm Stickstoff je Quadratmeter gedüngt. So entwickelten sich die einzelnen Parzellen unterschiedlich. Die Mischungen mit der geringeren Düngemenge (nach FLL) waren insgesamt kleiner gewachsen und hatten eine etwas hellere Färbung (Bild 89, Bild 91, Bild 93). Der Wuchs der Mischungen mit 15 g N/m² war etwas stärker. Die Pflanzen waren auch etwas dunkler (Bild 90, Bild 92, Bild 94).



Bild 89: Mischung 1 (Gemüse) mit 5 g N/m² am 01.09.2015



Bild 90: Mischung 1 mit 15 g N/m² am 01.09.2015



Bild 91: Mischung 2 (Wildgemüse) mit 5 g N/m² am 01.09.2015



Bild 92: Mischung 2 (Wildgemüse) mit 15 g N/m² am 01.09.2015



Bild 93: Mischung 3 (Kräuter) mit 5 g N/m² am 01.09.2015



Bild 94: Mischung 3 (Kräuter) mit 15 g N/m² am 01.09.2015

Nach dem weiteren Ernte- und Kulturverlauf wurden die Mischungen erneut gedüngt. Nach dieser Düngegabe waren kaum Unterschiede zwischen den Düngewarianten zu erkennen). Die Färbung der jeweiligen Varianten entsprach in etwa der Farbentwicklung im vorherigen Vergleich. Bei der höheren Düngergabe waren die Pflanzen dunkler. Der Pflanzenbestand der Kräutermischung war am 29.09.2015 sehr schwach (Bild 99, Bild 100). Bei der Gemüsemischung wurden die restlichen Radieschen belassen und entwickelten einen Blütenansatz (Bild 95, Bild 96). Die Wildgemüsemischung hatte auf dem Versuchsdach am 29.09.2015 den Bestand mit der höchsten Vitalität. (Bild 97, Bild 98).



Bild 95: Mischung 1 (Gemüse) mit 5 g N/m² am 29.09.2015



Bild 96: Mischung 1 (Gemüse) mit 15 g N/m² am 29.09.2015



Bild 97: Mischung 2 (Wildgemüse) mit 5 g N/m² am 29.09.2015



Bild 98: Mischung 2 (Wildgemüse) mit 15 g N/m² am 29.09.2015

Bild 99: Mischung 3 (Kräuter) mit 5 g N/m² am 29.09.2015Bild 100: Mischung 3 (Kräuter) mit 15 g N/m² am 29.09.2015

3.5.3.2. Erträge

Der Ertrag des Hirschhornwegerichs wurde vorwiegend bei der letzten Ernte mit dem Abräumen am 23.09.2015 erfasst. Zwar wurde die höchste Frischmasse bei der intensiven Düngegabe erfasst, allerdings unterschied sich die Variante kaum zu den Erträgen von Hirschhornwegerich mit 5 g N/m² (Abbildung 53). Aufgrund der sehr starken Bedeckung durch die Pflanzen wurden diese komplett entfernt.

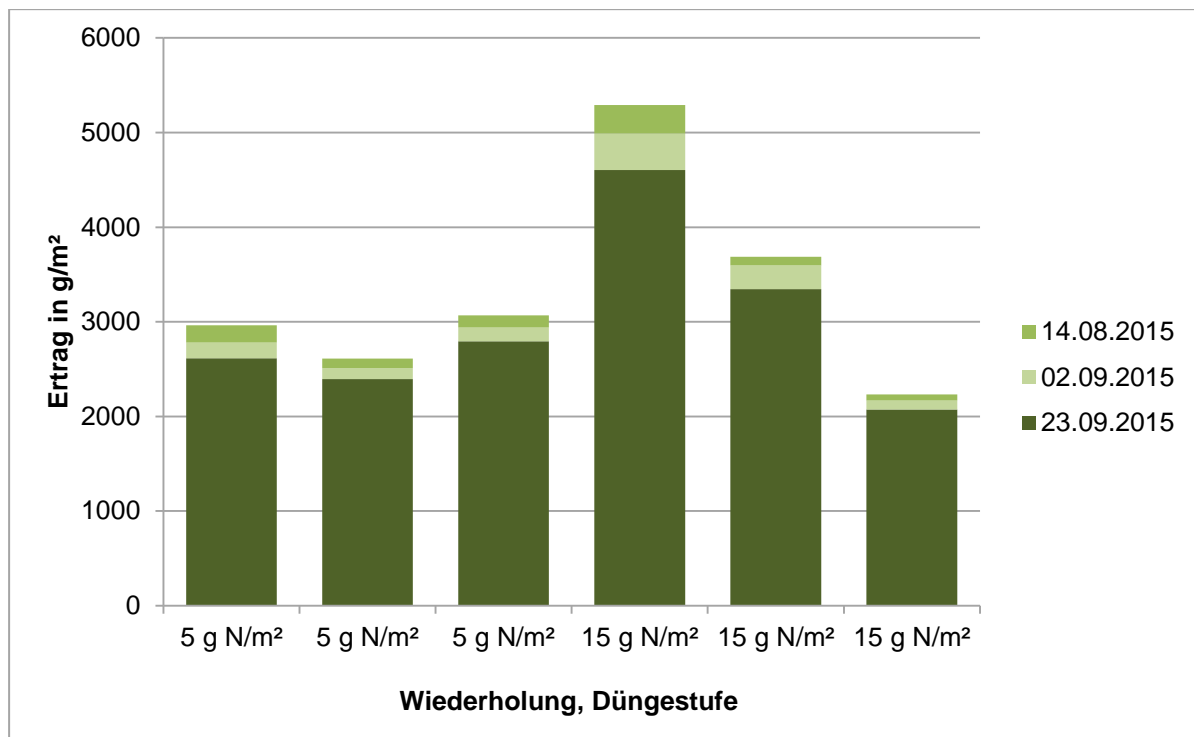


Abbildung 53: Frischmasse von Hirschhornwegerich bei der Ernte und Abräumen der Pflanzen an den einzelnen Terminen bei unterschiedlicher Düngerversorgung der Parzellen

Der Ertrag von Radieschen in der Gemüsemischung unterschied sich sehr in den einzelnen Parzellen (Abbildung 54). Der höchste Ertrag von 808 g/m² wurde bei einer Parzelle mit der Düngemenge von 15 g N/m² gemessen. Den niedrigsten Ertrag mit 180 g/m² erzielte eine Parzelle der Düngemenge nach FLL-Richtlinie für Extensivbegrünungen.

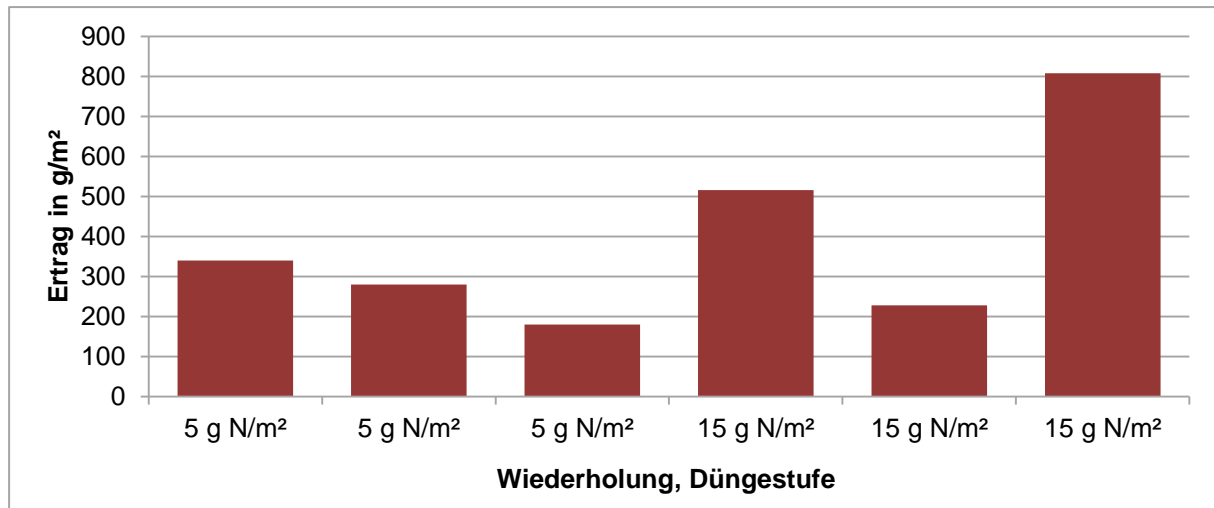


Abbildung 54: Frischmasse von Radieschen bei der Ernte bei unterschiedlicher Düngerversorgung der Parzellen

Die Erträge der Kräutermischungen unterschieden sich stark bei den einzelnen Parzellen. Die geringste Ertragssumme betrug etwa 200 g pro Parzelle gemessen. Der höchste Ertrag war etwa 1500 g/m². Dabei bestand ein Großteil der Frischmasse der Kräutermischung aus dem Erntegut der Tagetespflanzen. Bei einer Parzelle mit 5 g N/m² wurde allerdings der höchste Tagetes-Ertrag von über 1000 Gramm geerntet. Der geringste Tagetesertrag von 91 g wurde bei einer Parzelle mit 20 g N/m² erzielt (Abbildung 55).

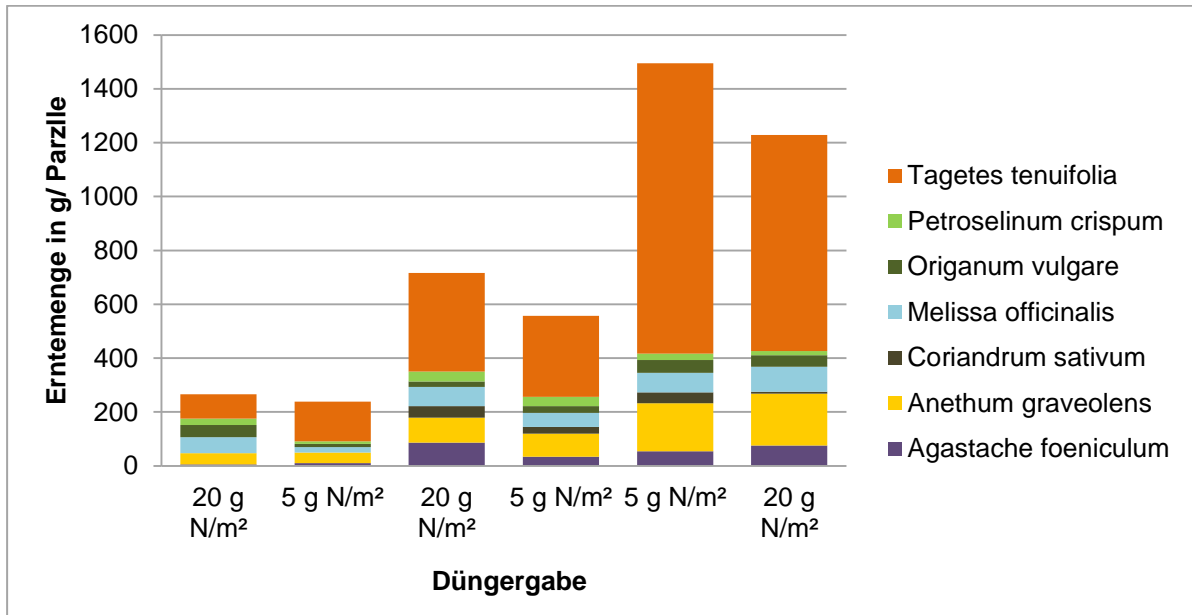


Abbildung 55: Verteilung der Erträge unterschiedlicher Kräuter der Kräutermischung auf einzelnen Parzellen bei der Ernte am 23.09.2015

Bei der Wildgemüsemischung unterschieden sich die einzelnen Massen von Amaranth, Rucola und Malve zwischen den einzelnen Parzellen. Die Erntesumme der jeweiligen Parzellen lag beim Amaranth zwischen 250 und 1100 g/m². Beim Rucola unterschied sich die Frischmasse zwischen 110 und 500 g/m². Der Ertrag der Malve lag zwischen 100 und 200 g/m². Die Erntesumme der Wildgemüsemischung lag somit je nach Parzelle bei 580 bis über 1400 g/m² (Abbildung 56).

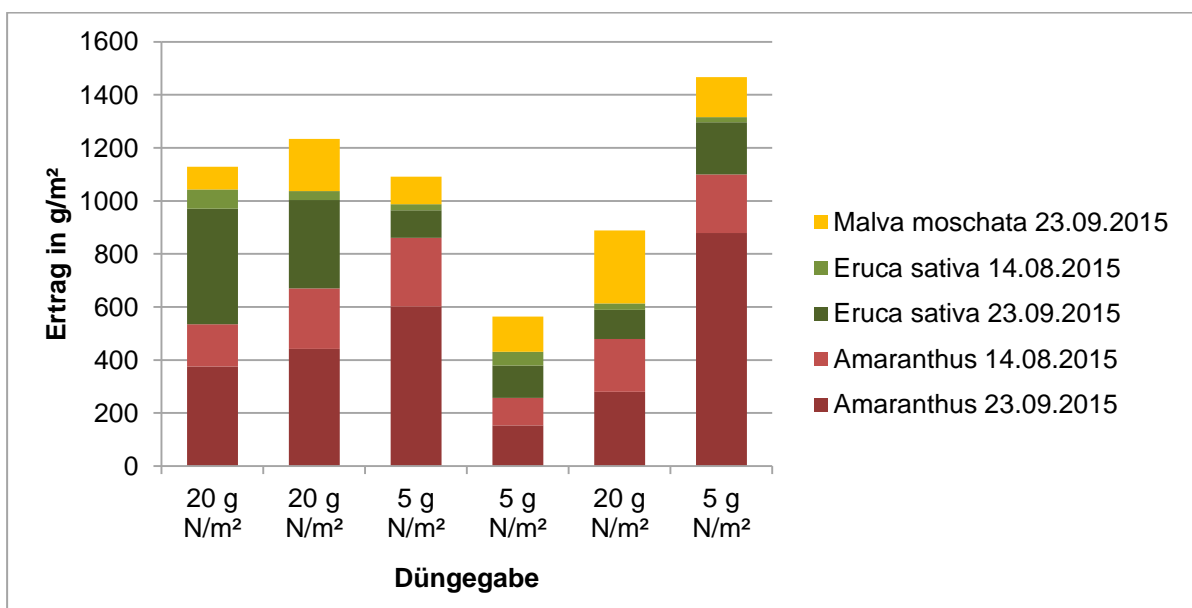


Abbildung 56: Verteilung der Erträge von unterschiedlichem Wildgemüse der Wildgemüsemischung auf unterschiedlichen Parzellen bei der Ernte

3.5.3.3. Klima

Wenige Tage nach der Aussaat (am 05.07.2015) auf dem Versuchsdach unterschied sich der Temperaturverlauf im Substrat bei den Parzellen nur in geringem Maße zu dem Temperaturverlauf der Wetterstation. Es wurden bei fast allen Messpunkten Temperaturen bis zu 40°C am Nachmittag gemessen. Nachts war die Temperatur nicht unter 20°C (Abbildung 57).

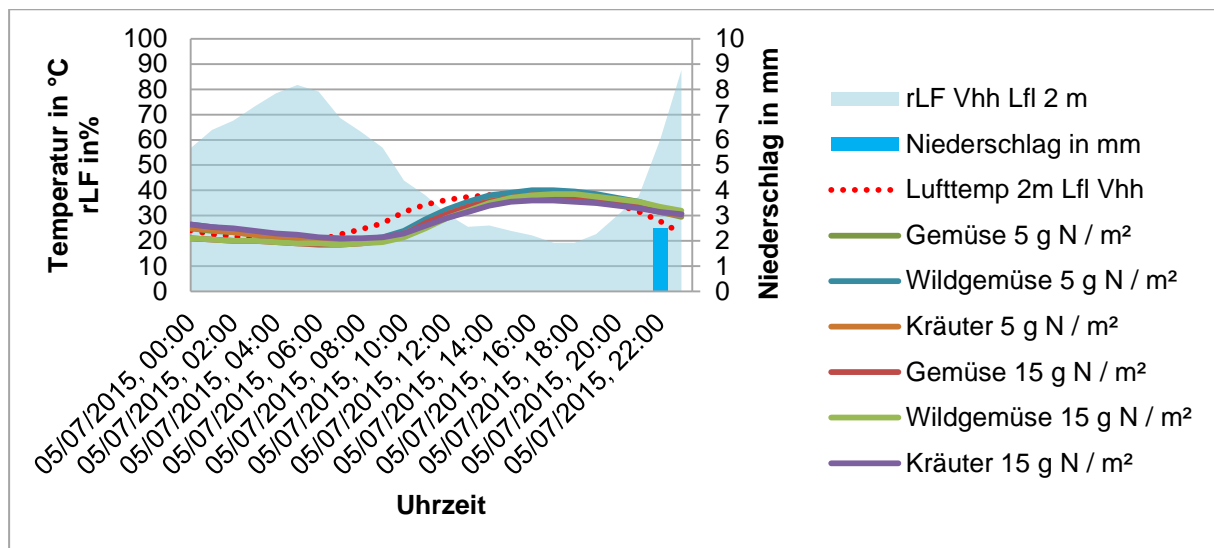


Abbildung 57: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 05.07.2015

Nachdem die ersten Pflanzen auf dem Dach gekeimt waren, verringerte sich tagsüber die Temperatur auf den Parzellen im Verhältnis zur Temperatur an der Wetterstation. Während die Referenztemperatur am 17.07.2015 bis zu 36°C war, blieben die Temperaturen auf dem Dach um etwa 5 K geringer (Abbildung 58). Zwischen den einzelnen Messpunkten waren kaum Unterschiede im Temperaturverlauf zu erkennen.

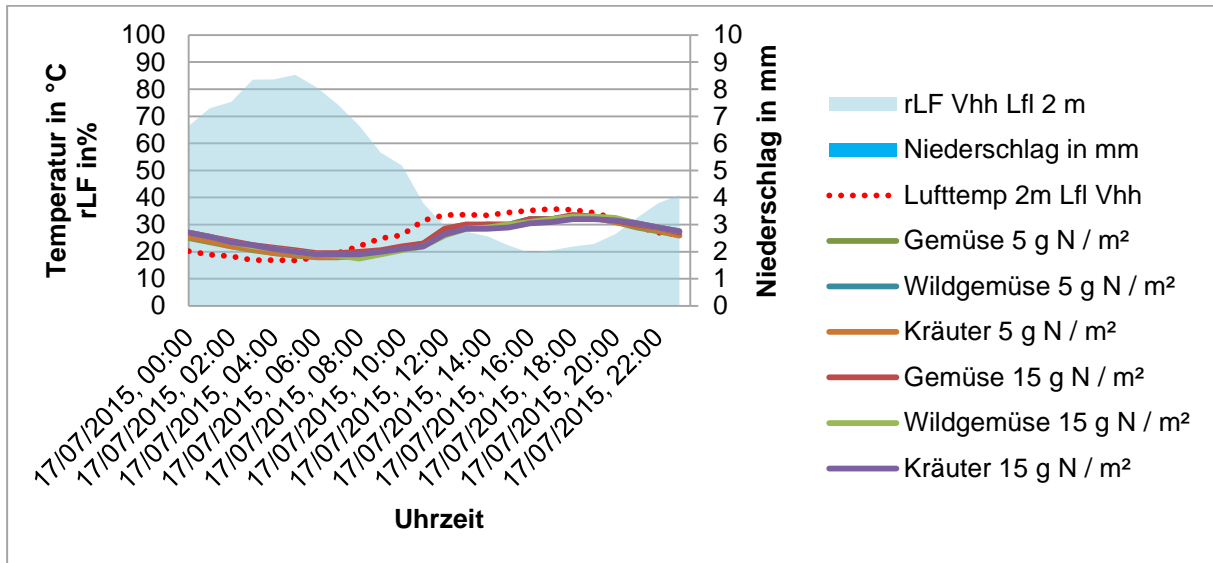


Abbildung 58: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 17.07.2015

Am 07.08.2015 waren die Pflanzen bereits besser entwickelt. Die geringsten Nachmittagstemperaturen wurden bei den Gemüsemischungen mit etwa 30°C bis 35°C gemessen. Bei den anderen Messpunkten betrug die Temperatur zwischen 37°C und 41°C. Bis um 05:00 Uhr waren die Temperaturen auf dem Versuchsdach noch höher, als an der Wetterstation (Abbildung 59).

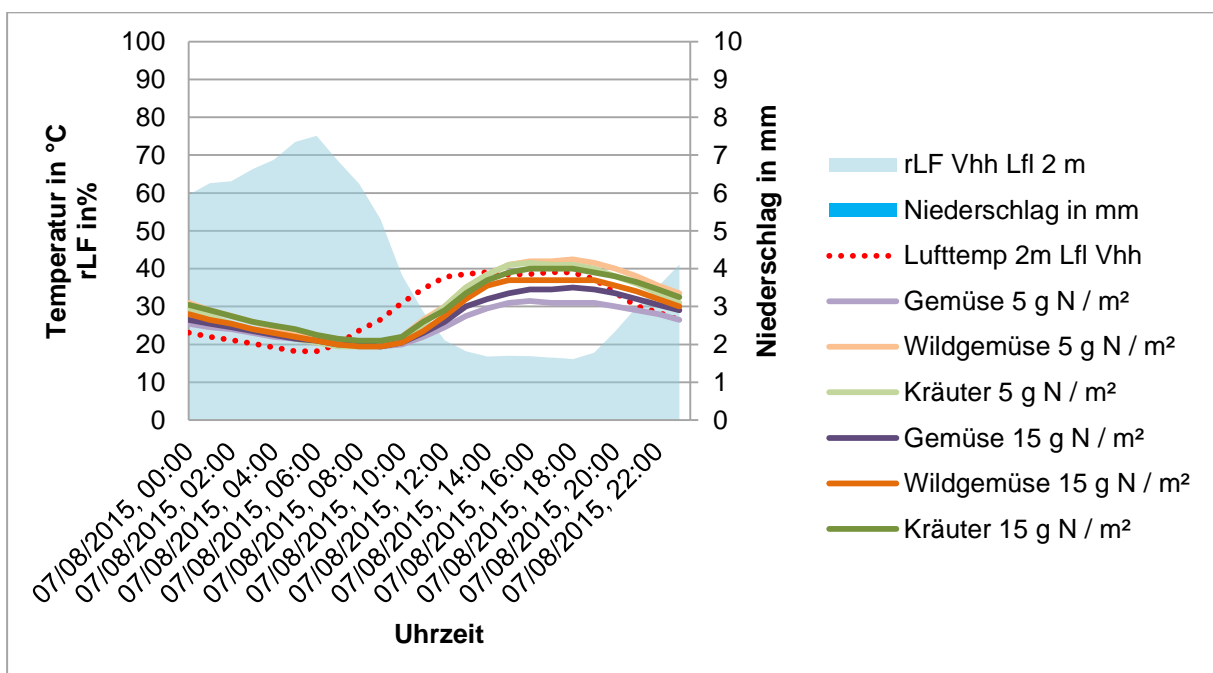


Abbildung 59: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 07.08.2015

Am 12.08.2015 wurden wieder unterschiedliche Temperaturen am Nachmittag gemessen. Während bei der Gemüsemischung (mit 5 g N/m²) nur etwa 30°C erfasst wurden, betrug die Temperatur bei der Kräutermischung bis zu 40°C (Abbildung 60). Zu diesem Zeitpunkt war auch der Pflanzenbestand der Gemüsemischung wesentlich dichter, als der Bestand bei den Kräutern.

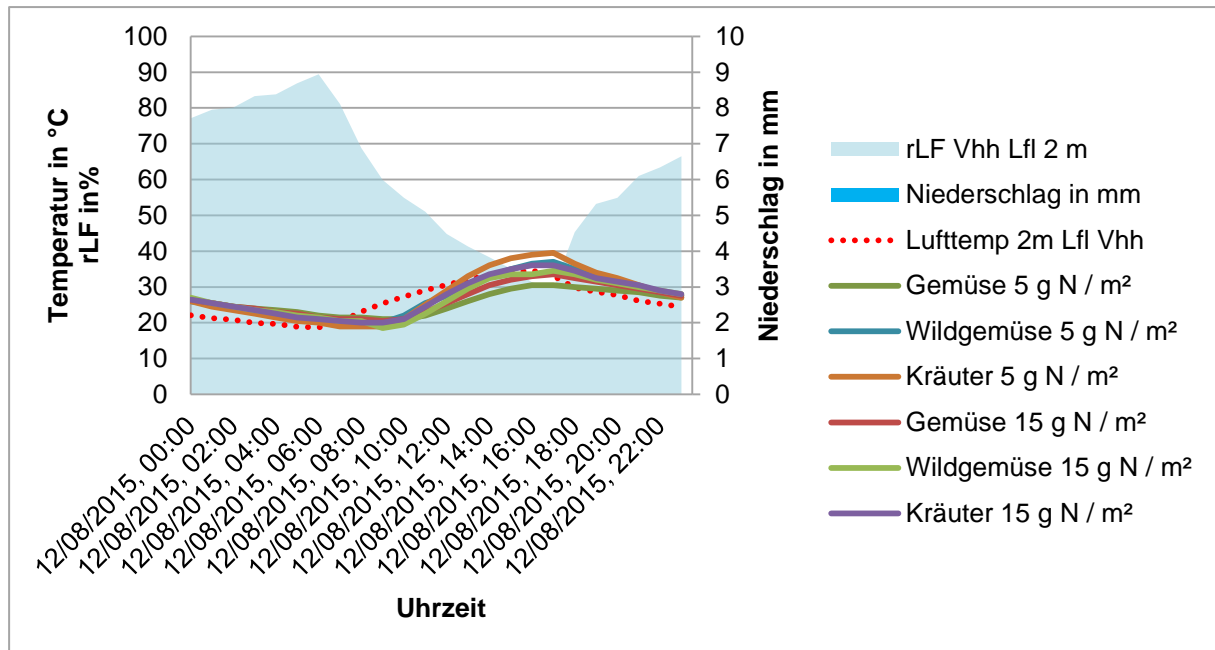


Abbildung 60: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 12.08.2015

Am 13.08.2015 unterschieden sich die einzelnen Mischungen im Temperaturverlauf kaum. Nachmittags war wieder die Gemüsemischung (5 g N/m²) mit etwa 29°C am kühlsen (Abbildung 61). An den anderen Messpunkten wurden bis zu 37°C gemessen. Nach einem Niederschlag um 17:00 Uhr unterschieden sich die einzelnen Messsensoren kaum. Nur die Temperatur bei der Wetterstation fiel zu diesem Zeitpunkt wesentlich stärker ab.

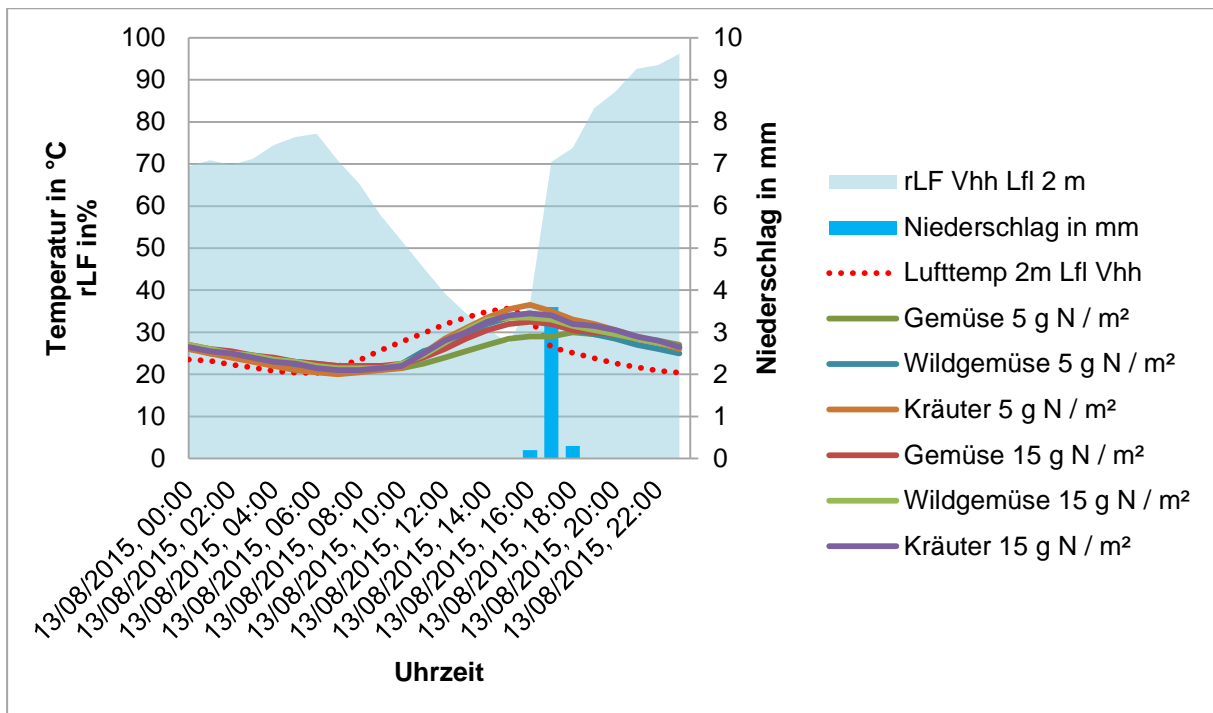


Abbildung 61: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 13.08.2015

Am 31.08.2015 war die Nachmittagstemperatur bei den Parzellen vorwiegend kühler, als bei der Wetterstation. Nur die Kräutermischung hatte im Substrat eine Temperatur von bis zu 37°C. Bei der Gemüsemischung mit 5 und 15 g N/m² wurde nachmittags mit 29°C die geringste Temperatur gemessen (Abbildung 62).

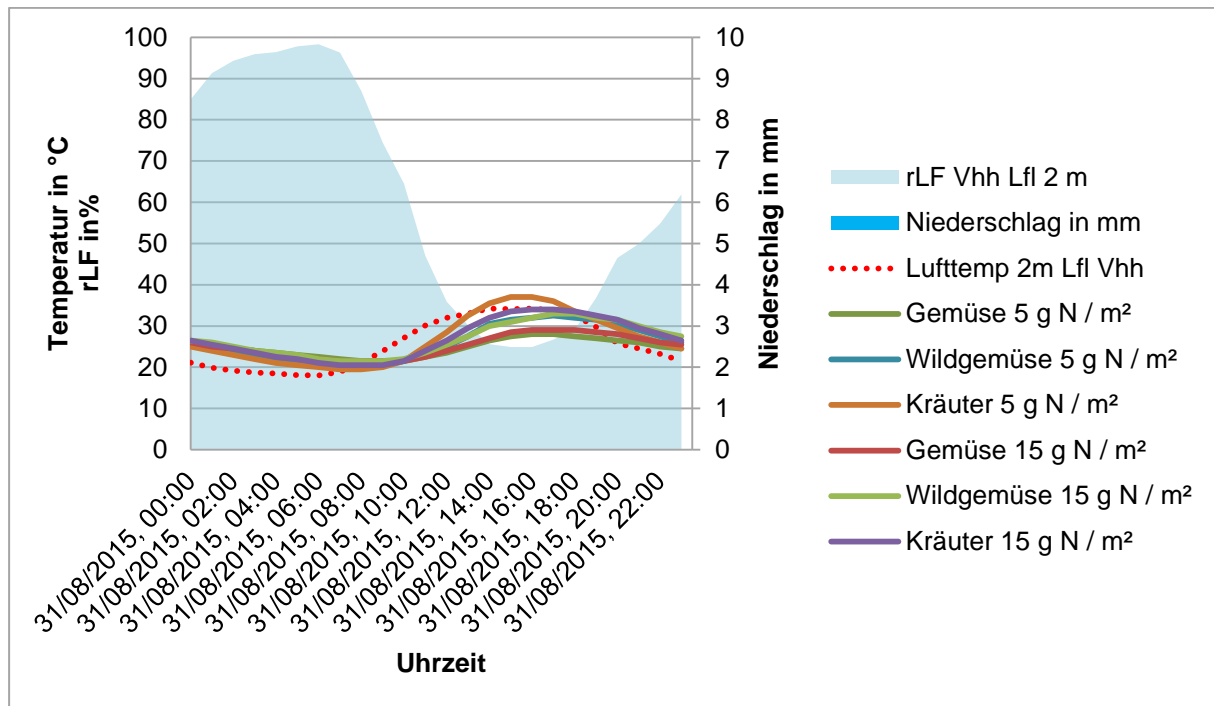


Abbildung 62: Temperatur-, Luftfeuchte- und Niederschlagsverlauf am Versuchsstandort und bei den Parzellen am 31.08.2015

3.5.4. Schlussfolgerung

Essbare Ansaatmischungen bieten eine interessante Alternative zur herkömmlichen extensiven Dachbegrünung. Bei der einmaligen Aussaat muss lediglich 1- bis 3-mal im Jahr gedüngt werden. Der Ertrag war aber nicht immer direkt von der Düngung abhängig. Im Sommer sind allerdings Bewässerungsgaben, vor allem in der Keimphase, notwendig.

Bei der Gemüsemischung konnten vor allem die Radieschen gut wachsen. Der Hirschhornwegerich ist für eine Gemüsemischung mit einjährigen Kulturen als Konkurrenzpflanze zu sehen, und sollte in wesentlich geringerer Dosierung (als hier 1 g/m²) ausgesät oder durch einjährige Kulturen ersetzt werden.

Die Wildgemüsemischung bot durchgehend einen guten Deckungsgrad und ist eine sehr trockenolerante Option. Vor allem der Amarant in der Mischung gibt auch optisch eine gute Erscheinung auf dem Dach.

Die Kräutermischung konnte sich nach der langen Keimdauer der Samen auch gut auf dem Dach entwickeln und ist für regelmäßige Erntegänge nach jeweiligem Kräuterbedarf sehr interessant. In der Zusammensetzung der Mischung können vor allem höhere Mengen an Tagetes geerntet werden.

Die von der FLL empfohlene Düngung von 5 g N/m² bei extensiven Dachbegrünungen kann auch auf dem Dach bei der Nutzung mit essbaren Mischungen ausreichen. Bei geringeren Düngemengen wurden teils sogar höhere Erträge gemessen. Für eine optimale Pflanzenentwicklung sollten aber die optimalen Kulturbedingungen näher erörtert werden. Um die Nährstoffe verfügbar zu machen, ist eine ausreichende Bewässerung auf dem Dach notwendig. Wenn die Kulturen bereits gut etabliert sind, kann die Bewässerung auch per Tropfschläuche erfolgen.

3.5.5. Weiterer Forschungsbedarf

Die Gemüsemischung muss in weiteren Untersuchungen ohne den Einsatz von Hirschhornwegerich beurteilt werden. Stattdessen könnten Salate oder Kräuter eingesetzt werden.

Die anderen Mischungen sollen im mehrjährigen Verlauf beurteilt werden. Vor allem bei regelmäßigen Düngegaben und Nachsaaten einjähriger Kulturen ist die Ertrags- und Qualitätsentwicklung der essbaren Pflanzen interessant.

Auch die wirtschaftliche Umsetzbarkeit einer essbaren Ansaatmischung auf einer größeren Dachfläche einer extensiven Dachbegrünung sollte untersucht werden.

3.6. Versuch zu essbaren Living Walls

3.6.1. Zielsetzung

Es sollen unterschiedliche Systeme zur wandgebundenen Begrünung von Fassaden auf ihre Eignung zur Nahrungsmittelproduktion untersucht werden. Neben einem System mit Substratbehältern, sollen ein System mit Vliestaschen und ein hydroponisches System untersucht werden. Dabei sollen verschiedenste Kulturen bezüglich ihrer Eignung untersucht werden. Die Pflanzenentwicklung soll erfasst und beurteilt werden.

3.6.2. Material und Methode

Zur Untersuchung verschiedener vertikaler Begrünungssysteme wurden Module des Herstellers Humko und Vertiko verwendet. Diese wurden im Gewächshaus der Abteilung Landespflege aufgehängt und mit einem Tropfschlauch (Tropferabstand 30 cm) ausgestattet (Bild 101). Neben einem Druckminderer wurde eine Düngerdosierung für die Bewässerungsstation installiert. Das System Humko bestand aus 2 Bauteilen zu je etwa 50 x 90 cm. Es besteht aus Kunststoff und wurde mit einem herkömmlichen Dachsubstrat für Extensivdächer (Optigrün extensiv Einschichtsubstrat Typ M-leicht, vgl. andere Versuche). Im hinteren Bereich des Systems befindet sich eine Steinwollmatte.

Das System Vertiko besteht aus einer mehrschichtigen Vliesstruktur. Das verwendete Modul war etwa 2 m x 1 m groß. Die einzelnen Taschen wurden aufgeschnitten und mit Pflanzen bestückt. Bei gesäten Kulturen wurde etwas Substrat (s.o.) in den Taschen ausgebracht.

Ein weiteres System wurde selbst von der LWG entwickelt. Dazu wurden herkömmliche etwa 10 cm dicke Rohre mit etwa 5 cm großen Löchern ausgestattet und horizontal übereinander aufgehängt. Die einzelnen Rohre wurden miteinander verbunden und der Auslauf eines jeden Rohres entsprechend angepasst. Dieses System wurde hydroponisch betrieben. In einem Behälter wurde Wasser mit Dünger gegeben und mit einer Pumpe in regelmäßigen Abständen dem System zugeführt (Bild 102). In die Rohre wurden dann 5cm-Gittertöpfe mit Jungpflanzen gesetzt. Das gesamte System war etwa 1 m x 1 m groß.

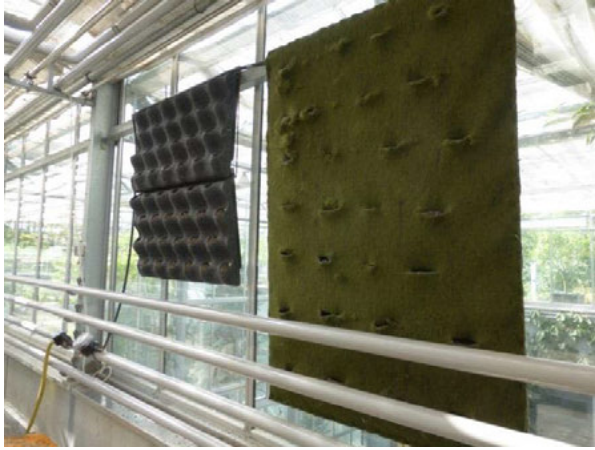


Bild 101: System Humko und Vertiko im September 2015



Bild 102: Hydroponisches System (Eigenbau) im November 2015 vor der Bepflanzung

Die Bewässerung der Systeme erfolgte unterschiedlich. Die Systeme Humko und Vertiko wurden über den gleichen Tropfschlauch bewässert. Über einen Computer wurde täglich morgens eine Bewässerung von etwa 60 min durchgeführt. Die Bewässerung des hydroponischen Systems erfolgte durch den Betrieb der Pumpe im Kreislauf. Diese wurde in vier gleichmäßig auf den Tag verteilten Intervallen von jeweils 15 Minuten betrieben. Das Ablaufwasser wurde nur bei dem hydroponischen System aufgefangen und wiederverwendet. Die Systeme Humko und Vertiko wurden mit einem offenen Ablauf betrieben (Bild 103).



Bild 103: Die drei untersuchten Living-Walls-Systeme mit Gemüsepflanzen im Vergleich

Bei allen Systemen wurden ähnliche Gemüsekulturen eingesetzt. Das System Humko hatte die meisten Pflanzparzellen und erhielt somit die meisten Gemüsearten. Bei allen Systemen wurden Erdbeeren, Buschbohnen, Rucola, Radieschen und Schnittsalat platziert (Tabelle 17; Tabelle 18; Tabelle 19). Im hydroponischen System wurden die meisten Pflanzen als Jungpflanzen eingesetzt. Zusätzlich wurden freie Stellen für Messungen des Wassers in den Röhren belassen.

Tabelle 17: Kulturen an den verschiedenen Positionen bei dem System Hydroponic

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5	Position 6
Erste/oberste Röhre	Erdbeere	Schnittsalat	Rucola	Buschbohne	Messpunkt 1	Radieschen
Zweite Röhre	Rucola	Radieschen	Buschbohne	Schnittsalat	Erdbeere	Messpunkt 2
Dritte/mittlere Röhre	Messpunkt 3	Buschbohne	Radieschen	Erdbeere	Rucola	Schnittsalat
Vierte Röhre	Schnittsalat	Rucola	Erdbeere	Radieschen	Buschbohne	Messpunkt 4
Fünfte/unterste Röhre	Rucola	Erdbeere	Radieschen	Buschbohne	Schnittsalat	Messpunkt 5

Tabelle 18: Kulturen an verschiedenen Positionen bei dem System Humko

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5	Position 6
Reihe 1 Modul 1	Feldsalat	Namenia	Rucola	Winterzwiebel	Blumenkohl	Schnittsalat grün
Reihe 2 Modul 1	Winterrettich	Buschbohne	Radieschen	Spinat	Rucola	Erdbeere
Reihe 3 Modul 1	Radieschen	Broccoli	Schnittsalat rot	Feldsalat	Broccoli	Winterrettich
Reihe 4 Modul 1	Schnittsalat grün	Winterzwiebel	Blumenkohl	Buschbohne	Erdbeere	Spinat
Reihe 5 Modul 2	Namenia	Spinat	Winterrettich	Schnittsalat grün	Winterzwiebel	Broccoli
Reihe 6 Modul 2	Schnittsalat rot	Feldsalat	Buschbohne		Blumenkohl	Feldsalat
Reihe 7 Modul 2	Radieschen	Rucola	Radieschen	Broccoli	Winterrettich	Rucola
Reihe 8 Modul 2	Erdbeere	Blumenkohl	Schnittsalat rot	Winterzwiebel	Spinat	Buschbohne/ Namenia

Tabelle 19: Kulturen an verschiedenen Positionen bei dem System Vertiko

	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
Reihe 1	Feldsalat	Winterzwiebel	Rucola	Winterrettich
Reihe 2	Rucola	Winterrettich	Broccoli	Radieschen
Reihe 3	Blumenkohl	Rucola	Buschbohne	Feldsalat
Reihe 4	Radieschen	Broccoli	Winterzwiebel	Winterrettich
Reihe 5	Buschbohne	Erdbeere	Blumenkohl	Erdbeere/Spinat
Reihe 6	Blumenkohl	Feldsalat	Broccoli	Radieschen
Reihe 7	Erdbeere	Buschbohne	Winterzwiebel	Broccoli

Im Versuchsverlauf wurden beim hydroponischen System regelmäßig verschiedene Dünger hinzugegeben. Alle drei Systeme erhielten meist einen mineralischen und gut löslichen Mehrnährstoffdünger (Ferty 2) über das Bewässerungssystem (Tabelle 20).

Tabelle 20: Versuchsverlauf essbare Living Walls

Datum	System	Aktion	Düngung	Bewässerung
19.10.2015	Humko/Vertiko	Aussaat/Pflanzung		
22.10.2015	Humko/Vertiko	erste Samen gekeimt		
26.10.2015	Humko/Vertiko	Düngung 10 g Ferty 2 (25-5-15) aufgelöst mit Wasser		
		Anlage Hydroponic-Versuch: 30 g Ferty 2 (MND) auf ca. 25 Liter Leitungswasser, zzgl. ca. 10 Liter Regenwasser in Rinnen		
02.11.2015		Aussaat Rucola, Pflanzung Erdbeere, Buschbohne, Radieschen, Schnittsalat		
Ab 02.11.2015	Hydro			Pumpe 5x15 min /Tag
04.11.2015	Hydro		35 g Ferty 2 in Wanne aufgelöst	5 min Pumpe
05.11.2015	Hydro		35 g Ferty 2 in Wanne aufgelöst	
06.11.2015	Hydro		20 g ASS (schwerer löslich)	
09.11.2015	Hydro		20 g ASS+ 1 l H ₂ O (35 mS und pH=6,9)	
11.11.2015	Humko/Vertiko+		Düngung 20 g Ferty 2 aufgelöst in Wasser	
14.12.2015	alle	Abschluss		

An einzelnen Terminen wurde auch die elektrische Leitfähigkeit (EC) und der Säuregrad (pH) des Gieß- und Ablaufwassers (Drain) der Systeme bzw. im Kreislauf des Hydroponic-Systems erfasst.

3.6.3. Ergebnisse

Bei allen Systemen gab es im Gewächshaus einzelne Pflanzenausfälle und ein vermindertes Wachstum. Im System Vertiko konnten sich nur wenige Pflanzen entwickeln (Bild 104). Im besser gepufferten System Humko konnten auch die Salate und Buschbohnen etwas besser wachsen (Bild 105). Bei allen Systemen sind die Buschbohnen gut gekeimt und zeigten ein positives, aber sehr längliches Wachstum (Bild 106). Auch beim hydroponischen System sind einzelne Pflanzen eingegangen (Bild 107).



Bild 104: System Vertiko 26.11.2015



Bild 105: System Humko 26.11.2015



Bild 106: Beurzelte Buschbohnen im Gittertopf aus dem hydroponischen System am 26.11.2015



Bild 107: Schwache Erdbeerpflanze im hydroponischen System am 26.11.2015

Da die Düngung im hydroponischen System ausschließlich über das Wassermedium erfolgt, wurden regelmäßig Nährstoffe in den Kreislauf gegeben. Der Anfangs sehr niedrige Wert der elektrischen Leitfähigkeit von etwa 1,25 mS/cm wurde Stufenweise bis auf einen EC von 4 mS/cm erhöht (Abbildung 63). Dieser ist allerdings für die meisten Pflanzen viel zu hoch, so dass das Wasser verschnitten werden muss.

Auch der pH-Wert im hydroponischen System war mit einem Wert von bis zu 8,0 zu hoch (Abbildung 64). Das Optimum liegt normal zwischen 5,5 und 6,5.

Aufgrund der offenen Systemführung bei den Varianten Humko und Vertiko waren dort die Gehalte der elektrischen Leitfähigkeit im Gieß- und Drainwasser sehr gering. Dennoch konnten sich die Pflanzen beim System Humko aufgrund des Puffervermögens des Substrats länger erhalten.

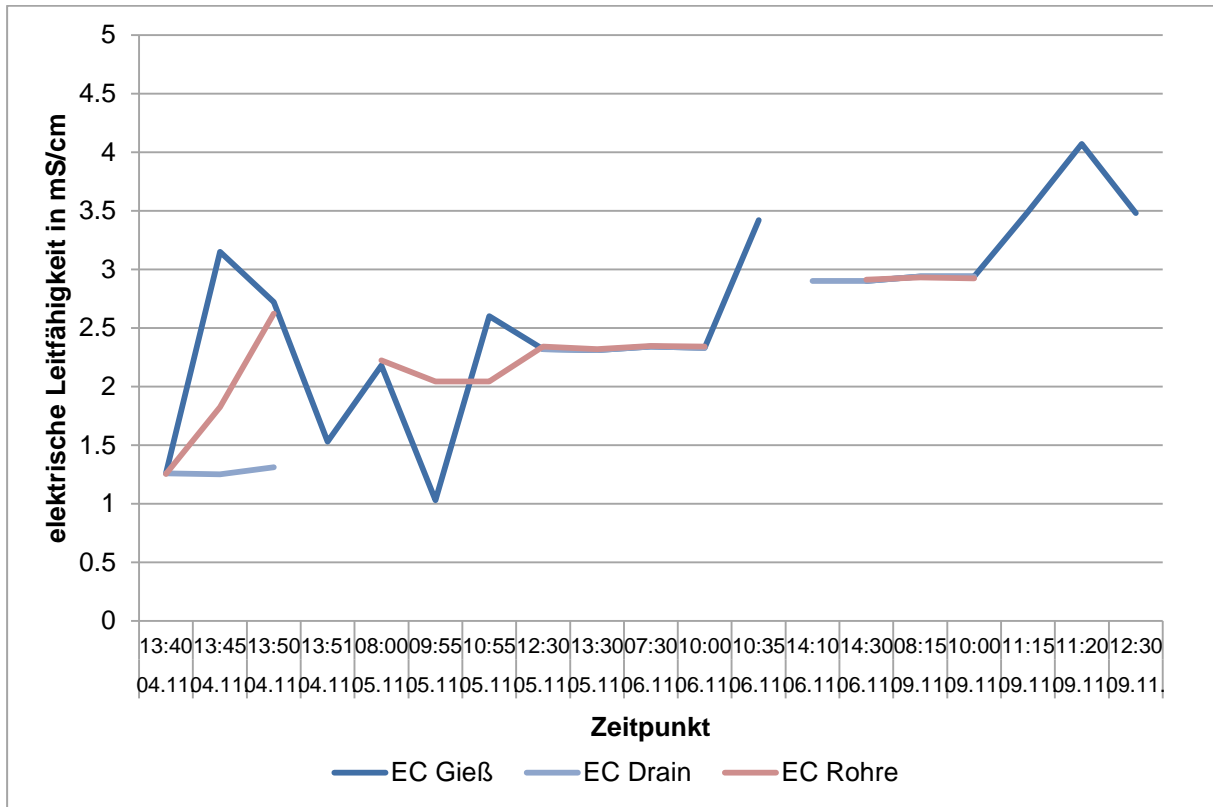


Abbildung 63: Entwicklung der EC-Werte im hydroponischen System

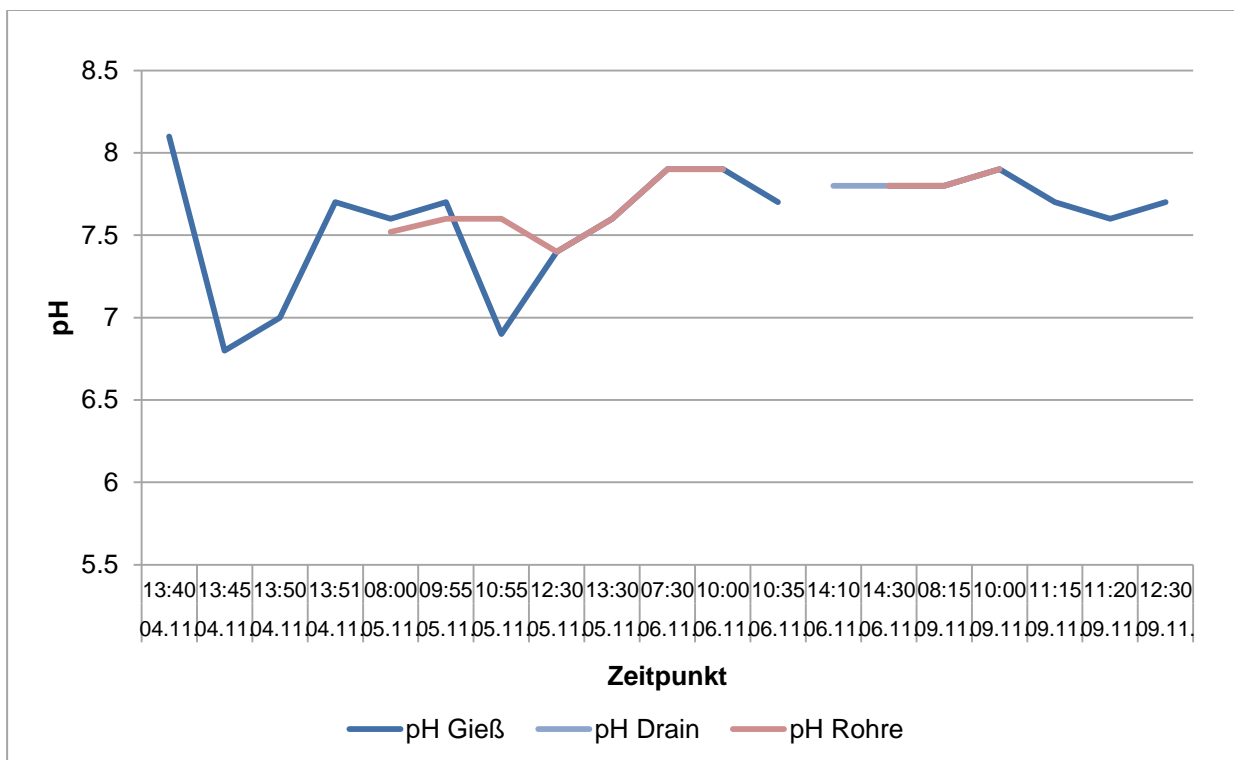


Abbildung 64: Entwicklung der pH-Werte im hydroponischen System

Der Wasserstand im hydroponischen System war so gewählt, dass die Pflanzen stets Zugang zum Wasser haben. Allerdings war damit das verwendete Substrat häufig sehr feucht. Auch bei dem System Vertiko stellte sich die Wasserversorgung als unzureichend dar.

3.6.4. Schlussfolgerung

Im gepufferten System können sich bei einer unzureichenden Wasser- und Nährstoffversorgung die Pflanzen am besten entwickeln. Um jedoch eine optimale Pflanzenentwicklung zu ermöglichen, muss die Bewässerung und Düngung an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden.

Vor allem bei der Nutzung im geschlossenen Kreislauf und in einem ungepufferten hydroponischen System muss das zugeführte Wasser im pH und EC optimiert werden. Eine Über- oder Unterversorgung von Nährstoffen vermindert das Wachstum oder lässt die Pflanzen eingehen.

Da der Versuch im Gewächshaus im Winter stattfand, waren keine optimalen Licht- und Kulturbedingungen für die Pflanzen gegeben. Auch Schädlinge können bei diesen Bedingungen häufiger vorkommen. Um die verwendeten System besser vergleichen zu können, sollten diese auch an ihrem eigentlichen Standort im Freiland untersucht werden.

3.6.5. Weiterer Forschungsbedarf

Die Pflanzenentwicklung soll durch eine bessere Dünger- und Nährstoffversorgung bei den Systemen sichergestellt werden. Die Systeme Humko und Vertiko würden auch im geschlossenen Kreislauf besser kontrollierbar sein. Vor allem der Einsatz von Sensoren könnte für die Bewässerung bei Substratgeführten LivingWalls hilfreich sein. Neben der optimalen Nährstoff- und Wasserversorgung muss auch der pH und die elektrische Leitfähigkeit des Gießwassers und auch des Mediums (Substrat) beobachtet werden.

Die Systeme sollen im größeren Maßstab auch im Freiland untersucht werden, damit entsprechende Beurteilungen zur Nutzbarkeit von wandgebundenen Fassadenbegrünung für den Anbau von Nahrungspflanzen erfolgen kann.

4. Ausblick: Offene Fragestellungen

4.1. Vergleich von essbaren Living Walls

Wie kann die optimale Nutzung von Living Walls zur Nahrungsmittelproduktion gestaltet werden?

Welche essbaren Pflanzen eignen sich für solche Systeme?

Welche Chancen und Risiken ergeben sich bei dem „Urban Gardening“ an wandgebundenen Fassadenbegrünungen?

4.2. Kulturführung im rezirkulierenden System

Wie funktioniert ein halboffenes Kreislaufsystem auf dem Dach und der Fassade?

Welche Düngformen können verwendet werden?

Wie kann eine optimale Bewässerung von Nahrungspflanzen auf dünn-schichtigen Dachbegrünungen erfolgen?

Welche Kosten entstehen bei spezifischen Größen von Dachflächen für die Nutzung der Gemüseproduktion im geschlossenen Kreislauf?

4.3. Substrateigenschaften und Veränderung des Substrats

Welchen Einfluss hat die Substratzusammensetzung auf die Nährstoff- und Wasser-
verfügbarkeit auf dem Dach? Wie kann diese verbessert werden?

Wie verändert sich das Dachsubstrat bei regelmäßigen Pflanzungen und Ausbrin-
gung von Erdpresstöpfen und Ernteresten im Vergleich zu gesäten Kulturen?

Wie verändert sich das Substrat bei Belassen von Ernteresten?

Soll die mineralische Struktur erhalten oder eine dünne organische Schicht genutzt
werden? Was ist besser für das Gebäude und die Pflanzen?

4.4. „Urban Gardening“ an verschiedenen Standorten

Welche Schadstoffe treten bei der Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen im Siedlungsbereich auf?

Welches Gemüse nimmt welche Mengen an Luftschadstoffen in einer bestimmten Höhe auf?

Welche weiteren Kontaminationen können die innere Gemüsequalität beeinträchtigen?

4.5. Klimawirkung durch essbare Bauwerksbegrünung

Welche klimamäßigende Wirkung haben essbare Dach- und Fassadenbegrünungen auf die Umgebung und das Gebäude?

Ermöglichen dünn-schichtige Dachbegrünungen mit Gemüsepflanzen bei höheren Bewässerungsgaben eine bessere Kühlung als herkömmliche Extensivbegrünungen?

Wie ist der CO₂-Fußabdruck von Gemüse auf Dächern und Fassaden im Verhältnis von herkömmlich produzierten Nahrungsmitteln?

5. Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit

5.1. Vorträge

- Demling, F: Gemüse als extensive Dachbegrünung, Frühjahrstagung der Gesellschaft für Kunststoffe im Landbau, LWG Veitshöchheim, 05.05.2014.
- Demling, F: Gemüse auf dem Dach, Seminar „Urban Gardening“ der Gartenakademie Bayern, LWG Veitshöchheim, 27.06.2014.
- Demling, F: „Rooftop Farming“, Symposium „Urbaner Gartenbau – Die Produktion kehrt in die Stadt zurück“; BMEL Berlin, 09.12.2014.
- Demling, F: Alles Gute kommt von oben – Gemüse vom Extensivdach, Landespflegeetage, Veitshöchheim 2015.
- Demling, F: Gemüse auf dem Extensivdach, DGG-Jahrestagung „Urbaner Gartenbau“, Freising, 27.02.2015.
- Demling, F: Urban Gardening: Gemüse vom Dach, Gartenbauberatertagung des MLR Baden-Württemberg, 04.03.2015.
- Demling, F: Gemüse auf dem Dach- Einfach, alternativ, lecker!, Tag der offenen Tür, LWG Veitshöchheim, 05.07.2015
- Demling, F: Gemüse auf Dächern, Arbeitsbesprechung der niederbayerischen Kreisfachberatung für Gartenkultur und Landespflege, Parkstetten-Reibersdorf, 03.12.2015.
- Demling, F: Rooftop farming-Gemüseanbau auf dem Dach, Vortragsreihe Kosten sparen-Klima schützen, Gemeinde Veitshöchheim, 17.02.2016.
- Demling, F: Urban Gardening auf Extensiver Dachbegrünung , 5. FLL-Forschungsforum Landschaft, Bundesamt für Naturschutz BfN, Bonn, 04.03.2016.

5.2. Fachpublikationen

- Demling, F., Eppel, J., 2014: Gemüse auf dem Dach, Merkblatt, LWG.
- Demling, F., 2014: Wie kommt Gemüse auf's Dach? , Poster zur Ausstellung auf der Landesgartenschau in Deggendorf.
- Demling, F., 2014: Wieso Gemüse vom Dach?, Poster zur Ausstellung auf der Landesgartenschau in Deggendorf.
- Demling, F., 2014: Versuch „Urban Gardening“ mit extensiven Dachbegrünungen, LWG, Jahresbericht Abteilung Landespflege.
- Demling, F., 2015: Alles Gute kommt von oben – Gemüse vom Extensivdach, Tagungsband Landespflegeetage.
- Demling, F., 2015: Gemüse auf dem Extensivdach, Tagungsband zur DGG-Jahrestagung in der BHGL-Schriftenreihe.
- Demling, F., 2015: Edible light weighted green roofs, Tagungsband der European Green Infrastructure Conference.
- Demling, F., 2015: Retrofitting large sized industrial lightweight roofs into urban farming production sites, Poster, European Green Infrastructure Conference, Wien.
- Demling, F.; 2014: Gemüse als extensive Dachbegrünung Internetpräsenz, URL: <http://www.lwg.bayern.de/landespflege/bauwerksbegruenung/47304/>

Demling, F., 2015: Forschungsprojekt „Urban Gardening: Gemüse vom Dach“, Internetpräsent, URL: http://www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085340/index.php

Eppel, J., 2015: Wie wird das Dach überhaupt grün? , Poster zur Ausstellung am Tag der offenen Tür der LWG Veitshöchheim.

Kenzia, N., 2015: Wie wird das Gemüse bewässert? , Poster zur Ausstellung am Tag der offenen Tür der LWG Veitshöchheim.

5.3. Ausstellungen

Ausstellungsbeitrag „Urban Gardening“ und Gemüse vom Dach auf der Landesgartenschau in Degendorf (04.-09.06.2014)

Ausstellungsbeitrag am Tag der offenen Tür 2015 der LWG Veitshöchheim (19.07.2015)

Ausstellungsbeitrag beim Tag der offenen Tür 2015 der LWG in Bamberg

Ausstellungsbeitrag der Abteilung Landespflege, LWG zur GaLaBau-Messe, Nürnberg, 2014

5.4. Presse, Rundfunk, Fernsehen

Maser-Plag, M., 2015: Ganzjährige Ernte vom Gemüse-Dach – mehr als Schnittlauch und Salat, Pressemitteilung.

Bayerischer Rundfunk, 2014: Urban Gardening- Gemüse auf dem Dach, Fernsehbeitrag, Sendung „Frankenschau aktuell“, Bayerisches Fernsehen am 29.07.2014.

Bayerischer Rundfunk, 2014: Dachgemüse – Gemüseanbau auf dem Dach, Fernsehbeitrag, Sendung „Unser Land“, Bayerisches Fernsehen am 01.08.2014.

Bayerischer Rundfunk, 2015: Gemüse vom Dach, Radiobeitrag im Bayerischen Rundfunk am 12.05.2015.

Bayerischer Rundfunk, 2015: Rooftop Farming, Radiobeitrag im „Notizbuch“ bei Bayern 2 am 21.05.2015

Antenne Bayern, 2016 Gemüse vom Dach, Radiobeitrag am 08. und 10. Januar 2016

6. Literatur

- [1] Optigrün, Bildquellen, URL: <http://www.optigruen.de/referenzen/>.
- [2] Weitere Sachverhaltsermittlung bei Überschreitung von Prüfwerten nach der BBodSchV für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze, LANUV-Arbeitsblatt 22, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2014.
- [3] Bundesbodenschutzgesetz, Anhang 2, URL: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/anhang_2.html
- [4] Luftbilddaufnahmen der Google-Maps, URL: maps.google.de.
- [5] Wetterstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft am Standort Veitshöchheim, URL: <http://www.lfl-design3.bayern.de/agm/lflinclude.php?url=/agm/auswahl.php?statnr=96>.
- [6] H. D. Hartmann, E. Pfülb, K. H. Zengerle: Wasserverbrauch und Bewässerung von Gemüse, Geisenheimer Berichte, Band 44, 2000.
- [7] Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: Anbau von Gewächshausgemüse – Hinweise zum umweltgerechten Anbau, Dresden, 2004, S. 119.
- [8] Leinfelder, J. und Röber, R., 1998: Geschlossene Systeme zur Bewässerung und Düngung bei Schnittblumen. In: Molitor, H. D. und Jennerich, L. (Hrsg.): Geschlossene Bewässerungsverfahren. 2. Auflage, B. Thalacker Verlag, Braunschweig.)
- [9] Ertragslage Garten- und Weinbau 2015 Datenanalysen, Statistisches Bundesamt, BMEL, URL: http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/user_upload/monatsberichte/GBB-2000000-2015.pdf
- [10] Internetseite zur Mischkultur bei Stadtgemüse, URL: <http://www.stadt-gemuese.de/die-mischkultur-ein-anbauprinzip-f%C3%BCr-gem%C3%BCse-nach-dem-vorbild-der-natur>.
- [11] Internetseite zur Mischkultur im Kleingarten, URL: <http://www.kleingaertnerin.de/mischkultur.html>.

7. Zusammenarbeit

Rijk Zwaan Welter GmbH, Werler Straße 1, D-59514, Welter: Bereitstellung von Saatgut für den Vergleich von Kopfsalaten auf dem Dach.

Technische Universität Berlin, Praktikantin Carina Nemetschke, Masterstudentin Technischer Umweltschutz: Unterstützung beim Vergleich von Dachsubstraten und deren Eigenschaften.

Vertiko GmbH, Ringstraße 22, D-79199 Kirchzarten: Bereitstellung eines Living Wall-Moduls für Versuche.

Wolf-Gartenbau, Am Opelprüffeld 1, D-63110 Rodgau: Bereitstellung eines Living-Wall-Moduls (Hersteller Humko) für Versuche.

8. Anhang

Anhang 1: Substratkisten mit Feldsalat und Winterrettich im Vorversuch



Extensiv-Einschichtsubstrat Typ M-leicht (Optigrün) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Vulkamineral 0/12 (Vulkatec) mit Feldsalat und Winterrettich



Sedumteppich (Zinco) mit Feldsalat und Winterrettich



Merschichtsubstrat Typ E-leicht (Optigrün) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Vulkaplus extensiv 0/12 (Vulkamineral) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Steinrosenflor (Zinco) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Lavendelheide (Zinco) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Dachgarten (Zinco) mit Feldsalat und Winterrettich



Substrat Dachgarten extensiv (Patzer) mit Feldsalat und Winterrettich

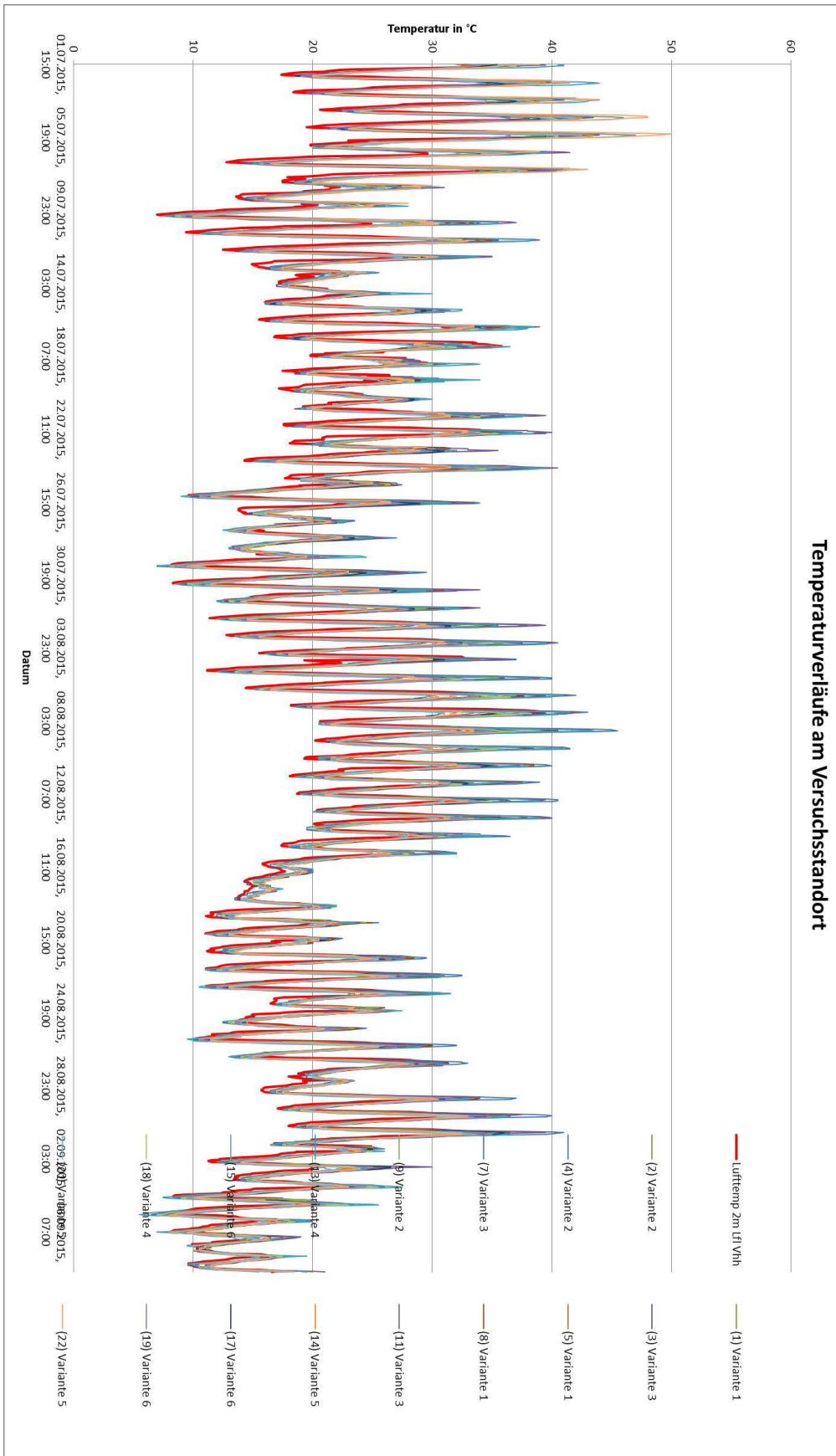
Anhang 2: Alle Gemüsekulturen im Dachmodellversuch nach Varianten mit Angaben zur Anlage

Var.	Fam.	Kultur	Zeit	Jahr	Anzucht	Abstand In der Reihe	Abstand zwischen Reihen	Anzahl /Reihe
1	2	Endivie	Herbst	2014	gepflanzt	40	30	6
1	1	Grünkohl	Herbst	2014	gepflanzt	40	30	6
1	5	Rote Bete	Sommer	2014	gepflanzt	10	30	25
1	8	Zwiebel	Sommer	2014	gepflanzt	12	30	20
1	3	Paprika	Sommer	2015	gepflanzt	50	30	5
1	2	Radicchio, Zicchorie, Feldsalat	Herbst	2015	gepflanzt	-	30	-
1	1	Radieschen, Rettich	Herbst	2015	gesät	-	30	-
1	2	Romana	Sommer	2015	gepflanzt	30	30	7
1	1	Winterrettich	Herbst	2015	gesät	10	30	25
2	9	Basilikum	Sommer	2014	gepflanzt	15	30	17
2	4	Dill	Sommer	2014	gepflanzt	10	30	25
2	9	Majoran	Herbst	2014	gepflanzt	50	30	4
2	4	Petersilie	Ab Sommer	2014	gepflanzt	10	30	25
2	8	Schnittlauch	Ab Sommer	2014	gepflanzt	10	30	25
2	4	Fenchel	Herbst	2015	gesät	20	30	12
2	1	Radieschen	Sommer	2015	Saatband	2	15	125
2	2	Romana	Sommer	2015	gepflanzt	30	30	7
2	1	Rucola	Sommer	2015	gesät	-	30	-
2	2	Salanova, Eichblatt	Sommer	2015	gepflanzt	20	30	12
2	8	Winterheckzwiebel	Herbst	2015	gesät	15	30	15
3	6	Bohnen	Sommer	2014	gesät	25	30	9
3	9	Bohnenkraut	Sommer	2014	gepflanzt	15	30	15
3	4	Radies	Frühjahr	2014	Saatband	2	15	125
3	5	Spinat	Frühjahr	2014	Saatband	2	15	125
3	1	Winterrettich	Herbst	2014	gesät	10	15	25
3	3	Paprika	Sommer	2015	gepflanzt	50	30	5
3	2	Radicchio, Zicchorie, Feldsalat	Herbst	2015	gesät	-	30	-
3	1	Radieschen, Rettich	Herbst	2015	gesät	-	30	-
3	2	Romana	Sommer	2015	gepflanzt	30	30	7
3	1	Winterrettich	Herbst	2015	gesät	10	30	25
4	2	Feldsalat	Herbst	2014	gesät	2	30	125
4	2	Kopfsalat	Frühjahr	2014	gepflanzt	30	30	8
4	3	Paprika	Sommer	2014	gepflanzt	50	30	5
4	1	Rucola	Frühjahr	2015	gesät	-	30	-
4	3	Tomate, Andenbeere	Sommer	2015	gepflanzt	50	50	3,5
5	1	Brokkoli	Sommer	2014	gepflanzt	40	30	6
5	10	Erdbeere	Ab Sommer	2014	gepflanzt	40	50	6
5	2	Schnittsalat	Frühjahr	2014	gepflanzt	15	30	15
6	1	Kohlrabi	Frühjahr	2014	gepflanzt	25	30	9
6	7	Zucchini	Sommer	2014	gepflanzt	75	50	2,5
6	2	Kopfsalat	Sommer	2015	gepflanzt	30	30	8
6	1	Radieschen	Herbst	2015	gesät	-	30	-
6	5	Spinat	Herbst	2015	gesät	-	30	-
6	8	Winterheckzwiebel	Frühjahr	2015	gesät	15	30	15

Anhang 3: Termine des Dachmodellversuchs zur Düngung, Kultur und Ernte

Var.	Kultur	Beginn	Düngung Beginn	Ernte Beginn	Ernte Ende
1	Endivie	13.08.2014	14.08.2014	05.11.2014	19.11.2014
1	Grünkohl	13.08.2014	14.08.2014	11.12.2014	13.02.2015
1	Rote Bete	25.04.2014	24.04.2014	07.08.2014	-einmal
1	Zwiebel	25.04.2014	24.04.2014	12.08.2014	-einmal
2	Basilikum	20.05.2014	20.05.2014	18.06.2014	07.08.2014
2	Dill	25.04.2014	24.04.2014	12.06.2014	-einmal
2	Majoran	13.08.2014	-	-	-
2	Petersilie	25.04.2014	24.04.2014	07.08.2014	-einmal
2	Schnitt-lauch	25.04.2014	24.04.2014	18.06.2014	07.08.2014
3	Bohnen	20.05.2014	30.05.2014	18.07.2014	23.07.2014
3	Bohnenkraut	20.05.2014	20.05.2014	18.07.2014	23.07.2014
3	Radies	02.04.2014	27.03.2014	08.05.2014	12.05.2014
3	Spinat	02.04.2014	27.03.2014	20.05.2014	-einmal
3	Winter-rettich	13.08.2014	29.09.2014	11.12.2014	-einmal
4	Feldsalat	10.10.2014	-	-	-
4	Kopfsalat	27.03.2014	27.03.2014	08.05.2014	20.05.2014
4	Paprika	27.05.2014	27.05.2014	16.07.2014	weitere
5	Brokkoli	27.05.2014	27.05.2014	21.07.2014	07.08.2014
5	Erdbeere	13.08.2014	18.03.2015	21.05.2015	02.10.2015
5	Schnittsalat	27.03.2014	27.03.2014	23.04.2014	12.05.2014
6	Kohlrabi	27.03.2014	27.03.2014	12.05.2014	20.05.2014
6	Zucchini	27.05.2014	21.05.2014	17.06.2014	19.08.2014
1	Paprika	16.06.2015	19.06.2015	24.07.2015	19.10.2015
1	Radicchio, Zicchorie, Feldsalat	30.10.2015	11.09.2015	fehlt	
1	Radieschen, Rettich	30.10.2015	11.09.2015	18.09.2015	25.09.2015
1	Romana	16.06.2015	19.06.2015	24.07.2015	18.08.2015
1	Winterrettich	30.10.2015	11.09.2015	fehlt	fehlt
2	Fenchel	30.10.2015	11.09.2015	fehlt	
2	Radies-chen	09.03.2015	21.04.2015	22.05.2014	einmal
2	Romana	16.06.2015	19.06.2015	24.07.2015	18.08.2015
2	Rucola	18.03.2015	-	-	-
2	Salanova, Eichblatt	16.06.2015	19.06.2015	11.08.2015	einmal
2	Winterheck-zwiebel	30.10.2015	11.09.2015	-	-
3	Paprika	16.06.2015	19.06.2015	24.07.2015	19.10.2015
3	Radicchio, Zicchorie, Feldsalat	30.10.2015	11.09.2015	fehlt	
3	Radieschen, Rettich	30.10.2015	11.09.2015	18.09.2015	25.09.2015
3	Romana	16.06.2015	19.06.2015	24.07.2015	18.08.2015
3	Winterrettich	30.10.2015	11.09.2015	fehlt	
4	Rucola	09.03.2015	-	-	-
4	Tomate	03.06.2015	03.06.2015	24.07.2015	19.10.2015
4	Andenbeere	01.07.2015	24.07.2015	-	19.10.2015
6	Kopfsalat	01.07.2015	09.07.2015	11.09.2015	29.09.2015
6	Radieschen	30.10.2015	-	18.09.2015	25.09.2015
6	Spinat	30.10.2015	-	fehlt	
6	Winterheck-zwiebel	24.04.2015	-	-	-

Anhang 4: Temperaturverlauf aller Sensoren auf den Dachmodellen im Vergleich zur Klimastation am Standort Veits-
höchheim (hellrot)



Anhang 5: Düngungsverlauf auf dem Versuchsdach

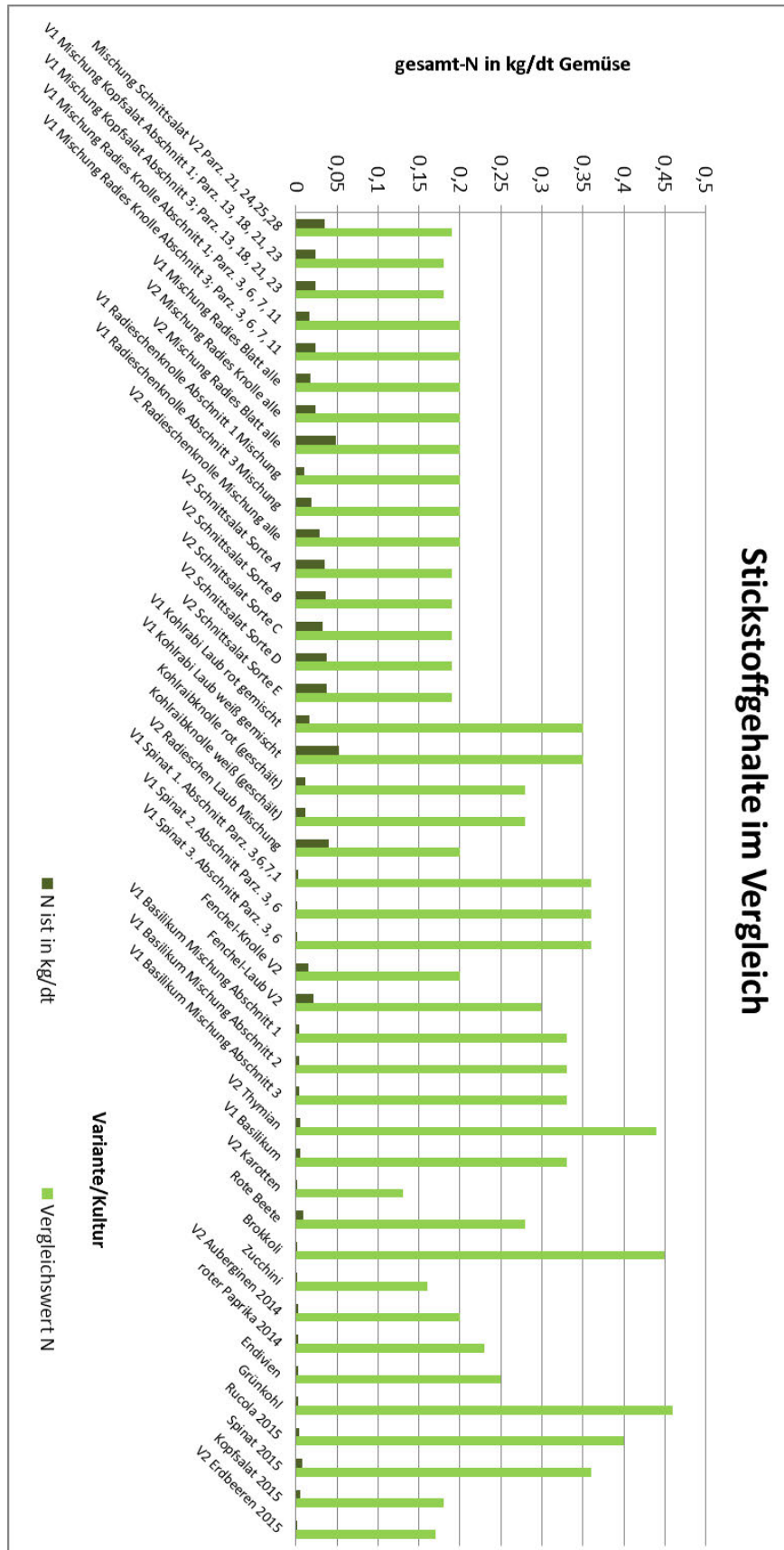
Datum	Dünger	Variante	Kultur	Düngemenge in g/Reihe (2,90 lfdm, entspricht ca 1 m ²)
27.03.2014	ENTEC 26	Var. 3	Radieschen	8
27.03.2014	ENTEC 26	Var. 3	Spinat	16
27.03.2014	ENTEC 26	Var. 4	Kopfsalat	28
27.03.2014	ENTEC 26	Var. 5	Babyleaf-Salat	16
27.03.2014	ENTEC 26	Var. 6	Kohlrabi	38
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 3	Radieschen	5
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 3	Spinat	10
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 4	Kopfsalat	15
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 5	Babyleaf-Salat	15
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 6	Kohlrabi	25
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 2	Dill	20
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch, Petersilie	35
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 1	Rote Bete	40
24.04.2014	ENTEC 26	Var. 1	Zwiebeln	20
20.05.2014	ENTEC 26	Var. 2	Basilikum	10
20.05.2014	ENTEC 26	Var. 3	Bohnenkraut	10
21.05.2014	ENTEC 26	Var. 6	Zucchini	35
27.05.2014	ENTEC 26	Var. 4	Paprika	20
27.05.2014	ENTEC 26	Var. 5	Broccoli	35
30.05.2014	ENTEC 26	Var. 3	Buschbohnen	10
30.05.2014	ENTEC 26	Var. 1	Rote Bete	5
18.06.2014	Vinasse	Var. 6	Zucchini	100 ml/Parzelle
18.06.2014	Vinasse	Var. 4	Paprika	100 ml/Parzelle
18.06.2014	Vinasse	Var. 5	Broccoli	100 ml/Parzelle
24.06.2014	ENTEC 26	Var. 3	Buschbohnen	10
03.07.2014	Vinasse	Var. 6	Zucchini	100 ml/Parzelle
14.08.2014	ENTEC 26	Var. 1	Grünkohl	10
14.08.2014	ENTEC 26	Var. 1	Endivie	10
29.09.2014	ENTEC 26	Var. 1	Grünkohl	10
29.09.2014	ENTEC 26	Var. 1	Endivie	10
29.09.2014	ENTEC 26	Var. 3	Winterrettich	5
18.03.2015	TripleSuperPhosphat	Var. 4	Feldsalat	1
18.03.2015	TripleSuperPhosphat	Var. 2	Schnittlauch	5
18.03.2015	ENTEC 26	Var. 5	Erdbeere	5
18.03.2015	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch	10
21.04.2015	TripleSuperPhosphat	Var. 2	Radieschen	2,5
21.04.2015	ENTEC 26	Var. 2	Radieschen	17
04.05.2015	ENTEC 26	Var. 2	Radieschen	10

Datum	Dünger	Variante	Kultur	Düngemenge in g/Reihe (2,90 lfdm, entspricht ca 1 m ²)
03.06.2015	ENTEC 26	Var. 4	Buschtomaten	10
19.06.2015	Gärtners Rasenfreude	Var. 1	2xRomana-Salat, 2xPaprika	27,8
19.06.2015	Gärtners Rasenfreude	Var. 2	2xRomana-Salat, Schnittlauch, Batavia-Salate	27,8
19.06.2015	Gärtners Rasenfreude	Var. 3	2xRomana-Salat, 2xPaprika	27,8
07.07.2015	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch	10
09.07.2015	ENTEC 26	Var. 6	Kopfsalat	2,5
16.07.2015	ENTEC 26	Var. 1	Paprika 2x, Romana 2x	15
16.07.2015	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch, Batavia/Eichblatt-Salate, Romana-Salate	30
16.07.2015	ENTEC 26	Var. 3	Paprika 2x, Romana 2x	30
22.07.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Romana 2x	7,5
24.07.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Romana 2x	7,5
24.07.2015	ASS	Var. 4	2xBuschtomaten, 1xAndenbeere	7,5
24.07.2015	ASS	Var. 6	Kopfsalat	7,5
18.08.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x	7,5
18.08.2015	ENTEC 26	Var. 2	1 Reihe Schnittlauch	4
18.08.2015	ENTEC 26	Var. 3	Paprika 2x	30
18.08.2015	ASS	Var. 4	Tomate 2x, 1x Andenbeere	10
18.08.2015	ASS	Var. 6	Kopfsalat 4 Reihen	7,5
20.08.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
27.08.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
27.08.2015	ASS	Var. 4	Tomate 2x, 1x Andenbeere	7,5
27.08.2015	ASS	Var. 6	Kopfsalat 4 Reihen	7,5
03.09.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
03.09.2015	ASS	Var. 4	Tomate 2x, 1x Andenbeere	7,5
03.09.2015	ASS	Var. 6	Kopfsalat 4 Reihen	7,5
10.09.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
10.09.2015	ASS	Var. 4	Tomate 2x, 1x Andenbeere	7,5
11.09.2015	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch, Salate, Ansaaten(Radies, Rüben, Fenchel, usw.)	30
11.09.2015	ENTEC 26	Var. 3	Ansaaten (Salate, Winterrettich, Radies usw.)	7,5
17.09.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
17.09.2015	ASS	Var. 4	Tomate 2x, 1x Andenbeere	7,5
25.09.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	7,5
30.09.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	30
02.10.2015	ENTEC 26	Var. 2	Schnittlauch	30
02.10.2015	ENTEC 26	Var. 2	Fenchel	30
10.10.2015	ASS	Var. 1	Paprika 2x, Ausgesätes(Salate, Winterrettich)	30

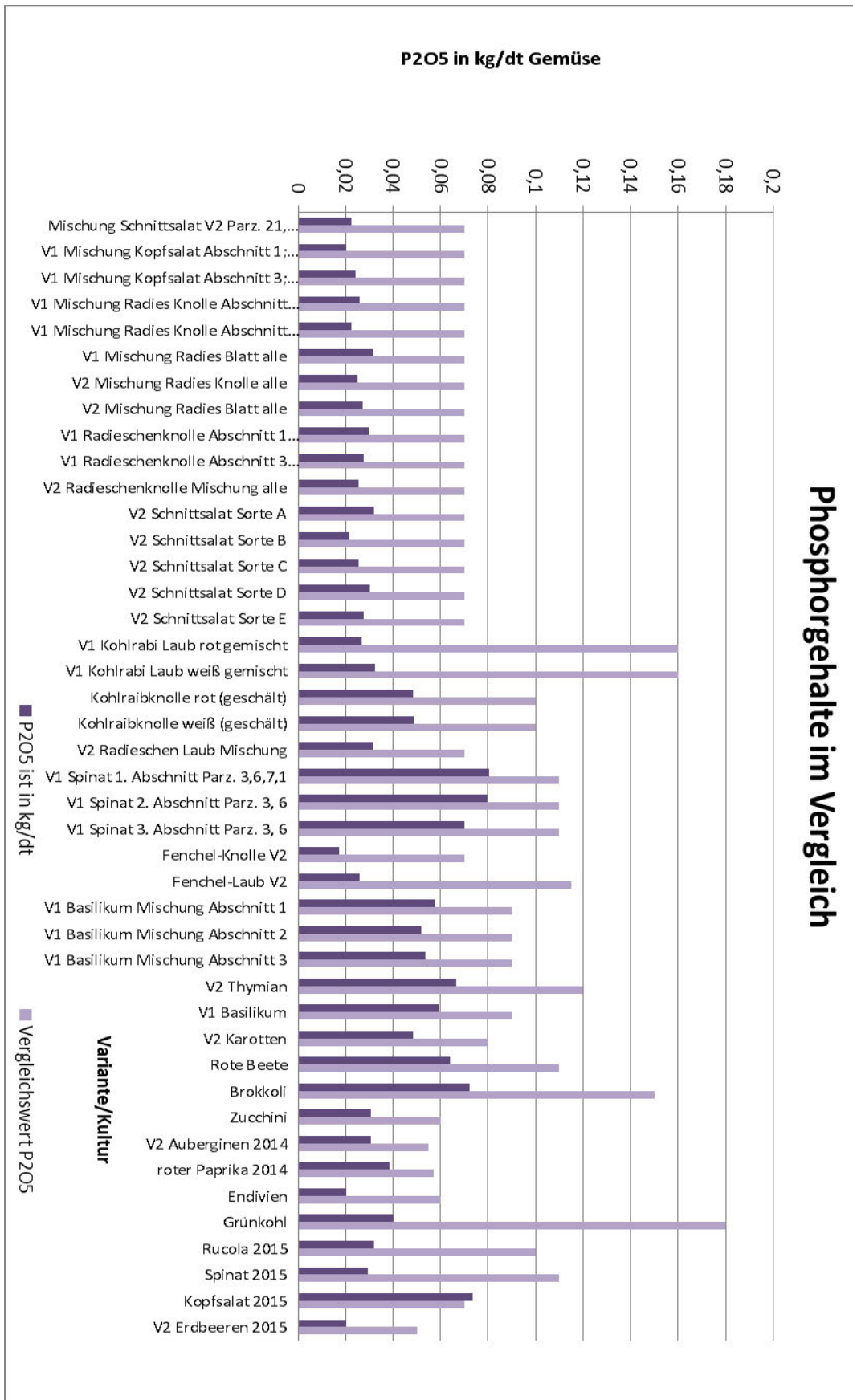
Anhang 6: Bewässerungsverlauf auf dem Versuchsdach

Datum	Kultur	Art	Dauer AK-min	Menge in l	Fläche in m ²
25.03.2014	Alle	TS			
28.03.2014	Kopfsalat, BabyLeaf, Kohlrabi, Fenchel, Feldsalat, Rucola	TS+peHa			
29.03.2014		peHa			
31.03.2014	Alle	TS	60 min		
21.05.2014	Alle	TS	60 min		
21.05.2014	Buschbohnen	Pe Ha			
08.08.2014	Alle	TS+peHa	30 min	50 l	
22.08.2014	Alle	TS+peHa	30 min	10 l	
29.09.2014	Alle	peHa		10 l	
23.03.2015	Bohne	per Hand	3	5	4
26.03.2015	Spinat	per Hand	3	5	4
07.04.2015	Spinat	per Hand	3	15	4
07.04.2015	Bohne	per Hand	3	5	4
10.04.2015	alle	per Hand		10 l/m ²	
12.04.2015	alle	per Hand		10 l/m ²	
15.04.2015	Spinat	per Hand		5	4
15.04.2015	Bohne	per Hand		5	4
16.04.2015	Spinat	per Hand		5	
16.04.2015	Bohne	per Hand		5	
19.04.2015	Spinat	per Hand		5	4
19.04.2015	Bohne	per Hand		5	4
20.04.2015	Alle	TS	10 min		
21.04.2015	Spinat	per Hand	1 min	5	
21.04.2015	alle	TS	30 min		
22.04.2015	alle	TS	60 min		
23.04.2015	alle	TS	45 min		
24.04.2015	alle	TS	10 min		
30.04.2015	alle	TS	30 min		
01.05.2015	alle	Ts	20 min		
06.05.2015	alle	TS	20 min		
08.05.2015	alle	TS	45 min		
11.05.2015	Alle	TS	60 min		
12.05.2015	alle	TS	75 min		
13.05.2015	alle	TS	75 min		
15.05.2015	alle	TS	30 min		
18.05.2015	alle	TS	75 min		
19.05.2015	alle	TS	75 min		
20.05.2015	alle	TS	75 min		
21.05.2015	alle	TS	75 min		
22.05.2015	alle	TS	15 min		
28.05.2015	alle	TS	75 min		
29.05.2015	alle	TS	30 min		
01.06.2015	alle	TS	75 min		
02.06.2015	alle	TS	70 min		
03.06.2015	alle	TS	40 min		
05.06.2015	alle	TS	105 min		
06.06.2015	alle	TS	105 min		
09.06.2015	alle	TS	45 min		
10.06.2015	Kopfsalat	per Hand	5	40	
12.06.2015	Kopfsalat	Micro	10 min		
13.06.2015	Kopfsalat	Micro	15 min		
15.06.2015	Kopfsalat	Micro	15 min		
16.06.2015	Kopfsalat	Micro	15 min		
21.07.2015	Thymian/Erdbeere	TS	10		
22.07.2015	Thymian/Erdbeere	TS	3		
24.07.2015	Thymian/Erdbeere	TS+peHa	20	10	
03.08.2015	Thymian/Erdbeere	TS	20		
06.08.2015	Thymian/Erdbeere	TS	20		
04.09.2015	Thymian/Erdbeere	TS	15 min		

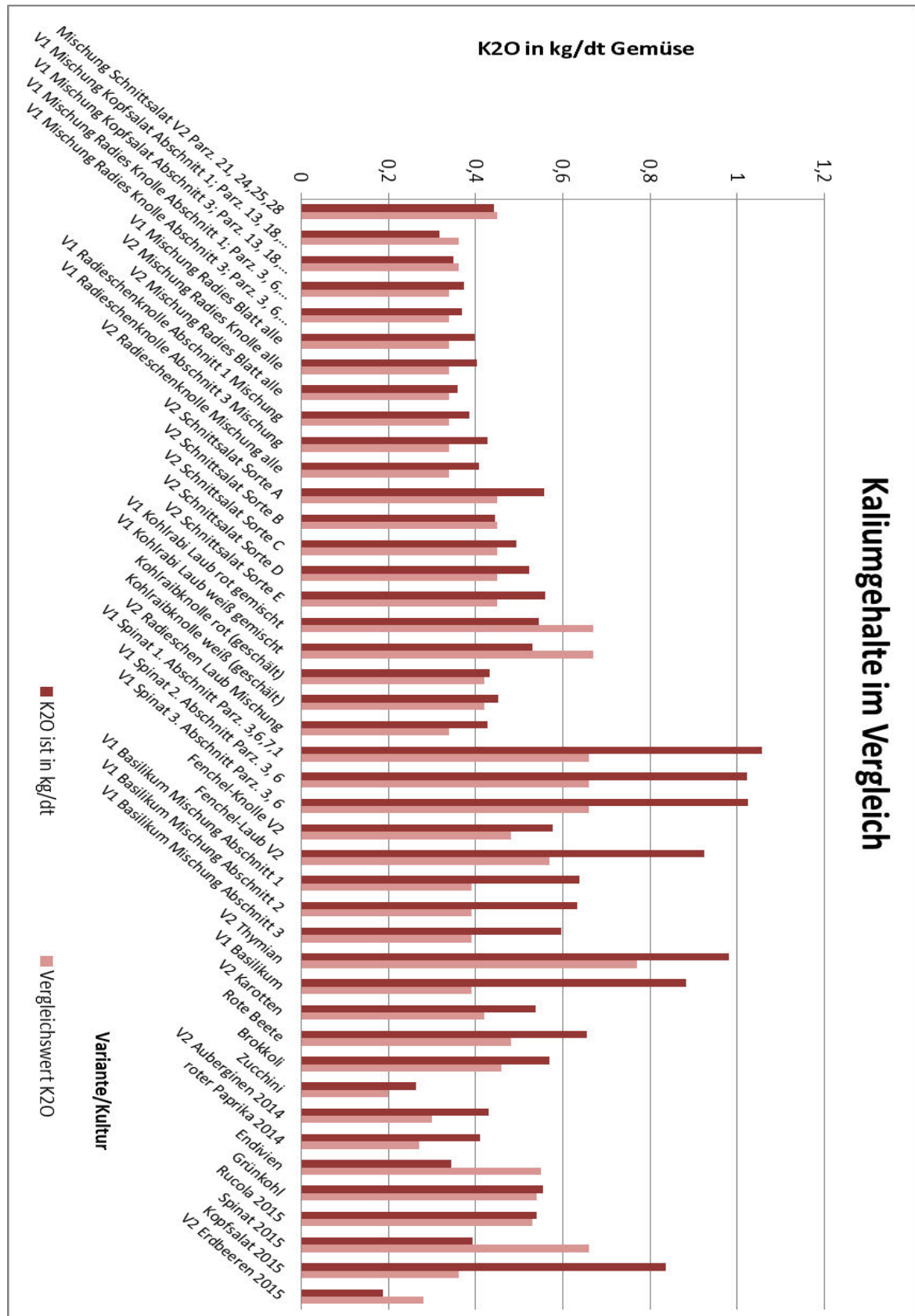
Anhang 7: Stickstoffgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



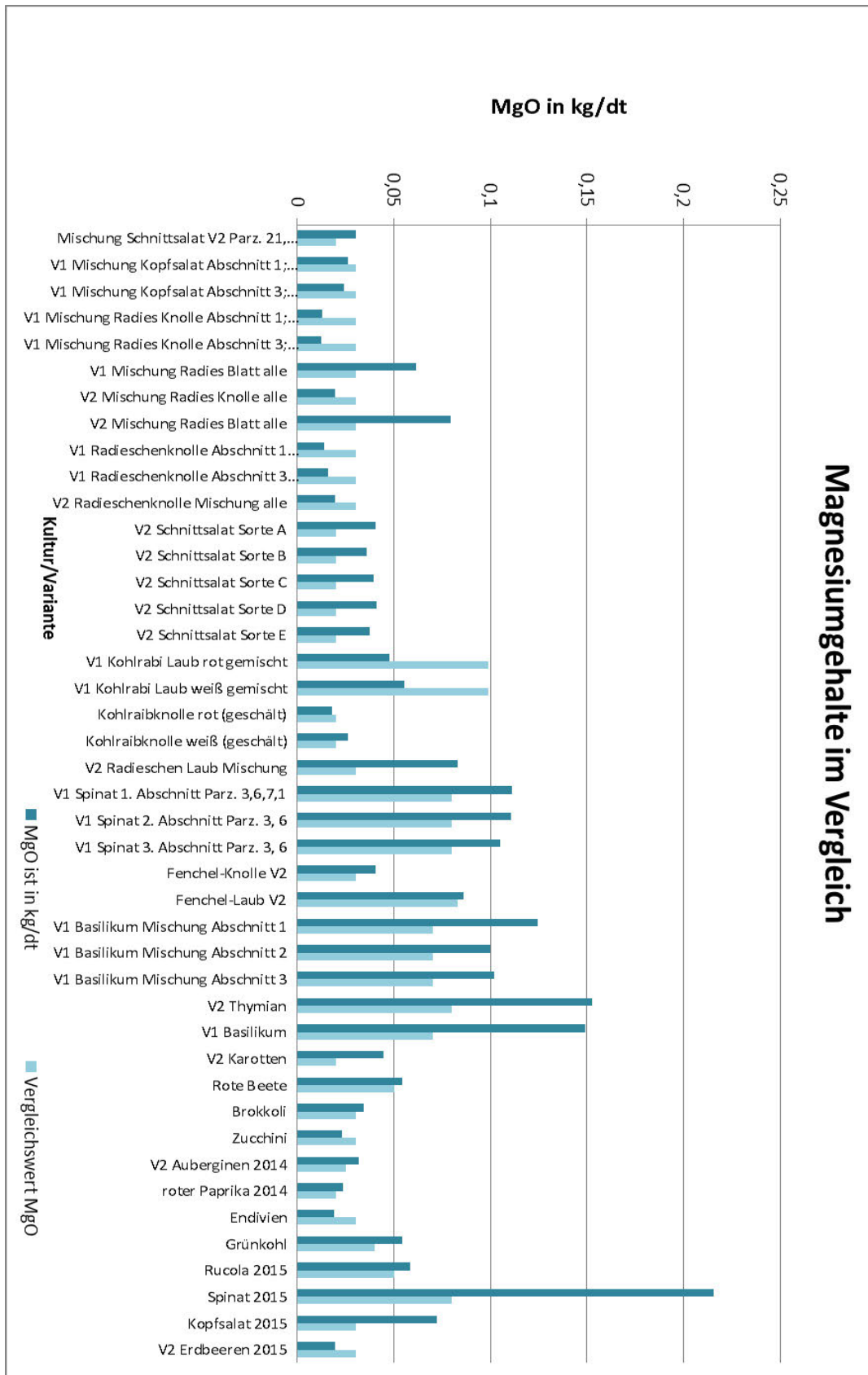
Anhang 8: Phosphorgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



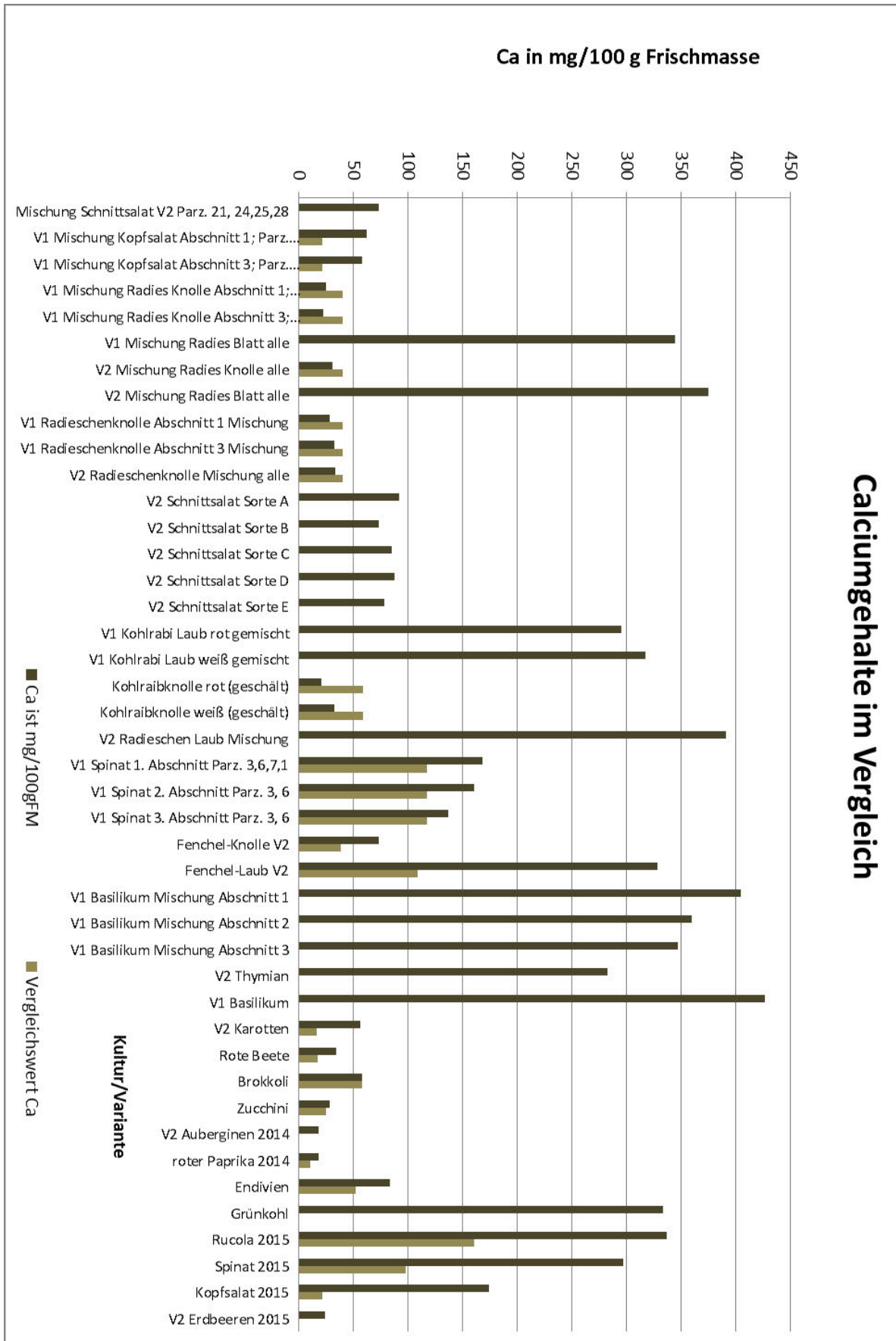
Anhang 9: Kaliumgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



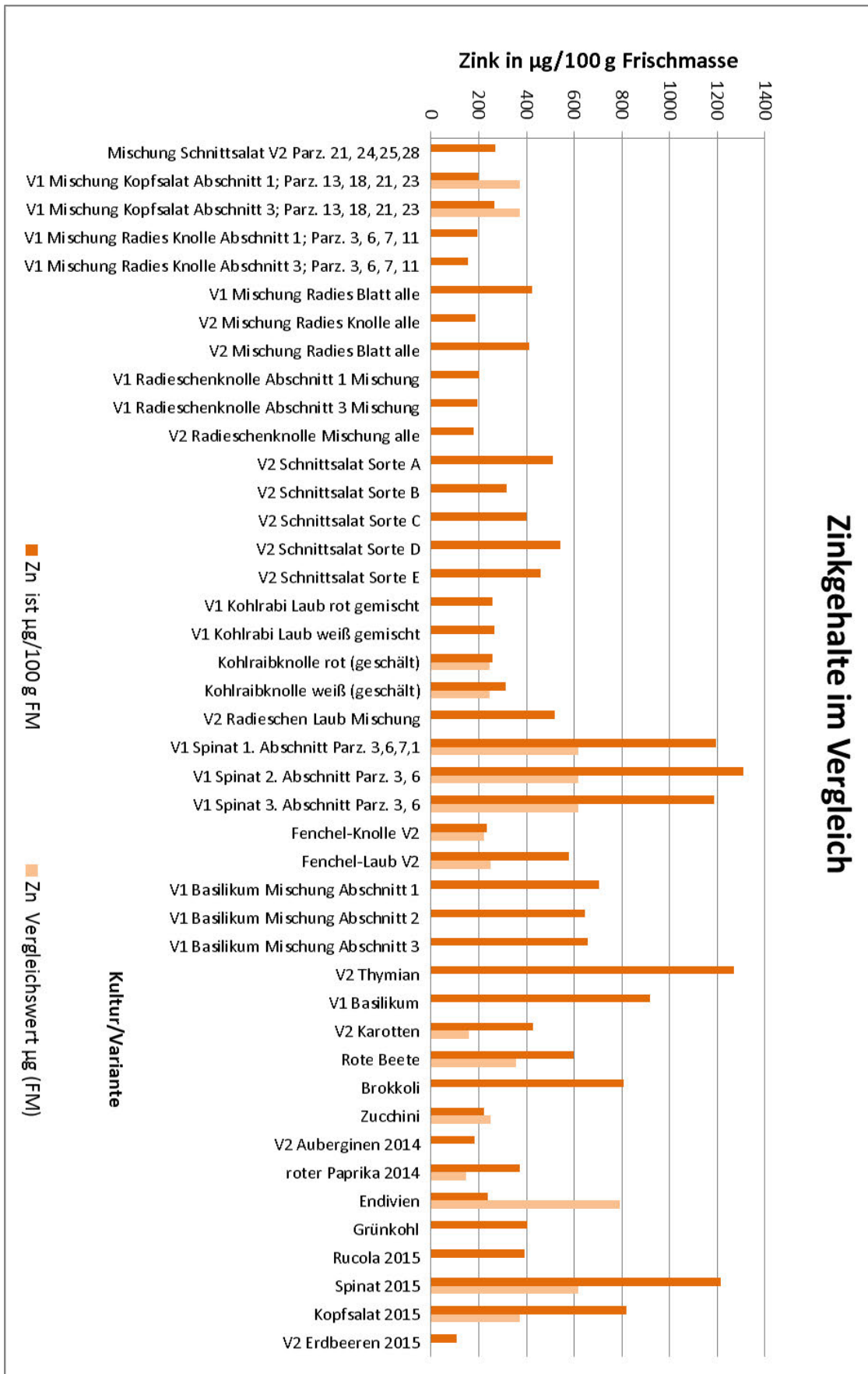
Anhang 10: Magnesiumgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



Anhang 11: Calciumgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



Anhang 12: Zinkgehalte von Gemüsekulturen auf dem Dach im Vergleich zu Erfahrungswerten aus dem Gemüsebau



Anhang 13: Zusatzbewässerungsversorgung im Randbereich auf dem Versuchsdach im Sommer 2015

Datum	Dauer AKmin	Menge in L
24.03.2015	5	20
26.03.2015	3	10
07.04.2015	1	2,5
15.04.2015		5
16.04.2015		5
19.04.2015		5
20.04.2015	2	10
21.04.2015	1	5
22.04.2015	2	20
23.04.2015		10
24.04.2015		10
30.04.2015	2	20
06.05.2015	1	4
08.05.2015	1	10
11.05.2015	1	10
12.05.2015	1	10
13.05.2015	3	20
15.05.2015	1	10
18.05.2015	2	20
19.05.2015	2	20
20.05.2015	2	10
28.05.2015	1	5
05.06.2015	2	10
06.06.2015	2	10
09.06.2015	1	10
21.07.2015	1	10
22.07.2015	1	10
24.07.2015	1	10
03.08.2015	2	20
05.08.2015	1	10
06.08.2015	1	20

Anhang 14: Bewässerungsgaben bei den essbaren Mischansaatn im Versuchsverlauf

Datum	Micro-Sprinkler Dauer in min	Tropfschlauch Dauer in min	Per Hand zusätzlich in l
01.07.2015			
02.07.2015	3		5 l/Parz.
03.07.2015	5		2 l/Parz.
06.07.2015	3		30 l insg.
07.07.2015	3		30 l insg.
10.07.2015	3		20 l
14.07.2015	3		40 l
16.07.2015	5		20
17.07.2015	5		2
21.07.2015	5		30
22.07.2015	4		30
24.07.2015	4		30
25.07.2015	4		30
26.07.2015	4		30
27.07.2015	4		30
28.07.2015	4		30
29.07.2015	4		30
30.07.2015	4		30
31.07.2015	4		30
01.08.2015	4		30
02.08.2015	4		30
03.08.2015	5		30
04.08.2015	2		25
06.08.2015	10		20
08.08.2015	10		
12.08.2015	3		20
14.08.2015	-		60 (ca. 3 l/Parz.)
04.09.2015	5	45	10 l/Parz.
10.09.2015		20	
11.09.2015		20	
25.09.2015		10	
28.09.2015		30	
30.09.2015		60	
02.10.2015		70	
09.10.2015			4 l/Parz . (nur GemüseMischung M1)
12.10.2015		40	