

# Abschlussbericht

## ERAC - Entwicklung eines ressourcenschonenden Anbauverfahrens für die Produktion von Bio-Convenience Schnittsalaten

Projektlaufzeit: 26.09.2018 – 31.12.2022

Roland Käpplein, Leadpartner

Kontakt: [r.kaepplein@kaepplein-bio.de](mailto:r.kaepplein@kaepplein-bio.de)

Das Projekt wird gefördert im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI). Die Fördermaßnahme ist eine Maßnahme des Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014-2022 (MEPL III). Das Projekt wird durch das Land Baden-Württemberg und über den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (ELER) finanziert.



# Inhalt

1	Einleitung.....	3
1.1	Ausgangssituation .....	3
1.2	Projektziel und konkrete Aufgabenstellung .....	4
1.3	Mitglieder der Operationellen Gruppe .....	4
1.4	Projektgebiet .....	4
1.5	Projektlaufzeit- und Dauer .....	4
1.6	Ablauf des Vorhabens .....	4
1.7	Verwendung der Zuwendung.....	5
1.8	Zusammenstellung der Ergebnisse .....	5
2	Versuchsdurchführung und pflanzenbauliche Bewertung.....	6
2.1	Versuchsdurchführung.....	6
2.1.1	Versuchsaufbau.....	6
2.1.2	Pflanzung, Maßnahmen und Datenerfassung .....	7
2.1.3	Pflanzbauliche Erfahrungen .....	9
2.2	Erträge und statistische Auswertung .....	9
2.2.1	Statistik.....	9
2.2.2	Ertrags-Ergebnisse und Interpretation.....	9
3	Betriebswirtschaftliche Bewertung.....	14
3.1	Festlegung des Ziels und methodisches Vorgehen .....	14
3.2	Datengrundlagen.....	15
3.3	Erträge und Erlöse .....	15
3.4	Direktkosten .....	15
3.5	Variable Maschinenkosten und Pacht.....	16
3.6	Arbeitskosten .....	18
3.7	Fixe Maschinenkosten.....	19
3.8	Direkt- und Arbeiterledigungskosten sowie Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung.....	21
3.9	Fazit.....	22
4	Ökobilanzierung .....	24

4.1	Methodische Grundlagen.....	24
4.2	Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens .....	24
4.3	Sachbilanz.....	26
4.4	Wirkungsabschätzung .....	29
4.4.1	Treibhauspotential .....	29
4.4.2	Kumulierter Energieaufwand .....	30
4.4.3	Terrestrische Eutrophierung .....	31
4.4.4	Aquatische Eutrophierung.....	31
4.5	Auswertung.....	32
4.5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	32
4.5.2	Einfluss der Systemgrenzen auf die Ergebnisse .....	33
4.5.3	Kritische Betrachtung der Datenlage .....	33
5	Weitere Ergebnisse .....	36
	Ergebnisse der Zusammenarbeit .....	36
5.1.1	Zusammenarbeit mit den Projektpartnern .....	36
5.1.2	Mehrwert der Zusammenarbeit innerhalb der OPG .....	36
5.1.3	Zukünftige Zusammenarbeit der OPG.....	36
	Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen.....	36
	Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen.....	38
5.2	Nebenergebnisse.....	38
5.3	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....	39
5.4	Veröffentlichungen und Veranstaltungen.....	39
5.5	Abkürzungsverzeichnis.....	40
5.6	Literaturverzeichnis.....	40
5.7	Fotos zum Versuchsanbau .....	42

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Nachfrage nach regionalen, nachhaltigen, gesunden Gemüseprodukten steigt. Der Außer-Haus-Verzehr wird nach der Corona Krise wieder zunehmen bzw. die Verwendung von Convenience Produkten bei der eigenen Essenszubereitung ist ein aktueller Ernährungstrend. Die Produktion von Bio Convenience Schnittsalaten kann eine Möglichkeit sein, die Wertschöpfung in landwirtschaftlichen Betrieben zu steigern.

Im ökologischen Anbau werden für die Produktion von Convenience Schnittsalaten Salatsorten angebaut, die mit nur einem einzigen Schnitt in viele kleine, gleich große Blätter zerfallen. In den meisten Fällen erfolgt(e) die Ernte von Hand mit einem einmaligen Schnitt, bei dem der gesamte ausgebildete Kopf geerntet wird. Dieses Arbeitsverfahren hat zwei wesentliche Nachteile. Zur Ernte werden entsprechend der gewünschten Schlagkraft und zu vermarktenden Menge zahlreiche Arbeitskräfte benötigt, und zur Weiterverarbeitung sind die Salate zu putzen, wobei ca. 40 bis 50 % der Blattmasse als organischer Abfall anfällt. Landwirtschaftliche Betriebe, die in die Convenience-Salatproduktion einsteigen, haben im Regelfall keine oder nur wenige Fremdarbeitskräfte zur Verfügung. Die Akquise von Saisonarbeitern gestaltet sich auch bei intensiv wirtschaftenden Gemüsebaubetrieben mittlerweile sehr schwierig. Dies führt zur Überlegung, diese Salate mechanisch zu ernten, um Arbeitskräfte einzusparen und mehrfach zu schneiden, da bei diesem Verfahren fast keine Putzabfälle zu erwarten sind und somit eine hohe Effizienz für den Einsatz der Produktionsfaktoren vorliegt.

Im EIP Projekt „Entwicklung eines ressourcenschonenden Anbauverfahrens für die Produktion von Bio Convenience Schnittsalaten“ wurden deshalb zwei zu entwickelnde Anbauverfahren mit Mehrfachschnitt von Salaten mit dem bisher üblichen Verfahren Einzelschnitt sowie der Ernte des gesamten Kopfes verglichen. Ziel bei der Entwicklung der Anbauverfahren war es auch, den Ressourceneinsatz zu optimieren. Die Bewässerung wird daher mit einer Tropfbewässerung im Gegensatz zur bisherigen Überkopfberegnung vorgenommen. Die beiden innovativen Verfahren unterscheiden sich in der Beikrautregulierung. In der einen Variante wird das Verfahren mechanische Hacke eingesetzt, in der zweiten Variante eine bioabbaubare Mulchfolie ausgelegt. Diese hat neben der Beikrautregulierung auch den Vorteil, Verschmutzungen des Salates durch Erde infolge von Spritzwasser oder Starkregen zu vermindern.

Zur Bewertung der beiden innovativen Verfahren gegenüber der herkömmlichen Variante wurden Ertrag und Qualität der Convenience Salate als Kriterien herangezogen. Es erfolgte ebenfalls eine Bewertung der Verfahren mittels Ökobilanzierung und unter ökonomischen Gesichtspunkten.

Ziel des Projektes ist es, eine Erweiterung des Kulturartenspektrums sowie den Einstieg in die Salatproduktion auch für arbeitsexensive landwirtschaftliche Betriebe zu ermöglichen und dadurch eine Steigerung der Wertschöpfung der Betriebe zu erreichen sowie die regionale Bio-Salatproduktion auszuweiten. Erwartet wird die Streuung des Verfahrens in weitere Betriebe

## 1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Die Zielsetzung des Projektes ist es, ein Kulturverfahren für die ökologische Salatproduktion zu entwickeln, welches sich leicht in eine landwirtschaftliche Kulturfolge einfügen lässt, und einen geringeren Ressourceneinsatz hinsichtlich der Produktionsmittel Pflanzgut, Düngemittel und Wasser sowie Arbeitskräfte erfordert. Der Ressourceneinsatz soll durch Tropfberegnung, gezielte Fertigation und biologisch abbaubare Mulchfolie erreicht werden. Dadurch soll es auch zu einer Verringerung der Nährstoffauswaschung und damit zu einer Verringerung der Grundwasserbelastung sowie zu einer besseren Pflanzengesundheit zu kommen. Die Salate sollen mit der Zielsetzung produziert werden, dass diese als Convenience-Produkt zu vermarkten sind. Dies hat den Vorteil, eine hohe Ausbeute am Ernteprodukt zu erzielen und somit Ernteabfälle zu reduzieren.

Weitere Ziele sind, die Erweiterung des Kulturspektrums sowie den Einstieg in die Salatproduktion auch für arbeitsexensive Betriebe zu ermöglichen und dadurch die Wertschöpfung der Betriebe und die regionale Bio-Salatproduktion auszuweiten.

## 1.3 Mitglieder der Operationellen Gruppe

1. Käpplein Bio Verwaltungs GmbH, Roland Käpplein, Am Fernmeldeturm 6, 68753 Waghäusel, Leadpartner
2. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg (LVG), Fachliche Beratung
3. Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Ökobilanzierung
4. Bio Manufaktur Waghäusel GmbH, Vermarktung der Produkte
5. Landwirt Roland Käpplein, Waghäusel, Umsetzung des Projekts
6. Gemüsering Stuttgart, Logistik

## 1.4 Projektgebiet

Das Projekt wird in Waghäusel-Wiesental auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Roland Käpplein durchgeführt.

## 1.5 Projektlaufzeit- und Dauer

Start des Projekts war am 26.09.2018, um die erforderlichen Vorarbeiten und Planungen für den Start im Jahr 2019 zu ermöglichen. Das Projekt wurde auf Grund der Corona-Pandemie verlängert bis zum 31.12.2022.

## 1.6 Ablauf des Vorhabens

1. Gründung einer operationellen Gruppe
2. Erstellen eines Konzeptes
3. Erprobung der Maschinen
4. Anschaffung neuer Maschinen
5. Verbesserung des Anbauverfahrens
6. Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachpresse, Vorstellung und Publikation des Verfahrens bei Landwirten und auf Messen

## 1.7 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung für das EIP-Agri Projekt ERAC betrug in Summe 433.525,88 Euro. Die Zuwendungen wurden für die unten folgenden Kostenpositionen verwendet:

1. Laufende Kosten der Zusammenarbeit
  - 1.1. Personalausgaben für die Projektkoordination
  - 1.2. Reisekosten der an der OPG beteiligten Akteure
  - 1.3. Allgemeine Betriebskosten der OPG (15 % aus den Koordinationskosten)
2. Direktkosten des Projekts ohne Investitionen (Fördersatz 100 %)
  - 2.1. Personalkosten für die Erstellung der Ökobilanzierung
  - 2.2. Personalausgaben Versuchsingenieur
  - 2.3. Personalausgaben Landwirt
  - 2.4. Personalausgaben landwirtschaftliche Mitarbeiter
  - 2.5. Sachkosten des Projektes
3. Kosten für Investitionen im Rahmen der EIP-Förderung (Fördersatz 60 %)
  - 3.1. Anschaffung einer Bio-Fräse
  - 3.2. Anschaffung Pflanzmaschine
  - 3.3. Anschaffung Schneidemaschine

## 1.8 Zusammenstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden von den einzelnen Kooperationspartnern ausgewertet und zusammengestellt. Die detaillierte Aufarbeitung ist ab Punkt 2 zu sehen. Die Ergebnisse gliedern sich folgendermaßen:

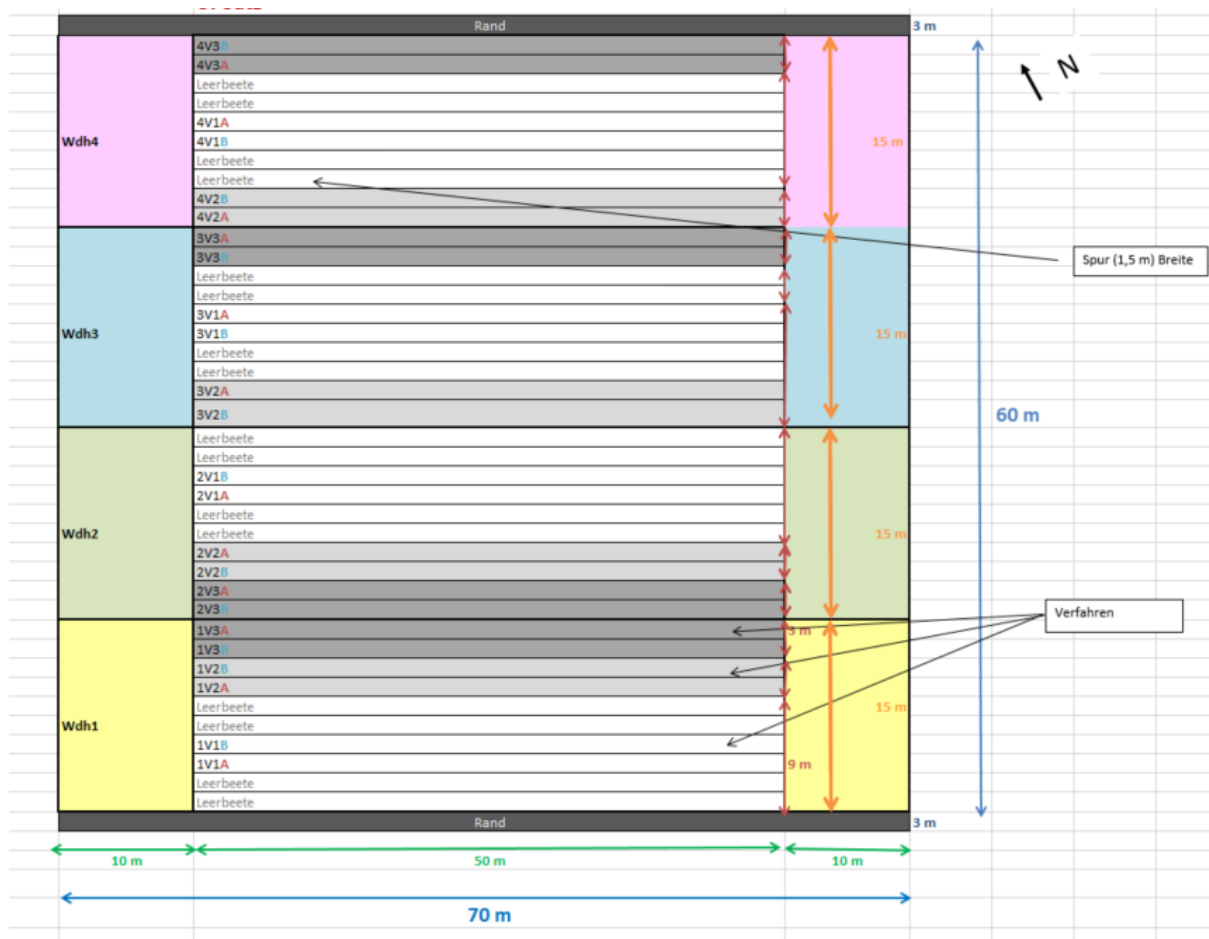
1. Versuchsdurchführung und pflanzenbauliche Bewertung
  - a. – Versuchsdurchführungen und Praxiserfahrungen: Roland Käßlein
  - b. – Erträge inklusive statistischer Auswertung: Sabine Reinisch, LVG Heidelberg
2. Betriebswirtschaftliche Bewertung – Heike Sauer, LVG Heidelberg
3. Ökobilanzierung – Daniel Villwock, Rolf Weber, Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf, HfWU Nürtingen-Geislingen

## 2 Versuchsdurchführung und pflanzenbauliche Bewertung

### 2.1 Versuchsdurchführung

#### 2.1.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurde eine Spaltanlage gewählt. Der Anbau war jeweils in zwei und im Jahr 2022 auf drei Sätze pro Jahr aufgeteilt. Jeder Satz umfasste vier Wiederholungen mit je 6 Versuchsgliedern. Insgesamt waren es pro Satz 18 Versuchspartellen. Aus technischen Gründen wurden zusätzliche Leerbeete in der Überkopvariante angelegt, um eine Beregnung der Tropfvarianten zu vermeiden (**Abbildung 1**). Die Versuchsanlage wurde in jedem Satz neu randomisiert. Der 3. Satz im Jahr 2022 wurde aus praktischen Gründen auf einer weiteren Fläche teilrandomisiert.



**Abbildung 1: Versuchsanlage EIP-ERAC am Beispiel des 3. Satzes im Anbaujahr 2022.**

Die Prüfglieder setzen sich aus den Faktoren 'Sorte' und 'Anbausystem' zusammen. Gewählt wurden eine rote (A) und eine grüne Sorte (B) der Firma Rijk Zwaan. Bei den Sorten handelt es sich um sogenannte Salanova-Knox<sup>TM</sup>-Salate, Typ Kopfsalat (**Tabelle 1**). Diese sollen für die mechanische Ernte und Produktion von Convenience-Ware besonders gut geeignet sein, da die Schnitt- und Bruchstellen länger weiß bleiben und nicht so schnell oxidieren.

Als Anbausystem wurde die praxisübliche Überkopfberegnung (V1) mit Rohrleitungen bzw. LDPE-Schläuchen mit Mikro-Regnern als Standardverfahren gewählt. Dem gegenüber wurden zwei Tropfbewässerungsvarianten, einmal ohne (V2) und einmal mit Mulchfolie (V3) gestellt (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1: Übersicht der geprüften Kombinationen aus Sorte und Bewässerungsvariante im Anbaujahr 2022.**

Kombinations- bezeichnung	Faktor 1: Anbausystem	Bez.	Faktor 2: Sorte	Farbe	Bez.
V1A	Überkopfbegner	V1	Kalat (RZ)	rot	A
V1B	Überkopfbegner	V1	Chalmers (RZ)	grün	B
V2A	Tropfbewässerung	V2	Kalat (RZ)	rot	A
V2B	Tropfbewässerung	V2	Chalmers (RZ)	grün	B
V3A	Tropfbewässerung + Mulchfolie	V3	Kalat (RZ)	rot	A
V3B	Tropfbewässerung + Mulchfolie	V3	Chalmers (RZ)	grün	B

Verglichen werden sollten hinsichtlich der Anbausysteme der jeweilige Betriebsmitteleinsatz (Material, Diesel, etc.), Arbeitsaufwand (Material auslegen/bergen, Pflegemaßnahmen (insb. Beikrautmanagement)), die verwendeten Wassermengen, sowie die daraus resultierenden Erträge. Hinsichtlich der Sortenwahl standen drei Aspekte im Vordergrund. Zum einen ist von Seiten des Abnehmers in der Regel eine rot/grüne Salatmischung gefordert, die durch die Wahl der beiden Sorten abgedeckt wurde. Zum anderen wurde überprüft, ob sich die beiden Sorten tatsächlich für die unterschiedlichen Anbausysteme eignen. Hierbei soll angemerkt werden, dass nach den Anbaujahren 2019 bis 2021 die Sorten angepasst wurden, da sich die ursprünglich gewählten Sorten als nicht optimal für die Anbau- bzw. Erntetechnik erwiesen. Ein direkter Vergleich zu den Vorjahren ist daher nicht gegeben. Im Weiteren sollte durch die Faktorkombinationen ermittelt werden, ob die Salatsorten mit den jeweiligen Anbausystemen in Interaktion stehen bzw. sich durch die unterschiedlichen Kombinationen Wechselwirkungen ergeben.

### 2.1.2 Pflanzung, Maßnahmen und Datenerfassung

Die Gesamtfläche pro Satz betrug etwa 4200 m<sup>2</sup>, während die einzelnen Parzellen eine Größe von 1,5 m Breite x 50,0 m Länge umfassten. Da eine konsequente Parzellenlänge von 50,0 m je Satz nicht gewährleistet werden konnte, wurden in jedem Beet Kernparzellen von 4,8 m<sup>2</sup> ausgesteckt und die dort erzielten Erträge (g/m<sup>2</sup>) detailliert erfasst.

Gepflanzt wurde im Jahr 2019 mit der vorhandenen Hortec Pflanzmaschine. Mit dieser Technik war jedoch die geplante Engpflanzung in Mulchfolie mit einem Abstand von 11 cm nicht möglich. Die Versuche im Jahr 2019 werden daher als rein technische Versuche gewertet. Deshalb war die Anschaffung der Ferrari Pflanzmaschine erforderlich, um das Projekt in der geplanten Art und Weise durchzuführen. Corona-bedingt konnte die bestellte Ferrari Pflanzmaschine jedoch nicht ausgeliefert werden. Des Weiteren ist der Absatz des Salates nicht mehr gewährleistet gewesen, da der Kooperationspartner ‚Deine BioManufaktur‘ seine Abnehmer im Catering-



Bereich verloren hatte. Grund hierfür war die Verlagerung des Arbeitsplatzes vieler Mitarbeiter in den Home-Office-Bereich und der damit ausbleibende Cateringbedarf. Daraufhin wurden die Versuchsanstellungen im Jahr 2020 ausgesetzt und die geplanten Anschaffungen und die Weiterführung des Projektes auf das Jahr 2021 verlegt.

Nachdem im Jahr 2021 die Ferrari-Pflanzmaschine geliefert wurde konnte in den folgenden Jahren mit der Ferrari Folienpflanzmaschine Typ FFC-4 bei einer Spurbreite von 1,50 m und 30 cm Reihenabstand in allen Bewässerungsvarianten gepflanzt werden. Der Pflanzabstand in der Reihe betrug in der Überkopffregner-Variante (V1) 0,19 m und führte zu einem Netto-Pflanzenbestand von 17,5 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Die Leerbeete wurden zwecks der Einheitlichkeit des Bestandes ebenfalls bepflanzt und geerntet, jedoch im Rahmen des Versuches nicht ausgewertet. Mit Blick auf die Maschinenernte der Tropfbewässerungsvarianten mit (V3) und ohne Mulchfolie (V2) wurde ein Pflanzabstand in der Reihe von 0,11 m gewählt. Durch den engeren Pflanzabstand wurden in diesen Varianten 30,3 Pflanzen/m<sup>2</sup> gepflanzt. Pflanzdatum, sowie sämtliche anschließende Maßnahmen (Bewässerung, Düngung, Unkrautmanagement, etc.) sind den Schlagkarteien des jeweiligen Anbau-Satzes zu entnehmen.

Die Bewässerung erfolgte bei den Tropfschlauch-Varianten mit einem Druck von 1,02 bar und der Überkopf-Variante mit 4 - 4,5 bar.

Innerhalb der Kernparzellen wurden des Weiteren Bestandsentwicklung, Unkrautvorkommen und Schaderregerbefall bonitiert, da der Arbeitsaufwand hinsichtlich der kompletten Parzellen sonst nicht zu leisten gewesen wäre.

Geerntet wurde die Überkopffregner-Variante (V1) einmalig pro Satz von Hand. Die beiden Tropfbewässerungsvarianten (V2 + V3) wurden mit einer Ortomec Erntemaschine geerntet. Während des jeweiligen Anbauzeitraumes pro Satz konnten hier zwei Schnitte erzielt werden.

2019 erfolgte die Ernte noch probenhalber mit einer Leihmaschine des DLR Schifferstadt die eine größere gebrauchte Ortomec Maschine zur Verfügung hatten. Da der Transport des geschnittenen Salates nicht richtig funktionierte, durch das zu glatte Transportband, musste sehr viel Zeit in zusätzliche Handarbeit investiert werden.

Die Anschaffung einer neuen Schneidemaschine von Ortomec Mod. 2000-130B wurde ebenfalls für 2020 geplant, konnte jedoch auch Corona-bedingt nicht geliefert und eingesetzt werden. Auch hier wurde auf Grund von Lieferengpässen und weggefallenen Kunden der ‚BioManufaktur‘ die Weiterführung des Projektes auf das Jahr 2021 verschoben. Eine Verlängerung unseres Projektes wurde beantragt und auch genehmigt.

In den Jahren 2021 und 2022 waren an der gelieferten Schneidemaschine noch weitere eigene Umbaumaßnahmen erforderlich, damit die Technik für die vorherrschenden Bedingungen, d.h. mit 2 und mehr Schnitten in den gewählten Kopfsalat Sorten, gut einsetzbar war. Es musste wiederum das Transportband getauscht, in Eigenleistung die Neigung des Bandes und die Schnitttechnik geändert werden. Damit stand eine für die gewählten Kopfsalatsorten taugliche Schneidemaschine erst im 2.und 3. Satz des Anbaujahres 2022 voll zur Verfügung.

### 2.1.3 Pflanzbauliche Erfahrungen

## 2.2 Erträge und statistische Auswertung

### 2.2.1 Statistik

Grundlage für die Anlage des Versuches war ein vollständiger zweifaktorieller Versuch. Hierbei wurden die Effekte der beiden Einflussgrößen 'Sorte' und 'Anbausystem', sowie mögliche Wechselwirkungen beider Faktoren auf den Ertrag untersucht. Der Analyse wurde ein lineares gemischtes Modell zugrunde gelegt, das sowohl feste, als auch zufällige Effekte enthält. Das grundlegende Modell lässt sich formal wie folgt beschreiben:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + r_k + (\beta r)_{jk} + b_{jl} + e_{ijkl}$$

$y_{ijkl}$  = Ertrag der k-ten Wiederholung der i-ten Sorte im j-ten Anbausystem im l-ten Beet

$\mu$  = Gesamteffekt/Allgemeiner Mittelwert

$\alpha_i$  = Haupteffekt der i-ten Sorte

$\beta_j$  = Haupteffekt des j-ten Anbausystems (trt)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Wechselwirkung der i-ten Sorte und des j-ten Anbausystems (trt)

$(\beta r)_{jk}$  = Großteilstückfehler des j-ten Anbausystems in der k-ten Wiederholung

$r_k$  = Effekt der k-ten Wiederholung

$b_{jl}$  = Effekt des l-ten Beets

$e_{ijkl}$  = Fehler

Um die erhobenen Daten statistisch auszuwerten wurde das SAS-Programm 9.4 genutzt. Für den Vergleich der einzelnen Merkmale wurde die Prozedur MIXED verwendet und eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Nach allgemeinen Konventionen gilt für die berechneten Werte der Teststatistik  $p < 0.05$  als signifikant. Der Wiederholungs- und Beet-Effekt wird auf Grund der Randomisation als zufällig betrachtet, während die anderen Effekte als fest angesehen werden können. Jeder Satz des Anbaujahres 2022 wurde separat ausgewertet. Zusätzlich wurde eine zusammenfassende Maßzahl je Versuchseinheit über die drei Sätze berechnet und dadurch ein Durchschnittswert ermittelt und statistisch betrachtet.

### 2.2.2 Ertrags-Ergebnisse und Interpretation

Auf Grund diverser technisch erforderlicher Anpassungsmaßnahmen in den ersten Versuchsjahren, sind die Ergebnisse aus den Anbaujahren 2019-2021 wenig aussagekräftig. Daher werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse aus dem Anbaujahr (2022) betrachtet und interpretiert.

Grafisch dargestellt werden die Brutto- und Nettoerträge der Salaternten im jeweiligen Satz (**Abbildung 2-4**) sowie die Mittelwerte der Gesamterträge (**Abbildung 5**) und der Kopferträge (**Abbildung 6**) der drei Sätze. Außerdem werden die Netto-Erträge tabellarisch dargestellt (**Tabelle 2**) Der marktfertige Salat (Netto-Ertrag) in den Tropfvarianten ist immer mit den Erträgen in der Bruttovariante identisch, da der Salat mit der Maschine geschnitten, aber nicht weiter aufbereitet werden musste. In der Überkopfvariante wurden ganze Salatköpfe

geerntet (Brutto-Ertrag). Diese wurden nach der Ernte zu Convenience-Ware weiter aufbereitet (Netto-Ertrag) und erklären den deutlichen sortenunabhängigen Ertragsunterschied zwischen dem Brutto- und Netto-Gewicht in der Überkopfvariante in allen drei Sätzen.

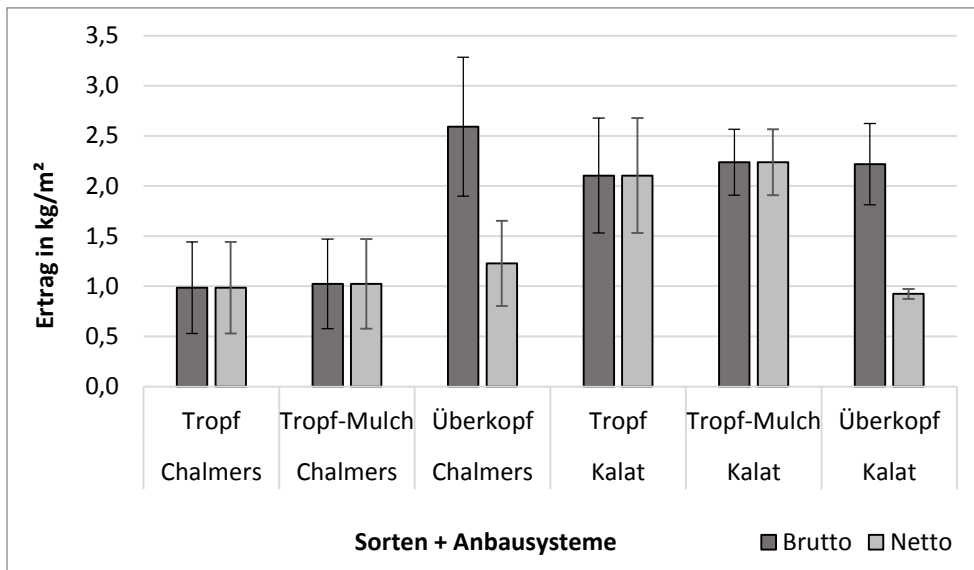


Abbildung 2: Salatertrag in kg/m<sup>2</sup> des 1. Satzes im Anbaujahr 2022, Anbauzeitraum KW 19-28

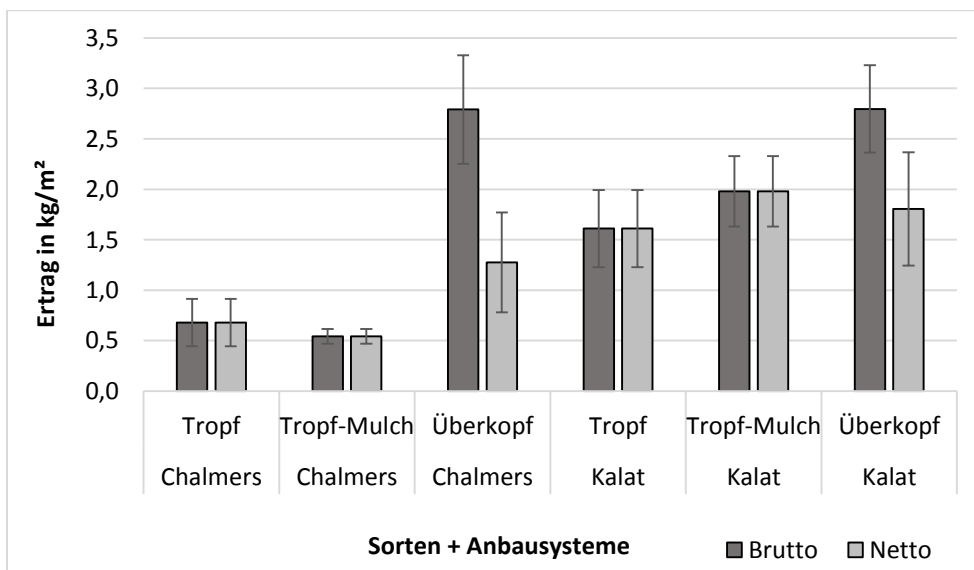


Abbildung 3: Salatertrag in kg/m<sup>2</sup> des 2. Satzes im Anbaujahr 2022, Anbauzeitraum KW 22-31.

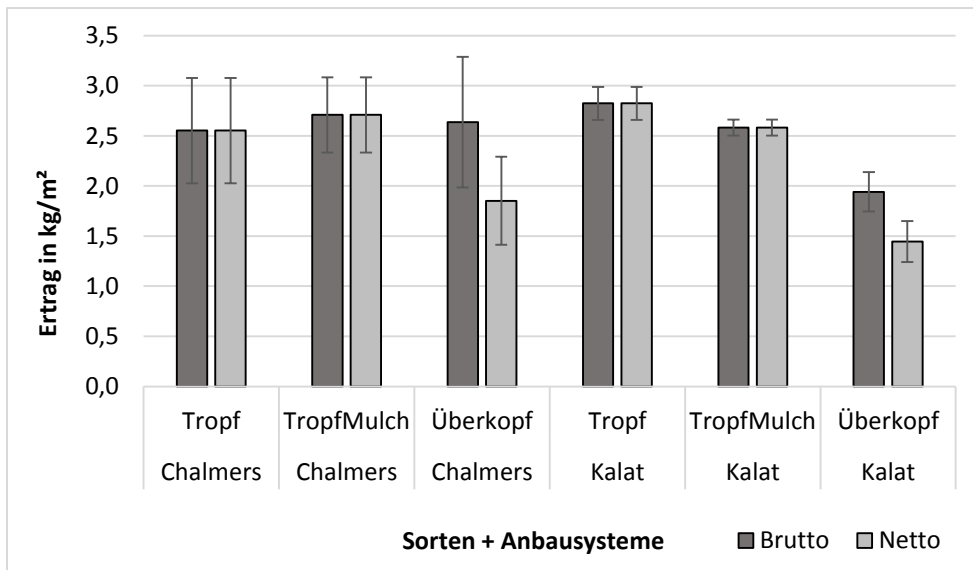


Abbildung 4: Salatertrag in kg/m<sup>2</sup> des 3. Satzes im Anbaujahr 2022, Anbauzeitraum KW 30-38.

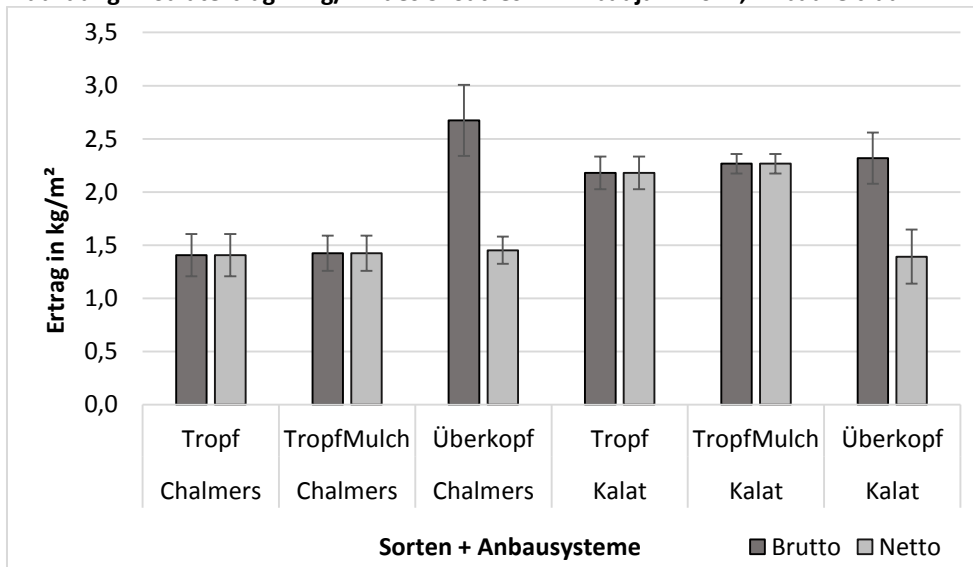


Abbildung 5: Salatertrag in kg/m<sup>2</sup> im Anbaujahr 2022, gemittelt über drei Anbausätze.

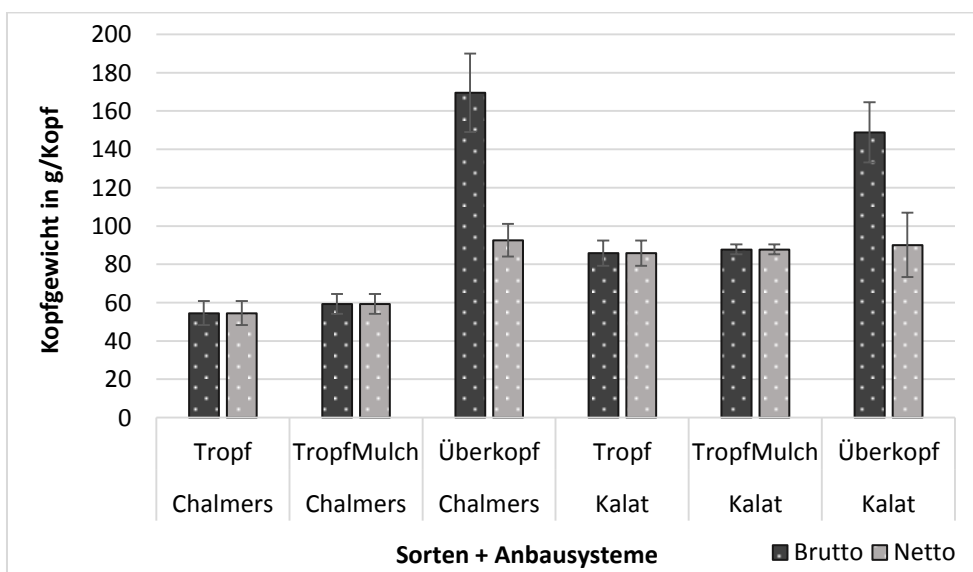


Abbildung 6: Durchschnittlicher Kopfertrag in g/Kopf im Anbaujahr 2022, gemittelt über drei Anbausätze.

Im 1. Satz sind aus statistischen Gesichtspunkten Wechselwirkungen zwischen den Sorten und den Anbausystemen auszumachen. Diese sind jedoch nicht weiter nachzuvollziehen, da sie durch einen signifikanten Wiederholungseffekt überlagert werden. Verschiedene Überlegungen für den Wiederholungseffekt wurden in Betracht gezogen (u.a. Druckabfall der Bewässerung, Bodenunterschiede, Unterschiede in der Aufbereitung, etc.), aber eine eindeutige Ursache konnte nicht ausgemacht werden. Im 2. Satz können erneut Wechselwirkungen im Brutto-Ertrag festgestellt werden. Hinsichtlich des Netto-Ertrages, d.h. nach Aufbereitung der Überkopfvariante, ist lediglich ein starker Sorteneffekt statistisch nachzuweisen. Ein signifikanter Effekt durch die Anbausysteme konnte hinsichtlich der Erträge nicht verzeichnet werden. Der 3. Satz zeigt hinsichtlich des Brutto-Ertrags keine statistischen Unterschiede, weist jedoch bei den Netto-Erträgen einen deutlichen Effekt durch die Anbausysteme auf.

Vergleicht man die drei Sätze ist keine einheitliche Wirkung auf den Ertrag/m<sup>2</sup> durch die Anbausysteme auszumachen. Zum einen ist dies auf diverse Umwelteffekte und versuchstechnische Gegebenheiten wie z.B. Änderungen in der Technik, Bodenunterschiede, Wasserdruck, etc. zurückzuführen. Dies wird unter anderem auch durch die signifikanten Unterschiede zwischen den Wiederholungen deutlich. Zum anderen sind die Sätze bzw. Erträge den natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen (Klima, Schaderreger, etc.) unterworfen.

Mittelt man die Erträge der drei Anbausätze können sowohl bei den Brutto- als auch bei den Netto-Erträgen hochsignifikante Wechselwirkungen zwischen den Sorten und den Anbausystemen ausgemacht werden. Der Unterschied in der Überkopfvariante zwischen Brutto- und Netto-Ertrag zeigt sich auch bei den gemittelten Erträgen (**Abbildung 5**). Die höchsten Netto-Erträge erzielt die Sorte 'Kalat' in den beiden Tropfvarianten, wobei hier das Tropfbewässerungssystem mit Mulchfolie (V3) mit einem Netto-Ertrag von 2,27 kg/m<sup>2</sup> signifikant den höchsten Ertrag erreicht (**Tabelle 2**). Für die Überkopfvariante scheint diese Sorte nicht optimal geeignet zu sein, da die Überkopfvariante das Mittel der Brutto-Erträge der beiden Tropfvarianten nicht auffallend übersteigt und durch das Aufbereiten der Köpfe der Ertrag stark absinkt. Mit 1,39 kg/m<sup>2</sup> erzielt 'Kalat' im Anbausystem 'Überkopfreger' den geringsten durchschnittlichen Nettoertrag. In wie weit hier Umwelteffekte bzw. personelle Effekte bei der Aufbereitung einen Einfluss haben, kann in diesem Zusammenhang nicht abschließend geklärt werden. Anders verhält es sich bei der Sorte 'Chalmers'. Die Tropfvarianten liefern bei 'Chalmers' insgesamt geringere Erträge als bei der Sorte 'Kalat'. Die Überkopfvariante zeigt hinsichtlich der Brutto-Erträge einen signifikant höheren Ertrag gegenüber allen Tropfvarianten. Durch die Aufbereitung fällt der Netto-Ertrag jedoch wieder so weit ab, dass kein Unterschied zwischen den Anbausystemen festgestellt werden kann (**Abbildung 5**).

**Tabelle 2: Übersicht über die Netto-Erträge (kg/m<sup>2</sup>) im Anbaujahr 2022. Tukey (=5%). Mittelwerte mit denselben Buchstaben sind nicht signifikant voneinander verschieden.**

Salat-Sorte	Anbausystem	Netto-Ertrag	Netto-Ertrag	Netto-Ertrag	Netto-Ertrag
		(kg/m <sup>2</sup> ) Satz 1	(kg/m <sup>2</sup> ) Satz 2	(kg/m <sup>2</sup> ) Satz 3	(kg/m <sup>2</sup> ) Ø Satz 1-3
'Chalmers'	Tropf	0,99	0,68	2,55	<b>1,41<sup>cd</sup></b>
'Chalmers'	Tropf+Mulch	1,02	0,54	2,71	<b>1,43<sup>abc</sup></b>
'Chalmers'	Überkopf	1,23	1,28	1,85	<b>1,45<sup>cd</sup></b>
'Kalat'	Tropf	2,11	1,61	2,82	<b>2,18<sup>b</sup></b>
'Kalat'	Tropf+Mulch	2,24	1,98	2,58	<b>2,27<sup>a</sup></b>
'Kalat'	Überkopf	0,92	1,80	1,45	<b>1,39<sup>d</sup></b>

Insgesamt lassen sich die erzielten durchschnittlichen Erträge mit dem Ertragsniveau des klassischen Babyleaf-Anbaus vergleichen. Bei 'Chalmers' ist ein geringeres Netto-Ertragsniveau zu verzeichnen als bei 'Kalat'. Die Sorte 'Chalmers' zeigt bezüglich der Netto-Erträge/m<sup>2</sup> keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbausystemen, reagiert aber hinsichtlich der Kopfgewichte gut auf die Überkopfvariante (**Abbildung 6**). Die Sorte 'Kalat' hingegen zeigt ähnlich hohe Erträge zwischen den Brutto-Gewichten in allen drei Varianten. Die beiden Tropfbewässerungsverfahren unterscheiden sich deutlich hinsichtlich des Netto-Ertrags von der Überkopfvariante und sind dieser daher vorzuziehen (**Abbildung 5**). Hinsichtlich der Netto-Kopfgewicht unterscheiden sich die Anbausysteme bei 'Kalat' wiederum nicht (**Abbildung 6**). Mit Blick auf die zu erzielenden Erträge lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Wahl des geeigneten Anbausystems für Convenience-Salate stark von der gewählten Sorte abhängt.

Um diese Ergebnisse zu verifizieren sollte ein weiteres Versuchsjahr angestrebt werden, denn unterschiedliche Ergebnisse zwischen den Sätzen und zwischen den Wiederholungen innerhalb der Sätze, machen eine solide Interpretation der Daten nicht einfach bzw. valide. Gewisse Unsicherheiten werden nicht nur durch jahreszeitlich bedingte Schwankungen, sondern auch durch technische Aspekte, Umwelteinflüsse und eventuelle Ungleichheiten in der Aufbereitung der Überkopfvariante ausgelöst.

Zusätzlich sollten die Anbausysteme auf verschiedenen Standorten erprobt werden. Im vorliegenden Versuch wurden die Salate auf lehmigen Sandböden (IS) kultiviert. Ob die verschiedenen Sorten und Anbausysteme auf anderen Bodenarten die gleichen Ergebnisse liefern, gilt es im Weiteren zu prüfen.

Hinsichtlich der Sortenwahl gibt es ebenfalls Optimierungspotential. Zu überlegen wäre weitere Sorten mit in das Versuchsdesign aufzunehmen, bzw. die ertragsschwächere Sorte 'Chalmers' durch eine vielversprechendere grüne Sorte zu ersetzen.

### 3 Betriebswirtschaftliche Bewertung

#### 3.1 Festlegung des Ziels und methodisches Vorgehen

Ziel der betriebswirtschaftlichen Bewertung mit Hilfe einer Leistungs-Kosten-Rechnung ist der Vergleich der erzielbaren Erträge und somit Erlöse im Verhältnis zu den entstehenden Direktkosten und Arbeiterledigungskosten der drei Anbausysteme für Schnittsalat, die im Projekt ERAC entwickelt und in Exaktversuchen durchgeführt wurden (**Tabelle 3**). Die Ermittlung der Direktkosten und Arbeiterledigungskostenfreien Leistung als Ergebnis dieser ökonomischen Bewertung soll gemeinsam mit der pflanzenbaulichen und der ökologischen Bewertung als Entscheidungshilfe für Betriebe in der ökologischen Landwirtschaft dienen. Die oben genannten Kosten setzen sich unter anderem zusammen aus den Direktkosten und hier werden die Kosten für Jungpflanzen oder der Einsatz von Tropfschläuchen bzw. Mulchfolie insbesondere zu nennen sein. Ein wichtiges Kriterium sind die Arbeitskosten, die sich erwartungsgemäß durch einen vermehrten Maschineneinsatz je nach Anbausystem reduzieren. Ihnen gegenübergestellt sind möglicherweise erhöhte variable Maschinenkosten und die speziell für diese Arbeitsverfahren zuzuordnenden Fixkosten für die Maschinen.

**Tabelle 3: Die Anbausysteme zur ökologischen Produktion von Convenience Schnittsalat im Vergleich**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
<b>Boden</b>	offen	offen	bioabbaubare Mulchfolie
<b>Pflanzdichte Pflanzen netto/m<sup>2</sup></b>	17,5	30	30
<b>Bewässerung</b>	Überkopf Kreisregner LDPE Schlauch und Mikro- Regnern (Wieler)	Tropfbewässerung Unterflur mit Streamline Triple X 80 (Netafim)	Tropfbewässerung Unterflur mit Streamline Triple X 80 (Netafim)
<b>Nährstoffver- sorgung</b>	Grund- und Kopfdüngung mit Haarmehlpellets 13,5% N	Grunddüngung Haarmehlpellets 13,5 % N und Flüssigdüngung Vinasse 5 %	Grunddüngung Haarmehlpellets 13,5 % N und Flüssigdüngung Vinasse 5 %
<b>Beikrautregulierung</b>	Mechanisches Hacken Handhacke	Mechanisches Hacken Handhacke	Technischer Mulch bioabbaubare Mulchfolie Jäten
<b>Ernte</b>	1malig gesamter Kopf Aufbereitung/Putzen Zur Weiterverarbeitung im Schnittbetrieb	2 maliger Schnitt zur direkten Verwertung im Verarbeitungsbetrieb	2 maliger Schnitt zur direkten Verwertung im Verarbeitungsbetrieb

## 3.2 Datengrundlagen

Zur betriebswirtschaftlichen Bewertung dienten folgende Quellen:

- Preise für Erlöse, Produkte, Investitionen Pflanz- sowie Erntemaschine, Betriebsmittel und Betriebsstoffe: Landwirtschaftsbetrieb Roland Käßlein
- Arbeitszeitzahlen: Landwirtschaftsbetrieb Roland Käßlein
- Modell- Vollkostenkalkulation im Freilandgemüsebau DLR Rheinpfalz 2022 für Kopfsalat Herbst und Baby-Leaf-Salat veröffentlicht in Hortigate 2022
- KTBL Datensammlung Gemüsebau Freiland und Gewächshaus, 2017, Hrsg. KTBL

Bei der Ermittlung der Leistungen der verschiedenen Anbausysteme wurde für die Erträge das Mittel aus drei Anbausätzen im Jahr 2022 für die rote Salatsorte 'Kalat' zugrunde gelegt. Hintergrund für die Beschränkung auf das Jahr 2022 war, dass hier das Anbauverfahren weitgehend optimiert war. Die Sorte 'Kalat' zeigte sich als eine Sorte, die für das Anbauverfahren mit maschineller Ernte deutlich geeigneter ist als die grüne Vergleichssorte und somit eine für die maschinelle Ernte geeignete Sorte repräsentierte. Die Erträge wurden durch Schneiden und Auswiegen repräsentativer Teilparzellen ermittelt. Beim Anbausystem Überkopf wurden die ganzen Salatköpfe von Hand geschnitten und auf dem Feld geputzt. Die Putzabfälle sind nicht in den Ertrag mit einberechnet. In den Anbausystemen Tropf offen und Tropf Mulch wurde der Salat zweimal maschinell geschnitten. Die gesamte abgeschnittene Masse konnte verwendet werden. Der Ertrag setzt sich zusammen durch die Addition des ersten und zweiten Schnittes.

## 3.3 Erträge und Erlöse

Die höchsten Erträge und somit Erlöse wurden bei dem Anbausystem Tropfbewässerung mit Mulchfolie und maschineller Ernte erzielt (**Tabelle 4**). Das System Tropfbewässerung offener Boden und maschinelle Ernte lag bei den Erträgen nur geringfügig unter denen der Variante mit Mulchfolie. Mit 139 kg/ha war der Ertrag des Systems Überkopfberegnung Einzelkopf Handernnte deutlich unter den Erträgen der beiden anderen Systeme mit 218 bzw. 227 kg/ha. Ursache war, dass im erstgenannten Systeme die Köpfe für die Bearbeitung geputzt werden mussten und somit Verluste auftraten.

**Tabelle 4: Erträge und Erlöse der Anbausysteme, Rohware, Mittelwerte der drei Anbausätze 2022, Salatsorte 'Kalat'.**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
Pflanzen je m <sup>2</sup> netto	17,5	30	30
Erträge in dt/ha netto	139	218	227
Erlöse bei 6,95 € je kg Salat €/ha	96605	151510	157765

## 3.4 Direktkosten

Die höchsten Direktkosten wies das System Tropf Mulch mit 19.653 € je ha auf aufgrund der Verwendung von einmal verwendbaren Tropfschläuchen und Mulchfolie sowie einer höheren Pflanzdichte von 30 Pflanzen je m<sup>2</sup> im Gegensatz zu 17,5 Pflanzen je m<sup>2</sup> bei der Überkopfvariante. Die Direktkosten beim Anbausystem Tropf offen



lagen geringfügig niedriger gegenüber Tropf Mulch, aber fast doppelt so hoch wie bei der Überkopfvariante (**Tabelle 5**). Hier schlagen ebenfalls die höheren Jungpflanzenkosten und die Kosten für den Tropfschlauch zu Buche.

**Tabelle 5: Direktkosten und Direktkostenfreie Leistung der Anbausysteme je ha, Salatsorte ‘Kalat’.**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
<b>Direktkosten davon</b>			
Jungpflanzen (0,055 € je Stück) €/ha	7719	13333	13333
<b>Düngung</b>			
Stickstoff kg N/ha	108	105	105
Haarmehlpellets 13,5 % N, (0,57€ je kg) €/ha	459	249	249
Vinasse 4,5 % N (0,49 € je kg) €/ha		471	471
Pflanzenschutz	0	0	0
<b>Berechnung</b>			
Wasser m <sup>3</sup> /ha	964	1471	1531
(Kosten bei 0,26 € je m <sup>3</sup> , Modell-Vollkostenkalkulation DLR 2022)	250	382	398
Tropfschlauch 56 000 m (0,054 € je lfdm) €/ha		3024	3024
Entsorgen Tropfschlauch (295 € je t) €/ha		85	85
Bioabbaubare Mulchfolie (0,155 €/m <sup>2</sup> ) €/ha			1555
Entsorgung bioabbaubare Folie (295 € je t) €/ha			59
Kisten Transport (1000 Stück – Annahme KTBL 0,77 € Umlauf) €/ha	770	770	770
Rückstandsuntersuchung (Modell-Vollkostenkalkulation, DLR 2022) €/ha	180	180	180
<b>Summe Direktkosten</b>	9378	18023	19653
<b>Direktkostenfreie Leistung</b>	87227	133487	138112

### 3.5 Variable Maschinenkosten und Pacht

Für die Berechnung der variablen Kosten wurden insbesondere die variablen Maschinenkosten, Pachten und Arbeitskosten berücksichtigt (**Tabelle 6**). Bei den variablen Maschinenkosten wurden für alle Anbausysteme ein pauschaler Satz veranschlagt. Dieser ergibt sich aus einem Mittelwert der Modell-Vollkostenkalkulation des DLR Rheinpfalz 2022 für den Anbau von Kopfsalat Herbst und den Anbau von Baby-Leaf-Salaten. Diese Entscheidung wurde getroffen, da sich die Anbauverfahren nur sehr geringfügig im Hinblick auf die variablen Maschinenkosten unterscheiden. Während im Überkopf System Kopfsalat in Einzelernte bei größeren Fläche üblicherweise mit einem Ernteband geerntet werden – im Betrieb Käßlein erfolgte dies aufgrund der kleinen

Flächen von Hand – entstehen auch hier variable Maschinenkosten, die sich in etwa mit den Kosten der maschinellen Ernte vergleichen lassen. Die Anbausysteme mit offenem Boden erfordern einen höheren Einsatz an maschineller Hacke, diesem stehen beim Anbausystem Mulch höhere variable Maschinenkosten für das Verlegen und Bergen der Folie entgegen. Der zweite Grund, auf eine betriebsbezogene Berechnung der variablen Maschinenkosten zu verzichten, war, dass die einzelnen Schlepper und Geräte mit den Daten der KTBL nur bedingt übereinstimmten und somit Näherungen hätten vorgenommen werden müssten. Dies gilt für die Geräte der Bodenbearbeitung.

**Tabelle 6: Variable Maschinenkosten, Pacht und Arbeitskosten der Anbausysteme je ha.**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
<b>Variable Spezialkosten davon</b>			
<b>Variable Maschinenkosten pauschal (Modell-Vollkostenkalkulation, DLR 2022) €/ha</b>	2500	2500	2500
<b>Pacht anteilig €/ha (bei Mehrfachschnitt verlängerte sich im Durchschnitt die Kulturzeit um 14 Tage)</b>	125	250	250
<b>Arbeitskosten davon</b>			
<b>Arbeitszeiten mit hoher Relevanz</b>			
<b>Pflanzung AKH/ha</b>	29	60	68
<b>Beikrautregulierung AKH/ha</b>	431	398	99
<b>Ernte AKH mit Rüstzeiten je 10 AKH/ha</b>	136	76	76
<b>Summe AKH/ha Pflanzung, Beikrautregulierung, Ernte</b>	596	534	243
<b>Kosten Stundenlohn 17 € SaisonAk deutsch SV*/ha</b>	10132	9078	4131
<b>Kosten Stundenlohn 25 € Fachkraft deutsch SV/ha</b>	14900	13350	6075
<b>Arbeitskosten davon</b>			
<b>Sonstige Arbeiten AKH/ha</b>			
<b>Bodenbearbeitung Kreiselegge, Scheibenegge, 3x Beetstriegel</b>	6,5	6,5	6,5
<b>Bodenprobe</b>	1	1	1
<b>Fräsen und Düngen</b>	7	7	7
<b>Feldhygiene nach der Ernte Scheibenegge 1x</b>	0,8	0,8	0,8
<b>Bewässerung</b>	Rohrberegnung	Tropfschläuche	Tropfschläuche
<b>Aufbau</b>	3,6	5,4	5,4
<b>Häufigkeit der Beregnung</b>	4x	13x	13x
<b>Beregnen</b>	1,8	7,2	7,2
<b>Abbau</b>	3,4	5,1	5,1
<b>Düngung flüssig Vinasse mit der Bewässerung</b>		2	2
<b>Vermarktung - Transport 40 Akh (pauschal DLR, 2022)</b>	40	40	40
<b>Summe AKH Sonstige Arbeiten/ha</b>	64,1	75	75
<b>Kosten Stundenlohn 17 € SaisonAk deutsch SV/ha</b>	1090	1275	1275
<b>Kosten Stundenlohn 25 € Fachkraft deutsch SV/ha</b>	1603	1875	1875

\*SV=sozialversicherungspflichtig

Die Pachtkosten für die Flächen des Betriebes betragen im Durchschnitt 250 € je ha und Jahr und sind vergleichsweise gering. Im Fall der Anbausysteme mit maschineller Ernte bei zweimaligem Schnitt wurden diese aufgrund der Kulturzeitverlängerung um 14 Tage von 43 Tagen auf 56 Tagen bei den Tropf Varianten vollständig in Anschlag gebracht und bei dem System Überkopf zur Hälfte berücksichtigt. Dies soll in vereinfachter Weise aufgrund der geringen entstehenden Kosten die höheren Kosten für die längere Belegungszeit darstellen.

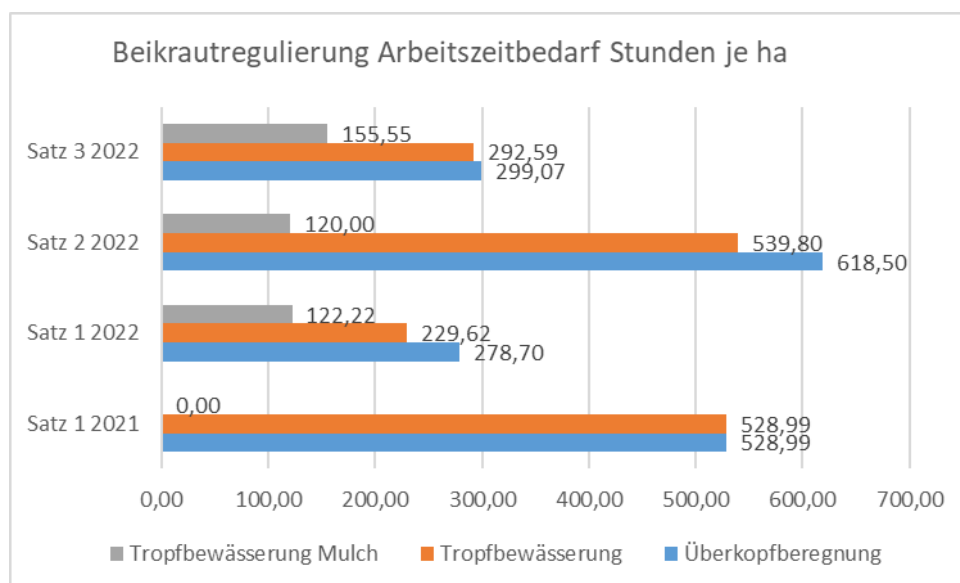
### 3.6 Arbeitskosten

Bei den Arbeitskosten sind die Tätigkeiten Pflanzung, Beikrautregulierung und Ernte die Positionen mit den höchsten Werten. Sie sollen näher erörtert werden.

#### Pflanzung

Der Arbeitszeitbedarf für die Pflanzung des Salates erhöht sich gegenüber dem Standardanbausystem Überkopf von 29 AKh je ha um das Doppelte bei der Pflanzung im System Tropf offen auf 60 AKh je ha. Die Gründe hierfür liegen in der höheren Pflanzenzahl, die gepflanzt werden, und der Auslegung der Tropfbewässerungsleitungen. Die Ausbringung der Mulchfolie zuzüglich der Tropfbewässerung während der Pflanzung ist noch etwas aufwändiger, so dass hier 68 AKh je ha benötigt werden.

#### Beikrautregulierung



**Abbildung 7: Arbeitszeitbedarf für die Beikrautregulierung in Abhängigkeit der unterschiedlichen Anbausysteme und Anbausätzen aus 2021 bzw. 2022.**

Der Arbeitszeitbedarf für die Beikrautregulierung war bei den jeweiligen Anbausystemen gemessen an den Werten aus der KTBL Datensammlung, 2017 für das Arbeitsverfahren ‚Ökologische Produktion von Kopfsalaten‘ vergleichsweise hoch. Zu begründen ist dies, dass bei Schnittsalaten (Convenience) keinerlei Beikrautbesatz toleriert werden kann. Den höchsten Arbeitszeitbedarf wies das System Überkopf auf, dicht gefolgt vom Anbausystem Tropf offener Boden (**Abbildung 7**). Eine Beikrautregulierung war ebenfalls beim Anbausystem Tropf Mulch erforderlich, da hier Beikräuter die Pflanzlöcher durchwuchsen und somit entfernt werden

mussten. Dennoch reduzierte sich der Arbeitszeitbedarf bei der Nutzung der Tropfbewässerung in Kombination mit der Mulchfolie (99 AKh je ha) auf 23% des Wertes der Variante Überkopf (431 AKH/ha) (**Tabelle 6**). Die jeweiligen Sätze unterschieden sich je nach Witterungsbedingungen erheblich in ihrem Arbeitszeitbedarf (**Abbildung 7**). Zum Vergleich der drei Sätze aus dem Jahr 2022 wurde auch ein vergleichbarer Satz aus dem Jahr 2021 hinzugezogen, um die Schwankungsbreite zu verdeutlichen.

## Ernte

Der Arbeitszeitbedarf für die Ernte konnte um ca. 50 % bei den Systemen Tropf offener Boden und Tropf Mulchen mit 76 AKH je ha bei maschineller Ernte gegenüber dem System Überkopf mit 136 AKH je ha bei Handernte reduziert werden und entsprach den Erwartungen, die durch die Einführung der Anbausysteme Tropf offen und Tropf Mulch erreicht werden sollten.

## Sonstige Arbeiten

Bei den sonstigen Arbeitsvorgängen waren ebenfalls Unterschiede bei den Arbeitsverfahren zur Verlegung der Bewässerung, der Düngung und Verlegung der Folien zu erwarten. Die Vorbereitung der Pflanzflächen sowie die Nachbearbeitung wiesen hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfes keine Unterschiede auf. Die Verlegung der Bewässerung erforderte im Auf- und Aufbau sowie durch einen im Durchschnitt häufigere erforderliche Beregnungsgänge und die Durchführung der Flüssigdüngung mit der Beregnung 11 zuzügliche Arbeitskraftstunden je ha gegenüber dem Überkopfsystem (**Tabelle 6**).

## Arbeitskosten gesamt

Die Arbeitskosten reduzieren sich beim Anbausystem Tropf Mulch auf 52 % der Kosten des Anbausystems Überkopf (**Tabelle 7**). Im Gegensatz hierzu ist die Einsparung der Arbeitskosten beim System Tropf offen mit 8 % relativ gering. Die Einsparung von Arbeitskosten bei der Ernte durch einen Maschineneinsatz fallen im Vergleich zu den erforderlichen Kosten bei der Beikrautregulierung durch einen offenen Boden nicht so stark in das Gewicht. Das System Tropfbewässerung Mulch schneidet hier deutlich besser ab.

**Tabelle 7: Arbeitskosten der Anbausysteme je ha bei zwei Stundenlohnsätzen und prozentuale Einsparung gegenüber dem Standard-Anbausystem Überkopf**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
Arbeitskraftstunden je ha gesamt h/ha	660	609	318
Kosten Stundenlohn 17 € SaisonAk deutsch SV*/ha	11222	10353	5407
Kosten Stundenlohn 25 € Fachkraft SV*/ha	16503	15225	7905
Prozentuale Einsparung Gegenüber Standard Überkopf		8	52

\*SV=sozialversicherungspflichtig

## 3.7 Fixe Maschinenkosten

Zur Bewirtschaftung von Gemüseflächen sind im landwirtschaftlichen Betrieb einige Spezialmaschinen erforderlich. Hierzu zählen in der Regel ein Spezialschlepper mit Kriechgang, ein Transportwagen, bei

Pflanzkulturen die Pflanzmaschine, Geräte zur Beikrautregulierung und gegebenenfalls Erntemaschinen. Für diese Maschinen und Geräte wurden für die jeweiligen Anbausysteme Fixe Maschinenkosten zusammengestellt. Hierzu wurden Werte für die Kosten aus der Modell-Vollkostenkalkulation des DLR 2022 für einen Schlepper, eine Pflanzmaschine und einen Transportwagen entnommen. Die Kosten für die Pflanzmaschine Typ Ferrari und der Erntemaschine Ortomec im Anhängenanbau wurden aus den Investitionskosten des Betriebes errechnet. Und die fixen Maschinenkosten für eine Gänsefußhacke vierreihig stammen aus der KTBL Datensammlung Gemüsebau, 2017. Die Zuhilfenahme von Datensammlungen bzw. der Modell-Vollkostenkalkulationen wurden vorgenommen, da die Anschaffungskosten der im Betrieb eingesetzten Maschinen aufgrund der langen Nutzungsdauer der Geräte nicht mehr aktuell bzw. nicht immer verfügbar waren. Beim Standardverfahren Überkopf und dem Anbausystem Tropf offener Boden wurde anstelle der im Betrieb verwendeten Pflanzmaschine Ferrari zur Berechnung der Fixkosten eine einfache Bänderpflanzmaschine zugrunde gelegt, da diese erheblich geringeren Investitionskosten mit 8000 € gegenüber 44000 € für eine Pflanzmaschine mit der Funktion zur Mulchfolienverlegung aufweist.

**Tabelle 8: Fixe Maschinenkosten der Spezialmaschinen für die Anbausysteme je ha bei einem kalkulierten Maschineneinsatz auf jeweils 10 ha**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
<b>Fixe Maschinenkosten – Spezialmaschinen davon (kalkuliert bewirtschaftete Flächen 10 ha) in €/ha</b>			
Schlepper (Modell-VollkostenKalkulation, DLR 2022)	900	900	900
Pflanzmaschine 5-reihig (Modell-VollkostenKalkulation, DLR 2022)	120	120	
Transportwagen (Modell-VollkostenKalkulation, DLR 2022)	180	180	180
Pflanzmaschine Ferrari (Betriebsbezogene Angaben)			456
Ortomec-Erntemaschine angehängt (Betriebsbezogene Angaben )		660	660
Hackmaschine Gänsefußschar 4 reihig (Datensammlung KTBL, 2017)	84	84	
<b>Fixe Maschinenkosten Bodenbearbeitung in € je ha (Datensammlung KTBL, 2017)</b>	254	254	254
<b>Summe fixe Maschinenkosten - Spezialmaschinen € je ha</b>	1284	1944	2196

Aufgrund der maschinellen Beerntung der Salate entstehen bei Berücksichtigung der Abschreibung, Verzinsung und der Reparaturkosten zusätzliche jährliche Kosten von 660 € je Jahr und ha bei einem Maschineneinsatz der Erntemaschine auf 10 ha gerechnet (**Tabelle 8**). In der Variante Tropf Mulch kommen noch Kosten für eine Pflanzmaschine mit Mulchfolienverlegung hinzu. Die Differenz der Maschinenkosten liegt bei 336 € je Jahr und ha im Vergleich zum Anbausystem Überkopf und Tropf offen. Insgesamt treten bei Tropf Mulch mit 2196 € je ha und Jahr die höchsten Maschinenfixkosten auf, bei Überkopf mit 1284 € die niedrigsten und das System Tropf Mulch liegt mit 1944 € je ha und Jahr dazwischen.

### 3.8 Direkt- und Arbeiterledigungskosten sowie Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung

Ergebnis der betriebswirtschaftlichen Bewertung ist, dass die Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) bei einem Erlös von 6,95 € je kg Rohware Salat im Anbausystem Tropf Mulch am höchsten liegt (**Tabelle 9**). Sie beträgt je nach kalkulatorischem zugrunde gelegtem Stundenlohn von 17 € (Die Arbeiten werden ausschließlich von sozialversicherten Saisonarbeitskräften vorgenommen.) 127 506 € ja ha bzw. bei 25 € Stundenlohn 124 962 € je ha (Die Arbeiten werden ausschließlich von Fachkräften, d.h. Gesellen\*innen in den ersten Berufsjahren vorgenommen). Zu beachten bei diesen Ergebnissen ist, dass keine Vermarktungskosten berücksichtigt wurden, da die Vermarktungsformen bzw. damit verbunden auch die Vermarktungskosten sehr betriebsindividuell sind. Die Vermarktungskosten können eine Spanne von 6 bis 15 % des Erlöses betragen. Ebenso fehlt die Verzinsung des eingesetzten Kapitals, da auch dies sehr betriebsindividuell ist. Die jeweiligen Kosten würden üblicherweise mit Zinskosten zu einem Zinssatz von 4-6 % belastet werden. Die DAKfL Tropf Mulch übertrifft das Anbausystem Überkopf um das Doppelte. Das System Tropf offener Boden weist einen um 11.648 € geringeren Wert gegenüber dem System Tropf Mulch bei einem Stundenlohn von kalkulatorisch 25 € auf.

**Tabelle 9: Summe Kosten und Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung der Anbausysteme für den ökologischen Anbau von Convenience Salat (Rohware) je ha bei zwei unterschiedlichen Lohnniveaus**

Parameter	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch
Summe Direktkosten/ha	9378	18023	19653
Summe Arbeitskosten (17 € je h)/ha	11222	10353	5407
Summe Arbeitskosten (25€ je h)/ha	16503	15225	7905
Summe Pacht/variable Maschinenkosten/ha	2625	2750	2750
Summe fixe Maschinenkosten/ha	1438	2298	2350
Summe Kosten (17 € je h) je ha	24663	33424	30160
Summe Kosten (25 € je h) je ha	29944	38296	32658
Erträge in dt/ha netto	139	218	227
Einzelkostenfreie Leistung in € 17 € Saison-AK SV/ha	71842	118186	127506
Einzelkostenfreie Leistung in € 17 € Saison-AK SV/kg Salat	5,17	5,42	5,62
Einzelkostenfreie Leistung in € 25 €/ha Fachkraft SV/ha	66562	113314	124962
Einzelkostenfreie Leistung in € 25 €/ha Fachkraft SV/kg Salat	4,79	5,20	5,50

Der Grund für das sehr gute Abschneiden der Anbausysteme mit maschineller Ernte sind deutlich höhere Erträge der Anbausysteme mit zweitem Schnitt und maschineller Ernte, Tropf offener Boden und Tropf Mulch genannt, gegenüber dem Standard Überkopf mit Einzelkopernte. Dies führt zu steigenden Erlösen. Die erzielbaren Preise (Quelle: Preisnennung Roland Käpplein, persönliche Mitteilung) sind in der ökologischen

Produktion von Rohware Convenience Salaten im Vergleich zu Preisen für Baby-Leaf-Salaten und Schnittsalaten in integrierter Produktion um ein Mehrfaches höher.

Die gesteigerten Erträge in Zusammenhang mit hohen Erlösen kompensieren die vermehrten Kosten der Anbausysteme Tropf offener Boden und Tropf Mulch. Entscheidend für die Kosten der Systeme Tropf Mulch und Tropf offener Boden sind zum einen die Direktkosten aufgrund der höheren Pflanzdichte für die Jungpflanzen. Sie betragen 13 333 € je ha gegenüber von 7719 € bei dem Anbausystem Überkopf. Wesentlich sind zum anderen die Kosten für die Tropfbewässerung. Beim System Tropf Mulch kommen noch die Kosten für die bioabbaubare Mulchfolie hinzu. Die Arbeitskosten für die Ernte werden durch den Maschineneinsatz um fast 50% relativ vermindert, diese entspricht 60 AKh. Im System Tropf offener Boden verminderten sich die Arbeitskosten kaum gegenüber der Überkopfvariante. Grund war hier der hohe Arbeitskraftbedarf für die Beikrautregulierung. Diese könnte sowohl in der Überkopf Variante als auch im System Tropf offener Boden durch den Einsatz effizienter Hacktechnik mit der Möglichkeit, innerhalb der Reihe zu hacken, vermindert werden. Hier stehen jedoch wiederum die Investitionskosten entgegen, die zu höheren Maschinenkosten führen und den Maschineneinsatz nur bei hoher flächenmäßiger Auslastung sinnvoll machen. Das Anbausystem Tropf Mulch wies immer noch einen Arbeitskraftbedarf für die Beikrautregulierung auf, lag jedoch ca. 50 % unter dem des Anbausystems Überkopf. Die Ersparnis bei den Arbeitskosten im System Tropf Mulch kompensierte jedoch nicht die höheren erforderlichen Direktkosten sowie die fixen Maschinenkosten, so dass das System Tropf Mulch höhere Kosten als die Überkopfvariante aufwies. Die höchsten Kosten aufgrund der Arbeitskosten für die Beikrautregulierung und vermehrten Direktkosten für Jungpflanzen sowie Tropfschläuche wies das System Tropf offen auf. Die DAKIL lag damit unter der des Systems Tropf Mulch (**Tabelle 9**).

### 3.9 Fazit

Die ökonomische Bewertung der Anbausysteme hatte zum Ergebnis, dass die Anbausysteme Einsatz von Tropfbewässerung entweder mit offenem Boden oder mit Mulchfolien bei jeweils maschineller Ernte im Hinblick auf die Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung je ha besser abschnitten als das bisherige Standardanbausystem Überkopfberegnung mit Handernte. Durch die jeweiligen höheren Erträge gegenüber dem Standard wurden ebenfalls höhere Erlöse erzielt, die die vermehrten Kosten für Jungpflanzen, Tropfschläuche bzw. Mulchfolie je ha ausglich. Die verminderten Arbeitskosten bei der maschinellen Ernte, im Falle des Anbausystems Tropf Mulch auch bei der Beikrautregulierung kompensierten nicht die höheren Direktkosten bzw. die vermehrten fixen Maschinenkosten je ha. Das Anbausystem mit den höchsten zurechenbaren Kosten war Tropf offener Boden unter anderem durch den hohen Bedarf an Arbeitszeit zur Beikrautregulierung. Die Standard Überkopfvariante verursachte je ha die geringsten Kosten, wies jedoch den höchsten Arbeitszeitanspruch auf. Bezogen auf ein kg Rohware Salat gilt ebenfalls die Aussage, dass die Anbausysteme Tropf offener Boden und Tropf Mulch im Hinblick auf die Direktkosten- und Arbeiterledigungskostenfreie Leistung besser abschnitten als das Standardsystem Überkopf, wobei das System Tropf Mulch das Ergebnis von Tropf offener Boden noch um 20 bzw. 30 cent je kg übertraf. Die längere Belegungszeit der Fläche bei den Systemen Tropf offener Boden und Tropf Mulchfolie belief sich im Durchschnitt bei den angebauten Sätzen auf 14 Tage. Dies ist ein Zeitraum, der in Bezug auf umlegbaren

Gemeinkosten oder entgangenem Nutzen durch eine nicht angebaute, weitere Kultur aufgrund der Kürze zu vernachlässigen ist bzw. ausschließlich über die anteiligen Pachtkosten berücksichtigt wurde.



## 4 Ökobilanzierung

### 4.1 Methodische Grundlagen

Die Ökobilanzierung ist ein Instrument zur Einschätzung von ökologischen Wirkungen von Produkten und Dienstleistungen über deren gesamten Lebensweg hinweg. Mit Hilfe der Ökobilanz können zum Beispiel Produkte und Dienstleistungen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen miteinander verglichen oder Möglichkeiten zur Verbesserung ihrer Umweltwirkungen in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges aufgezeigt werden. Sowohl Entscheidungsträger in Politik und Industrie als auch Privatpersonen können die Ergebnisse einer Ökobilanz in ihre Entscheidungsfindung bzw. in ihrem Konsumverhalten nutzen.

Für die Erstellung von Ökobilanzen gibt es verschiedene international festgelegte Standards. Auch unterscheiden sich Ökobilanzen in ihrem Umfang. In der vorliegenden Studie wurde eine sogenannte Übersichtsökobilanz durchgeführt. Diese weniger aufwendige Form der Ökobilanzierung fokussiert sich inhaltlich darauf, die für den Systemvergleich entscheidenden Parameter im Detail zu erfassen und weniger relevante Parameter nur überschlägig zu bestimmen. Die Durchführung erfolgte angelehnt an die internationalen Normen für Produkt-Ökobilanzen (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006). Es wurde allerdings keine ISO-konforme Ökobilanz durchgeführt, da für diese unter anderem ein externes Review notwendig gewesen wäre. Gemäß der ISO-Norm erfolgt eine Ökobilanz in vier Stufen:

- 1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens: Das Ziel gibt die beabsichtigte Anwendung, die Gründe für die Durchführung der Studie und die anzusprechende Zielgruppe an. Der Untersuchungsrahmen beschreibt die zu untersuchenden Produktsysteme mit ihren Prozessmodulen und Systemgrenzen. Außerdem wird die funktionelle Einheit festgelegt, mit welcher Systeme verglichen werden können.
- 2) Erstellung der Sachbilanz: Hier werden die Prozessmodule im Detail beschrieben und die jeweiligen Inputs und Outputs sowie die dazugehörigen Emissionen und Ressourcenaufwendungen ermittelt. Außerdem wird die Herkunft der Daten beschrieben.
- 3) Wirkungsabschätzung: In dieser Stufe der Ökobilanz werden die Emissionen und Ressourcenaufwendungen zu sogenannten Wirkungskategorien zusammengefasst und dargestellt. Dabei werden die Prozessmodule separat ausgewiesen, um deren Einfluss auf das Gesamtergebnis aufzeigen und die Produktsysteme im Detail miteinander vergleichen zu können.
- 4) Auswertung: Im letzten Abschnitt der Ökobilanz werden die Ergebnisse interpretiert und diskutiert. Dabei wird beispielsweise der Einfluss von Unsicherheiten in den Datengrundlagen oder methodischen Festlegungen auf das Ergebnis diskutiert. Auch werden die Ergebnisse mit ähnlichen Arbeiten anderer Autoren verglichen. Am Ende werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen gegeben.

### 4.2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Ziel der vorliegenden Studie ist der Vergleich der Umweltwirkungen der drei Anbausysteme für Schnittsalat, die im Projekt ERAC entwickelt und in Exaktversuchen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser ökologischen

Bewertung sollen gemeinsam mit der pflanzenbaulichen und der ökonomischen Bewertung als Entscheidungshilfe für Betriebe in der ökologischen Landwirtschaft dienen. Die zu vergleichenden Anbausysteme umfassen alle Arbeitsgänge des Salatbaus von der Bodenbearbeitung bis zur Ernte. Die Ökobilanz fokussiert insbesondere auf die Anbauparameter, bei denen sich die Anbausysteme unterscheiden. Dies sind im Wesentlichen die Bewässerung, die Düngung, die Unkrautkontrolle sowie die Ernte. Die Unterschiede sind in **Tabelle 10** dargestellt. Als einziges Produkt entsteht geschnittener Salat am Feldrand, wodurch eine Allokation für Koppelprodukte bzw. Abfälle entfällt. Als funktionelle Einheit wurde in dieser Studie 1 kg marktfähige Ware festgelegt. Dies erlaubt es die Erträge der Anbausysteme mit einzubeziehen. Nicht berücksichtigt wird die Anzucht der Setzlinge, die Nutzung von Ernterückständen, sowie die Verarbeitung der Erträge, da diese Bereiche für alle Anbausysteme gleich sind. Die Umweltwirkungen bei der Herstellung der Landmaschinen sowie der Betriebs- und Lagerstätten wurde ebenfalls nicht berücksichtigt.

**Tabelle 10: Sich unterscheidende Parameter der Anbausysteme**

System	Bewässerung	Düngung	Unkrautkontrolle	Ernte
Überkopf	Überkopfberegnung	Haarmehlpellets	Maschin. Hacke + Jäten	1x von Hand
Tropf offen	Tropfbewässerung	Haarmehlpellets + Vinasse	Maschin. Hacke + Jäten	2x maschinell
Tropf Mulch	Tropfbewässerung	Haarmehlpellets + Vinasse	Mulchfolie + Jäten	2x maschinell

Auf Grundlage dieser Parameter wurden vier Ökobilanz-Wirkungskategorien als besonders relevant eingestuft. Diese sind in **Tabelle 11** dargestellt. Zusätzlich wurden der Wasser- und der Flächenbedarf berechnet. Für die Wirkungsabschätzung wurden die Methoden festgelegt, die im Environmental Footprint (EF) 2.0 (European Union 2013) empfohlen werden. In der Wirkungskategorie Treibhauspotential werden alle klimawirksamen Gase zusammengefasst. Diese führen in der Atmosphäre zu einer Veränderung der Strahlungsbilanz und damit zu einer Erhöhung der Temperatur. Der kumulierte Energieaufwand umfasst sowohl den direkten als auch den indirekten Energiebedarf aus vorgelagerten Prozessen, wie Energiegewinnung, -umwandlung und -verteilung. Bei der Eutrophierung werden Stoffe zusammengefasst, die zu einer Überdüngung von Ökosystemen führen. Die terrestrische Eutrophierung ergibt sich aus gasförmigen Emissionen – insbesondere Ammoniak und Stickoxide – die über die Luft transportiert werden und sich über natürlichen Ökosysteme absetzen. Durch diese Überdüngung werden nährstoffliebende Pflanzen bevorzugt, was zu einer Gefährdung der biologischen Vielfalt führen kann. Aquatische Eutrophierung entsteht überwiegend durch die Auswaschung von Nitrat und die Abschwemmung von löslichen Phosphorverbindungen. Der Eintrag dieser Nährstoffe führt in den Gewässern zu einem erhöhten Algenwachstum, was wiederum zu einem Verlust der Biodiversität führen kann.

**Tabelle 11: Wirkungskategorien dieser Ökobilanz**

Wirkungskategorie	Abkürzung	Einheit
Treibhauspotential	GWP	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Kumulierter Energieaufwand	KEA	MJ-Äquivalente
Terrestrische Eutrophierung	TE	mol N-Äquivalente
Aquatische Eutrophierung	AE	kg P-Äquivalente

### 4.3 Sachbilanz

Im Bereich der Sachbilanz wurden im ersten Schritt die Erträge, Art und Menge von Betriebsmitteln sowie Nitrat-Auswaschung, Bewässerungsmenge und Flächenbedarf je Hektar Anbaufläche aus den Exaktversuchen des Projektes ERAC abgeschätzt. Dabei wurden Mittelwerte der drei Sätze des Anbaujahres 2022 gebildet, in denen die Anbausysteme am weitesten entwickelt und optimiert waren. Als weiterer Output wurden gasförmige Emissionen durch Düngung mittels Literaturwertem ermittelt. Die Inputs und Outputs sind in **Tabelle 12** dargestellt. Im zweiten Schritt wurden die Inputs und Outputs durch die Erträge geteilt, um auf die funktionelle Einheit von 1 kg Salat zu kommen. Diese Ergebnisse sind in **Tabelle 13** dargestellt.

**Tabelle 12: Inputs und Outputs der Anbausysteme je Hektar**

Input/Output	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch	Einheit
Ertrag (markfähige Ware)	13,9	21,8	22,7	t × ha <sup>-1</sup>
Diesel für Anbau	131	135	113	kg × ha <sup>-1</sup>
Diesel für Bewässerung	228	212	216	kg × ha <sup>-1</sup>
Vinasse	0	962	962	kg × ha <sup>-1</sup>
Haarmehlpellets	805	436	436	kg × ha <sup>-1</sup>
Bewässerungsschlauch	78	289	289	kg × ha <sup>-1</sup>
Mulchfolie	0	0	200	kg × ha <sup>-1</sup>
Nitrat-N (NO <sub>3</sub> -N)-Auswaschung	40	24	20	kg × ha <sup>-1</sup>
Lachgas (N <sub>2</sub> O)-Emissionen	1,71	1,65	1,65	kg × ha <sup>-1</sup>
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )-Emissionen	2,16	1,17	1,17	kg × ha <sup>-1</sup>
Bewässerungsmenge	964	1471	1531	m <sup>3</sup> × ha <sup>-1</sup>
Bewässerungszeit	23	22	22	h × ha <sup>-1</sup>
Flächenbedarf	43	56	56	ha × Tage

**Tabelle 13: Inputs und Outputs der Anbausysteme je kg Salat**

Input/Output	Überkopf	Tropf offen	Tropf Mulch	Einheit
Ertrag (markfähige Ware)	1	1	1	kg
Diesel für Anbau	0,0094	0,0062	0,0050	kg × kg <sup>-1</sup>
Diesel für Bewässerung	0,0164	0,0098	0,0095	kg × kg <sup>-1</sup>
Vinasse	0,0000	0,0441	0,0424	kg × kg <sup>-1</sup>
Haarmehlpellets	0,0578	0,0200	0,0192	kg × kg <sup>-1</sup>
Bewässerungsschlauch	0,0056	0,0133	0,0128	kg × kg <sup>-1</sup>
Mulchfolie	0,0000	0,0000	0,0088	kg × kg <sup>-1</sup>
Nitrat-N (NO <sub>3</sub> -N)-Auswaschung	0,0029	0,0011	0,0009	kg × kg <sup>-1</sup>
Lachgas (N <sub>2</sub> O)-Emissionen	0,000123	0,000076	0,000073	kg × kg <sup>-1</sup>
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )-Emissionen	0,000155	0,000054	0,000052	kg × kg <sup>-1</sup>
Bewässerungsmenge	0,0693	0,0675	0,0676	m <sup>3</sup> × kg <sup>-1</sup>
Bewässerungszeit	0,0017	0,0010	0,0010	h × kg <sup>-1</sup>
Flächenbedarf	0,0031	0,0026	0,0025	ha × Tage × kg <sup>-1</sup>

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Erstellung der Sachbilanz für die einzelnen Prozessmodule separat beschrieben und die Unterschiede innerhalb der Anbauverfahren erläutert.

## Erträge und Flächenbedarf

Die Erträge wurden durch Schneiden und Auswiegen repräsentativer Teilparzellen ermittelt. Von den zwei verwendeten Salatsorten wurden nur die Erträge der roten Sorte „Kalat“ verwendet, da diese aufgrund ihres Wuchsverhaltens dem optimalen Anbausystem am nächsten kommt. Beim Anbausystem Überkopf werden die ganzen Salatköpfe von Hand geschnitten und auf dem Feld geputzt. Die Putzabfälle wurden nicht in den Ertrag mit einberechnet. In den Anbausystemen Tropf offen und Tropf Mulch wird der Salat zweimal maschinell geschnitten. Die gesamte abgeschnittene Masse kann verwendet werden. Der Ertrag setzt sich durch Addition des ersten und zweiten Schnittes zusammen. Insgesamt entstehen durch den zweimaligen Schnitt der Anbausysteme Tropf offen und Tropf Mulch deutlich höhere Erträge.

Der Flächenbedarf errechnet sich aus der Zeit zwischen Pflanzung und Ernte, in der die Fläche durch den Salat belegt ist und somit keiner anderen Nutzung zur Verfügung steht. Beim Anbausystem Überkopf steht der Salat im Durchschnitt 43 Tage auf dem Feld und wird dann vollständig geerntet. Das Feld kann daraufhin neu bepflanzt werden. Die Anbausysteme Tropf offen und Tropf Mulch haben dagegen eine längere Standzeit von im Durchschnitt 56 Tagen, da der Salat nach dem ersten Schnitt nachwächst und ein zweiter Schnitt erfolgt.

## Diesel für Anbau

Die Arbeitsgänge der Anbauverfahren wurden den Ackerschlagkarteien des Betriebes entnommen. Mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners (KTBL 2022) wurde der Dieserverbrauch in Liter pro Hektar ermittelt. Dieser Wert wurde mit der Dichte von 0,835 kg/l (DIN EN 590:2022-05) in Kilogramm pro Hektar umgerechnet. Den größten Anteil am Dieserverbrauch hat die Bodenbearbeitung vor und nach der Standzeit des Salates, die in allen Anbauverfahren gleich ist. Auch das Fräsen in Kombination mit der Düngung mit Haarmehlpellets sowie die Pflanzung in Kombination mit dem Verlegen von Mulchfolie und Bewässerungsschlauch sind in allen Anbauverfahren gleich. Relevante Unterschiede zwischen den Verfahren lagen bei der Unkrautbekämpfung und bei der Ernte. Bei der Unkrautbekämpfung hatte das System mit Mulchfolie keine maschinellen Hackgänge, sondern nur händisches Jäten, während die beiden Systeme ohne Mulchfolie gemischt maschinell gehackt und händisch gejätet wurden. Die Ernte erfolgte bei dem System mit Überkopfberegnung von Hand, während bei den Systemen mit Tropfbewässerung die Schneidemaschine zweimal zum Einsatz kam.

## Diesel für Bewässerung und Bewässerungsmenge

Der Dieserverbrauch für die Bewässerung wurde durch Multiplikation des Dieserverbrauchs des Traktors beim Antrieb der Pumpe und der Bewässerungszeit errechnet. Für die Bewässerung verwendete der Betrieb Wasser aus einem Brunnen auf dem Betriebsgelände. Um das Wasser zu fördern, zum Feldrand zu pumpen und einen gewissen Druck im Leitungssystem bereitzustellen, der ausreicht, um etwa 1 ha Fläche gleichzeitig zu bewässern, wird eine Pumpe mit der Zapfwelle eines Traktors mit 90 PS bei relativ hoher Leistung angetrieben. Der Verbrauch des Traktors wurde durch den Betriebsleiter bestimmt. In den Versuchen wurde die

Bewässerungszeit und die Bewässerungsmenge der einzelnen Anbausysteme gemessen. Die Bewässerungsmenge ist in den Anbausystemen mit Tropfbewässerung höher als bei der Überkopfberegnung, da über eine längere Standzeit der Salate hinweg bewässert werden muss. Da die Bewässerungsverfahren jedoch unterschiedliche Durchflussraten haben, sind alle drei Systeme ähnliche Bewässerungszeiten, um die Wassermengen auszubringen. Daher sind in diesem Fall die Dieserverbräuche abhängig von der Bewässerungszeit und nicht von der Bewässerungsmenge.

### Vinasse und Haarmehlpellets

Die Mengen an Vinasse und Haarmehlpellets wurden den Ackerschlagkarteien des Betriebes entnommen. Im System mit Überkopfberegnung wurde die volle N-Düngemenge von im Mittel 108 kg/ha in Form von Haarmehlpellets vor der Pflanzung gedüngt. Bei den Varianten mit Tropfbewässerung wurden 50% vor der Pflanzung als Haarmehlpellets und 50% verteilt auf vier Einzelgaben mit Vinasse gedüngt.

### Bewässerungsschlauch und Mulchfolie

Die Menge an Bewässerungsschlauch und Mulchfolie wurde aus betrieblichen Angaben abgeschätzt. Die Schläuche für die Überkopfbewässerung hatten ein Gewicht von 140 g/m. Hier wurde von einer achtmaligen Nutzung (3-5 Jahren mit zwei Sätzen im Jahr) ausgegangen. Bei den Tropfschläuchen handelte es sich um Netafim Streamline Plus™ 16080 mit einem Gewicht von 10,3 g/m. Hier wurde von einer zweimaligen Nutzung ausgegangen. Die Mulchfolie hatte ein Gewicht von 20g/m<sup>2</sup> und es wurde eine einmalige Nutzung angenommen.

### Nitrat-Auswaschung

Die Nitrat (NO<sub>3</sub>)-Auswaschung wurde aus N<sub>min</sub>-Gehalten berechnet. In den Versuchen wurden N<sub>min</sub>-Gehalte zur Ernte in 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe bestimmt. Es wurde angenommen, dass lediglich die N<sub>min</sub>-Mengen in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) von der Folgekultur aufgenommen werden können, während die Mengen in der tieferen Schicht (30-60 cm) früher oder später von Sickerwasser ausgewaschen und in Oberflächengewässer eingetragen werden. Bei der Bildung des Mittelwertes wurde ein Satz des Jahres 2022 nicht berücksichtigt, da hier ein unerklärbar hoher Wert das Ergebnis stark beeinträchtigt hätte.

### Lachgas- und Ammoniak-Emissionen

Die Höhe der gasförmigen Emissionen durch Düngung wurde mit Faustzahlen aus der Literatur berechnet. Die klimaschädlichen Lachgas (N<sub>2</sub>O)-Emissionen wurden unabhängig von der Düngequelle anteilig an der in den Düngemitteln enthaltenen Gesamtstickstoffmenge berechnet. Der Wert liegt bei 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N (kg N)<sup>-1</sup> (Vos et al. 2022). Die für die terrestrische Eutrophierung relevanten Ammoniak (NH<sub>3</sub>)-Emissionen wurden dagegen nur durch die Ausbringung von Haarmehlpellets angenommen, da es hier zu Luftkontakt kommt. Die Berechnung erfolgte analog zur Berechnung der Ammoniak-Emissionen bei der Ausbringung von Rindermist. Hier werden die Emissionen je nach Ausbringungstechnik anteilig am Ammonium-Stickstoff-Gehalt am Gesamtstickstoff (TAN) berechnet. Für den TAN von Haarmehlpellets wurde der Wert 3,62% (Möller 2018) verwendet. Die anteiligen Emissionen wurden analog zu denen von Rindermist nach Ausbringung mit dem Breitverteiler und

Einarbeitung binnen maximal 4 Stunden mit dem Wert von 0,45 kg NH<sub>3</sub>-N/kg TAN (Vos et al. 2022) angenommen.

#### 4.4 Wirkungsabschätzung

Für alle Inputs wurden Datensätze aus den Ökobilanz-Datenbanken GaBi (Sphera Solutions), Ecoinvent (Ecoinvent) oder der Datenbank des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu) (Haertlé und Gärtner 2022) bezogen. Diese sind in **Tabelle 14** aufgeführt. In den Datensätzen aus GaBi und Ecoinvent waren die Umweltwirkungen bereits nach den Methoden des EF 2.0 (European Union 2013) berechnet und somit in den Zieleinheiten der Wirkungskategorien (**Tabelle 11**) vorhanden. Bei den Datensätzen des Ifeu-Instituts war dies bei der terrestrischen (TE) und aquatischen Eutrophierung (AE) nicht der Fall. Bei der TE wurden die relevanten Emissionen aus der Sachbilanz mittels der Charakterisierungsfaktoren aus dem Datenpaket des EF 2.0 (European Commission) in die Zieleinheit mol N-Äquivalente umgerechnet. Bei der AE wurden die Umweltwirkungen von der Einheit Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)-Äquivalente stöchiometrisch in die Zieleinheit Phosphor (P)-Äquivalente umgerechnet.

**Tabelle 14: Datensätze zur Wirkungsabschätzung**

Input	Datensatz	Datenbank
Diesel, Herstellung	Diesel mix at filling station - EU-28	GaBi
Diesel, Verbrennung	Universal Tractor – GLO	GaBi
Vinasse	Vinasse (50% TM)	ifeu-Institut
Haarmehlpellets	horn meal production	Ecoinvent
Bewässerungsschlauch	polyethylene production, high density, granulate, RER	Ecoinvent
Mulchfolie	Mulchfolie, bioabbaubar	ifeu-Institut

Die Nitratauswaschungen und die gasförmigen Emissionen aus der Düngung wurden mit Literaturwerten in die Zieleinheiten der Wirkungskategorien umgerechnet. Die Nitratauswaschung wurde mit dem Faktor von 0,42 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Äq./kg NO<sub>3</sub>-N (Heijungs et al. 1992) in die Einheit Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)-Äquivalente und stöchiometrisch in die Zieleinheit Phosphor (P)-Äquivalente der AE umgerechnet. Die Lachgas-Emissionen wurden mit dem Faktor von 265 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kg N<sub>2</sub>O (IPCC 2014) in die Zieleinheit CO<sub>2</sub>-Äquivalente des Treibhauspotentials umgerechnet. Die Ammoniak-Emissionen wurden mit dem Charakterisierungsfaktor für Deutschland aus dem Datenpaket des EF 2.0 (European Commission) in die Zieleinheit mol N-Äquivalente der TE umgerechnet.

##### 4.4.1 Treibhauspotential

Das Treibhauspotential (GWP) wird am stärksten durch den Dieserverbrauch bestimmt (**Abbildung 8**). Die Emissionen beim Anbausystem Überkopf sind besonders hoch, da hier der Ertrag am geringsten ist und pro kg Salat mehr Diesel eingesetzt werden muss. Der Bewässerungsschlauch trägt ebenfalls zu hohen Emissionen bei. Beim Anbausystem Überkopf sind diese deutlich geringer, da hier die Schläuche mehrere Jahre eingesetzt werden können. Beim Anbausystem Tropf Mulch tragen die Emissionen bei der Herstellung der Mulchfolie noch zu deutlichen Emissionen bei. Auch die gasförmigen Emissionen tragen einen hohen Anteil zu den Emissionen bei. Hier handelt es sich um Lachgasemissionen aus der Düngung. Auch hier ist der Effekt zu sehen,

dass der Ertrag beim Anbausystem Überkopf deutlich geringer ist und damit die gasförmigen Emissionen hier besonders hoch sind. Auffallend ist, dass sowohl die Herstellung von Vinasse als auch die von Haarmehlpellets kaum nennenswerte Emissionen beitragen. Dies liegt daran, dass es sich bei diesen Düngemitteln um Neben- bzw. Abfallprodukte der Fleisch- bzw. der Zuckergewinnung handelt und die Emissionen weitgehend der Tierproduktion bzw. dem Zuckerrübenanbau angelastet werden. Auch werden geringe Transporte benötigt, weil die organischen Düngemittel regional verfügbar sind. In der Gesamtbetrachtung wird deutlich, dass das Anbausystem Tropf offen mit 107 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Salat die geringsten Emissionen und somit die beste Klimabilanz hat. Durch den Verzicht auf Mulchfolie bzw. die höheren Erträge ist das Anbausystem Tropf offen gegenüber Tropf Mulch (132 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Salat) und Überkopf (139 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro kg Salat) im Vorteil.

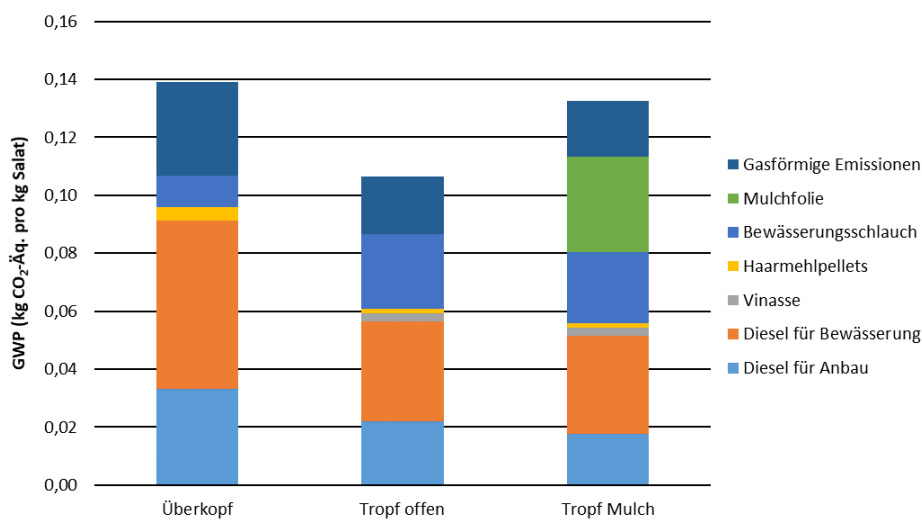


Abbildung 8: Beiträge der Inputs und Outputs zum Treibhauspotential

#### 4.4.2 Kumulierter Energieaufwand

Wie in der Wirkungskategorie Klimawandel ist auch in der Wirkungskategorie kumulierter Energieaufwand (KEA) der Diesel für den Anbau und für die Bewässerung der Haupttreiber, gefolgt von den Bewässerungsschläuchen und der Mulchfolie (**Abbildung 9**).

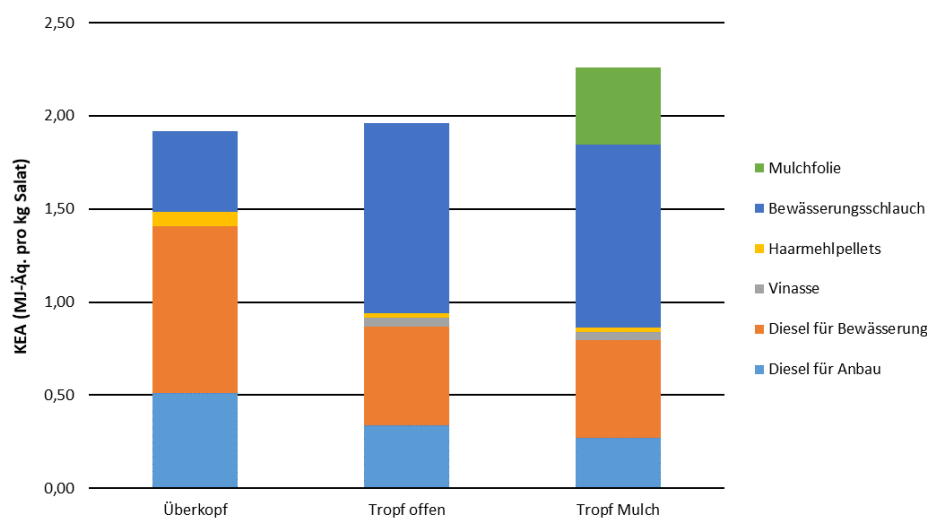
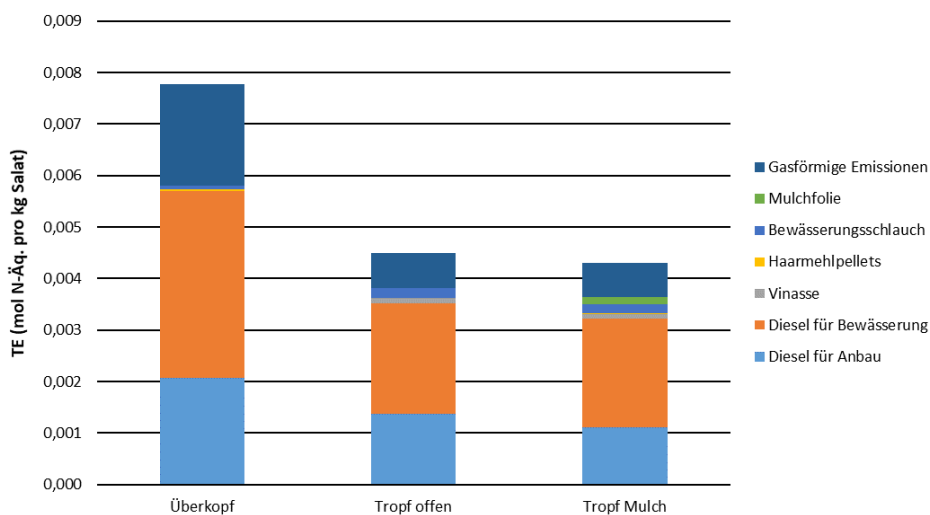


Abbildung 9: Beiträge der Inputs und Outputs zum kumulierten Energieaufwand

Auch hier schneiden die Mehrwegschläuche beim System Überkopf deutlich besser ab. Vinasse und Haarmehlpellets haben kaum einen Einfluss auf das Ergebnis. Trotz seiner geringeren Erträge benötigt das System Überkopf mit 1,92 MJ-Äq. pro kg Salat insgesamt am wenigsten Energie. Nur minimal höher liegt der Energieeinsatz beim Anbausystem Tropf offen (1,96 MJ-Äq. pro kg Salat), gefolgt vom Anbausystem Tropf Mulch (2,26 MJ-Äq. pro kg Salat).

#### 4.4.3 Terrestrische Eutrophierung

Im Gegensatz zu den vorherigen Wirkungskategorien sind bei der terrestrischen Eutrophierung größere Unterschiede im Endergebnis zu sehen. Erneut ist der Dieserverbrauch für den Anbau und für die Bewässerung für den Großteil der Schädwirkungen verantwortlich (**Abbildung 10**). Auch hier macht sich dies durch die niedrigeren Erträge im Anbausystem Überkopf besonders stark bemerkbar. Die gasförmigen Emissionen durch die Düngung haben in dieser Wirkungskategorie den zweitgrößten Anteil. Hier ist das Anbausystem Überkopf doppelt im Nachteil. Einerseits hat es die höchsten Ammoniak-Emissionen, da hier ausschließlich mit den Ammoniak-emittierenden Haarmehlpellets gedüngt wurde, während in den Anbausystemen Tropf offen und Tropf Mulch nur teilweise mit Haarmehlpellets und teilweise mit Vinasse gedüngt wurde. Andererseits sorgen erneut die die geringen Erträge im Anbausystem Überkopf dafür, dass diese Emissionen besonders stark zum Tragen kommen. Vinasse, Haarmehlpellets, Bewässerungsschlauch und Mulchfolie tragen nur in sehr geringem Umfang zur terrestrischen Eutrophierung bei. Insgesamt erzielt das Anbausystem Tropf offen mit 0,0043 mol N-Äq. pro kg Salat die geringsten Werten, dicht gefolgt vom Anbauverfahren Tropf Mulch mit 0,0045 mol N-Äq. pro kg Salat. Die höchsten Werte wurden im Anbauverfahren Überkopf mit 0,0078 mol N-Äq. pro kg Salat erzielt.



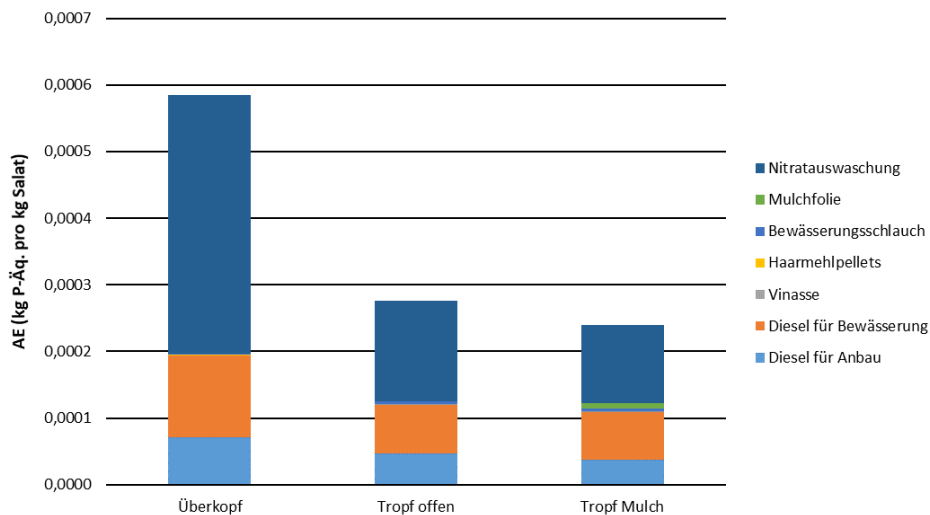
**Abbildung 10: Beiträge der Inputs und Outputs zur terrestrischen Eutrophierung**

#### 4.4.4 Aquatische Eutrophierung

Bei der Wirkungskategorie aquatische Eutrophierung haben die Nitratauswaschungen den größten Anteil (**Abbildung 11**). Im Anbausystem Überkopf sind die Nitratverluste höher als in den Systemen mit Tropfbewässerung. Darüber hinaus hat der Dieserverbrauch für Anbau und Bewässerung einen größeren Anteil



an dieser Wirkungskategorie. Der Effekt der geringeren Erträge im Anbausystem Überkopf sorgt erneut für eine Verstärkung der Schädwirkungen. Vinasse, Haarmehlpellets, Bewässerungsschlauch und Mulchfolie haben nur einen geringen Anteil am Endergebnis. Insgesamt erzielt das Anbausystem Tropf Mulch mit 0,00024 kg P-Äq. pro kg Salat die geringsten Werte. Dicht dahinter ist das Anbausystem Tropf offen mit 0,00028 kg P-Äq. pro kg Salat. Die höchsten Werte erzielt das Anbausystem Überkopf mit 0,00059 kg P-Äq. pro kg Salat.

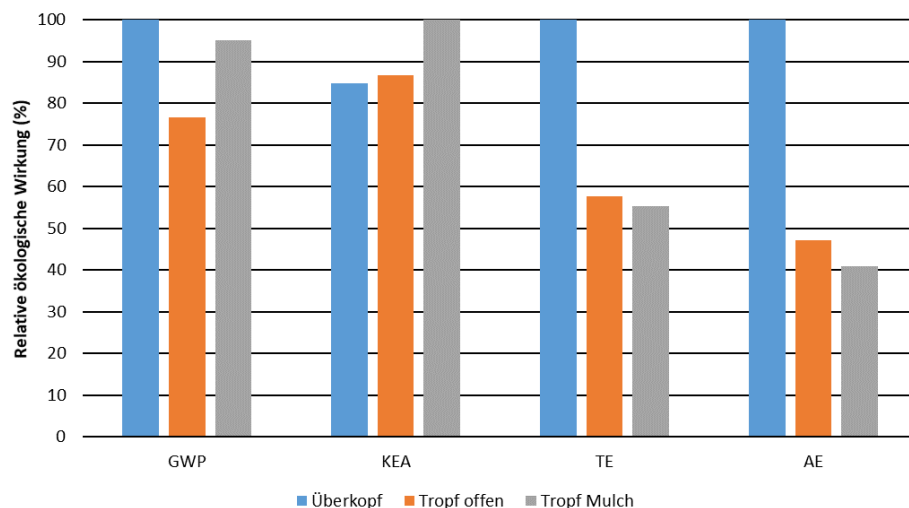


**Abbildung 11: Beiträge der Inputs und Outputs zur aquatischen Eutrophierung**

## 4.5 Auswertung

### 4.5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Anbausystem Überkopf mit den höchsten Umweltwirkungen pro kg Salat verbunden ist. In den vier ausgewerteten Wirkungskategorien wurde drei Mal das höchste Resultat erzielt (**Abbildung 12**). Bei der terrestrischen und aquatischen Eutrophierung ist der Unterschied zu den Anbausystemen mit Tropfbewässerung sehr deutlich, beim Treibhauspotential knapp. Beim kumulierten Energieaufwand liegen alle drei Anbausysteme nah beieinander. Das schlechte Abschneiden des Anbausystems Überkopf in dieser Ökobilanz ist im Wesentlichen auf die höchsten Ammoniakemissionen und Nitratauswaschungen und zusätzlich die geringsten Erträge zurückzuführen. Innerhalb der Anbausysteme Tropf offen und Tropf Mulch sind beide Systeme jeweils bei zwei Wirkungskategorien im Vorteil. Beim Treibhauspotential und kumulierten Energieaufwand hat Tropf offen jedoch vergleichsweise große Vorteile gegenüber Tropf Mulch, was im Wesentlichen auf den Verzicht auch Mulchfolie zurückzuführen ist. Hingegen sind die Vorteile von Tropf Mulch gegenüber Tropf offen bei der terrestrischen und aquatischen Eutrophierung gering. Dies lässt sich durch geringfügig höhere Erträge erklären. Somit schneidet das Anbausystem Tropf offen in dieser Ökobilanz am besten ab, gefolgt von Tropf Mulch.



**Abbildung 12: Relativer Vergleich der Anbauverfahren in allen vier Wirkungskategorien**

#### 4.5.2 Einfluss der Systemgrenzen auf die Ergebnisse

Neben den in der Sachbilanz aufgezeigten Unterschiede in den Anbausystemen gibt es einige Unterschiede, die außerhalb der Systemgrenzen liegen und somit in dieser Ökobilanz nicht berücksichtigt wurden. Diese werden im Folgenden erläutert:

Der maschinelle Schnitt in den Anbausystemen Tropf offen und Tropf Mulch hat Vorteile hinsichtlich der Sauberkeit des Salats, da kein direkter Kontakt mit dem Boden entsteht und der Salat damit weniger gewaschen werden muss. Die Salatköpfe beim Anbausystem Überkopf sind durch den direkten Kontakt mit dem Boden entsprechend schmutziger, was einen größeren Waschaufwand mit sich bringt. Dieser Mehrbedarf an Wasser findet jedoch außerhalb des Feldes und damit außerhalb der Systemgrenzen dieser Ökobilanz statt und wurde hier nicht berücksichtigt.

Ein weiterer Unterschied besteht in der Pflanzdichte der Salatpflanzen. Während beim Anbausystem Überkopf 17,5 Pflanzen pro m<sup>2</sup> gepflanzt werden, sind es bei den Anbausystemen Tropf offen und Tropf Mulch 30,3 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Die erhöhte Anzahl an Pflanzen wurde ökobilanziell nicht berücksichtigt, da dieser Teil außerhalb der betrachteten Systemgrenze lag. Betriebswirtschaftlich wurden die unterschiedlichen Salatpflanzen im Einkauf berücksichtigt. Die geringere Pflanzdichte sorgt dafür, dass sich die Pflanzen besser ausbreiten und damit ein größeres Erntegewicht erzielen können. Allerdings ist zu Beginn der Vegetationsphase viel Boden unbedeckt, was zu einem höheren Unkrautdruck führt. Mit höherer Pflanzdichte wird der Unkrautdruck zwar reduziert. Der Salat soll dabei einen dichten Teppich bilden und in die Höhe wachsen, wodurch er von der Schneidemaschine besser geerntet werden kann. Jedoch wird hierdurch das Hacken des Salats erschwert. In den Versuchen hat sich die höhere Pflanzdichte insgesamt jedoch bewährt, da die Erträge deutlich höher waren.

#### 4.5.3 Kritische Betrachtung der Datenlage

Die Ergebnisse einer Ökobilanz sind stark von Herkunft und Qualität der Daten abhängig. In dieser Ökobilanz wurden die Gegebenheiten des Betriebes und der Exaktversuche möglichst weitgehend berücksichtigt und nur

in wenigen Fällen wurden Annahmen getroffen. Im Folgenden werden einige dieser Datenherkünfte und – qualitäten kritisch betrachtet:

Der Dieserverbrauch für die Bewässerung ist relativ hoch und nimmt in allen Wirkungskategorien einen sehr hohen Anteil ein. Dies ist auf die Art und Weise zurückzuführen, wie auf dem Betrieb und in diesen Exaktversuchen die Bewässerung stattgefunden hat, nämlich über eine Pumpe, die von einem Traktor bei hoher Leistung angetrieben wird, und einen einheitlichen aber relativ hohen Wasserdruck für alle Anbausysteme gleichzeitig bereitstellt. Bei der Tropfbewässerung würde ein geringerer Leitungsdruck ausreichen, oder es kann eine andere Technik eingesetzt werden. Die Folge wäre ein geringerer Energieaufwand und damit insgesamt weniger Emissionen, sodass die Tropfsysteme im Vergleich zur Überkopfbewässerung noch besser abschneiden.

Die Unterschiede in den Bewässerungsschläuchen entstehen zum einen deshalb, weil die klassische Bewässerung im Anbausystem mit Überkopfberegnung weniger Schlauch benötigt als die Anbausysteme mit Tropfbewässerung. Zum anderen hat jedoch auch die Lebensdauer der Schläuche einen großen Einfluss. Auf diesem Betrieb werden die Bewässerungsschläuche im Anbausystem Überkopf 3-5 Jahre bei je zwei Sätzen pro Jahr verwendet, während die Bewässerungsschläuche der Anbausysteme Tropf offen und Tropf Mulch zwei Mal Verwendung finden. Die zweimalige Nutzung ist jedoch nur in einer Anbauregion mit sandigen Böden möglich. Durch den sandigen Untergrund reißen die Schläuche beim Herausziehen nicht und können wiederverwendet werden. In Regionen mit anderen Bodenverhältnissen ist dieser Vorgehensweise nicht möglich. Werden die Tropfschläuche nur einmal verwendet, so verdoppeln sich die Emissionen und die Anbausysteme werden beim Treibhauspotential und dem kumulierten Energieaufwand deutlich schlechter.

Der Einsatz der Mulchfolie machte in der Ökobilanz einen Unterschied zwischen den beiden Systemen mit Tropfbewässerung aus, da die Herstellung sehr emissions- und ressourcenintensiv ist. Auf Mulchfolie kann beim Anbau in größerem Maßstab heutzutage grundsätzlich verzichtet werden, wenn in eine entsprechende Hackmaschine investiert wird. Auf diesem Betrieb war eine derartige Hackmaschine nicht vorhanden, weshalb die Mulchfolie als Maßnahme zur Unkrautunterdrückung und damit zur Kostenreduktion durch das Einsparen von maschinellen und Handhackgängen eingesetzt wurde. Jedoch stellte sich heraus, dass der Unkrautdruck auch mit der Mulchfolie so hoch war, dass eine händische Unkrautbekämpfung stattfinden musste. Dies spiegelt sich in dieser Ökobilanz nicht wieder, da menschliche Arbeitskraft nicht mit eingerechnet wird. Lediglich in der betriebswirtschaftlichen Kalkulation wird sich dies in den Lohnkosten widerspiegeln. Grundsätzlich hat das System Tropf Mulch damit einen weiteren Nachteil.

Die Ammoniak-Emissionen haben einen starken Einfluss auf die Ergebnisse der terrestrischen Eutrophierung. Die Berechnung der Ammoniak-Emissionen orientierte sich jedoch an der Berechnungsweise für Rindermist und auch den Emissionswerten für Rindermist bei emissionsparender Ausbringung (Breitverteiler mit Einarbeitung binnen 4 Stunden). Dies kann zu einer deutlichen Über- oder Unterschätzung der Emissionen geführt haben. Die TAN-abhängigen Emissionen bei Rindermist liegen im Bereich von 20% (Breitverteiler mit sofortiger Einarbeitung) bis 200% (Breitverteiler ohne Einarbeitung) des hier verwendeten Wertes.

Die Nitrat-Auswaschungen dominieren die Ergebnisse der aquatischen Eutrophierung. Da die Nitrat-Auswaschungen in dieser Ökobilanz jedoch auf einer relativ geringen Datenbasis und Annahmen basieren, sind die Ergebnisse für dieses Prozessmodul nicht sehr belastbar. Grundsätzlich sind Nitrat-Auswaschungen in starkem Maße vom gesamtbetrieblichen Management abhängig und können somit ohnehin nicht einer einzelnen Kultur oder einem Düngerverfahren zugeordnet werden.

## 5 Weitere Ergebnisse

### Ergebnisse der Zusammenarbeit

#### 5.1.1 Zusammenarbeit mit den Projektpartnern

In der gesamten Projektlaufzeit fanden regelmäßig Treffen in Präsenz oder während der Corona-Pandemie online statt, um die laufenden Arbeitsprozesse sowie die aktuellen Zwischenergebnisse zu erläutern und die weitere Vorgehensweise zu besprechen. Die Projektkoordination hat auf die Einhaltung der Projektziele und den fristgerechten Ablauf des Projektes geachtet und die Abstimmung unter den Projektpartnern koordiniert. Zum ständigen Austausch an Informationen innerhalb der OPG wurden E-Mail und online-Konferenzen als moderne Mediennutzung verwendet.

#### 5.1.2 Mehrwert der Zusammenarbeit innerhalb der OPG

Die OPG ist zusammengesetzt aus Projektpartnern, die alle viel Erfahrung und Know-how im Bereich des Salatanbaus haben. Deshalb konnte viel Wissen und Erfahrungswerte ausgetauscht werden und in die Projektarbeit einfließen. Dies war ein großer Mehrwert innerhalb der Umsetzung des Projektes. Durch diese wertvolle Zusammenarbeit und Unterstützung der einzelnen Partner entlang der gesamten Wertschöpfungskette profitierte das ganze Projekt. Jeder Akteur hatte einen anderen Blickwinkel für die Entwicklung und Umsetzung des Projektes, da die Partner alle in unterschiedlichen Bereichen rund um den Salatanbau tätig sind.

#### 5.1.3 Zukünftige Zusammenarbeit der OPG

Nach dem offiziellen Ende des Projektes EIP-ERAC wird Landwirt Roland Käpplein den Anbau weiterführen und auch andere Betriebe dazu ansprechen, damit eine Streuung des Kulturverfahrens erreicht wird. Erste Kontakte zum Saatgutlieferanten sind bereits erfolgt. Auch der Lebensmitteleinzelhandel hat sein Interesse zu einer Fortführung der Zusammenarbeit bekundet. Des Weiteren sind Veröffentlichungen zu den Ergebnissen in verschiedenen Bereichen geplant, wodurch eine weitere Zusammenarbeit gefördert wird.

### Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Der erste Anbauversuch 2019 war als randomisierter Versuch angelegt. Aufgrund technischer Probleme, die darin bestanden, dass mit der vorhandenen Pflanzmaschine die Jungpflanzen nicht im erforderlichen engen Pflanzabstand in Mulchfolie gepflanzt werden konnten, war die maschinelle Ernte nicht mit dem gewünschten Erfolg möglich.

Aufgrund der gemachten Erfahrungen hat die OPG beschlossen den 2. Anbauversuch 2019 als technischen Versuch zur Optimierung der Pflanz- und Erntetechnik zu nutzen. Somit konnte ein Anforderungsprofil an die Maschinenteknik erstellt werden. Die Pflanzmaschine sowie die Schneidemaschine sollten im Versuchsjahr 2020 zum Einsatz kommen.

Durch die Covid-19 Situation und die Schließung der Grenzen, konnten beide Maschinen nicht nach Deutschland eingeführt werden. Im Weiteren fand ein Personalwechsel statt und die Stelle des Versuchingenieurs musste neu ausgeschrieben werden.

Pandemiebedingt hatte auch die Bio-Manufaktur Waghäusel GmbH keine Möglichkeit mehr den geplanten Salat zu vermarkten, da alle Großküchen geschlossen wurden. Da somit die Wertschöpfungskette nicht mehr gewährleistet war hatte die OPG beschlossen die Anbauversuche und Feldtage im Jahr 2020 abzusagen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus dem 2. technischen Versuch des Jahres 2019 wurden im Jahr 2021 die Versuche wieder durchgeführt.

Die Pflanz- und Schneidemaschine sind pünktlich auf dem Betrieb eingetroffen und wurden für den Einsatz optimiert. Die Pflanzmaschine wurde so umgebaut, dass die Tropfschläuche direkt unter den Pflanzballen verlegt werden können, statt wie bisher zwischen den Reihen. Somit war eine gezielte Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Nährstoffen gewährleistet. Diese Maßnahme ist in unserer Region mit Sandböden erforderlich, da das Wasser beim Verlegen zwischen den Reihen zu lange braucht um an die Pflanzen zu kommen. Durch den damit verbundenen höheren Wasserbedarf ist auch die Auswaschung des Flüssigdüngers möglich. Bei lehmhaltigen Böden die die Feuchtigkeit besser speichern können, ist diese Maßnahme nicht unbedingt erforderlich.

Auch die Schneidemaschine musste für unsere Bedingungen mehrfach umgebaut werden, da es bisher keine Erfahrungen mit Teenleaf Kopfsalaten gab.

Aufgrund der unsicheren Situation bei der Bio-Manufaktur Waghäusel GmbH wurden weitere Optionen für die Vermarktung gesucht. Der Landwirt Roland Käpplein hat die Verarbeitung und Verpackung der Salate übernommen, da die ursprünglichen betrieblichen Strukturen noch vorhanden waren. Nach erneuter Zertifizierung konnte die Verarbeitung im erforderlichen Umfang wieder in Betrieb genommen werden.

Im März 2021 konnte der Gemüsering Stuttgart als weiterer Kooperationspartner für das Projekt ERAC gewonnen werden, mit dem nun die Logistik abgedeckt war.

Die Vermarktung erfolgte über den Lebensmittel Einzelhandel in der Region Süd-West in drei Zentrallagern.

Mit den ausgewerteten Daten der vergangenen Jahre starten wir in unser letztes Versuchsjahr und haben drei Versuche geplant um verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Auch das Jahr 2022 war geprägt von großer Trockenheit, Wind und Temperaturen über 35 Grad. Deshalb war es von Vorteil, dass mit der Tropfberegnung die Pflanzen gut versorgt werden konnten. Einzig die Überkopf-Variante machte große Probleme, da durch den Wind tagsüber das Wasser nicht richtig auf den Beeten ankam und wir in den Nachtstunden beregnen mussten.

Die Vermarktung erfolgte 2022 wieder über den Lebensmittel-Einzelhandel, allerdings als deren Eigenmarke. Dadurch konnte der Absatz deutlich erhöht werden.

Aufgrund der Covid-19 Situation hatten wir davon abgesehen, größere Feldtage zu organisieren. Alternativ wurden Feldbegehungen mit Kooperationspartnern, Beratern, Lieferanten, Kunden und Landwirten/Gärtnern

durchgeführt. In diesen Gesprächen kristallisiert sich zwar immer mehr heraus, dass Landwirte/Gärtner zwar offen sind für die neue Variante des Salatanbaues und auch die Notwendigkeit sehen nachhaltiger und extensiver zu wirtschaften, aber sehr zögerlich sind den Anbau selbst auszuführen.

2022 zeichnete sich eine positive Entwicklung im Anbau mit den Teenleaf Salaten ab, sodass Saatgut und Pflanzmaterial besser verfügbar ist.

Im Juli 2022 hat die Projektkoordinatorin das Projekt verlassen und zu Ende September 2022 hat der Versuchsingenieur gekündigt. Aufgrund der neuen Situation zum Ende des Projektes hat der Landwirt und Leadpartner Roland Käpplein deren Tätigkeiten zur vollen Gänze übernommen, damit das Projekt erfolgreich zu Ende geführt werden konnte.

Zum Schluss kann man sagen, dass trotz aller Schwierigkeiten das Projekt den gewünschten Erfolg gebracht hat und das Verfahren praxistauglich ist.

## Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

1. Förderung eines ressourceneffizienten, wirtschaftlich lebensfähigen, produktiven, wettbewerbsfähigen, emissionsarmen, klimafreundlichen und klimaresistenten Agra- und Forstsektors mit einem Hinarbeiten auf agrarökologische Produktionssysteme, der in Harmonie mit den wesentlichen natürlichen Ressourcen funktioniert, von denen die Land- und Forstwirtschaft abhängt.
2. Beitrag zu einer sicheren, stetigen und nachhaltigen Versorgung mit Lebensmitteln, was sowohl bestehende als auch neue Produkte betrifft.
3. Verbesserung der Prozesse zur Bewahrung der Umwelt, zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Auswirkungen.
4. Brückenschlag zwischen Spitzenforschung und –technologie sowie den Landwirten, ländlichen Gemeinden, Unternehmen, NRO und Beratungsdiensten.

## 5.2 Nebenergebnisse

EIP Projekt wurde innerhalb des Untersuchungsprogramms zum grundwasserschonenden Anbau von Gemüse zur Umsetzung der SchALVO, WRRL und DÜV des Landes Baden-Württembergs in Bezug auf die Düngung und Stickstoffdynamik im Boden begleitet. Für Tropfbewässerungsverfahren im ökologischen Anbau lagen bislang keine Ergebnisse vor. Für die Düngebedarfsermittlung wurde der Stickstoffbedarfswert von Salat mit  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  zugrunde gelegt und nach Vorgaben der Düngeverordnung berechnet. Die Düngung in der Überkopfvariante erfolgte einmalig mit Haarmehlpellets vor der Pflanzung. Die Tropfvarianten erhielten eine Kombination aus Grunddüngung mit Haarmehlpellets und nachfolgender Fertigation mit Vinasse. Die Stickstoffdynamik wurde anhand von Bodenproben in 0-60 cm vor der Pflanzung, zur Ernte der Überkopfvarianten und Ernte des zweiten Schnitts der Tropfvarianten ermittelt. Die Analyseergebnisse beziehen sich auf Nitratstickstoff. Die Ergebnisse liegen als Bericht vor (Rather und Amelung, 2023). Zwischen den einzelnen Salatsätzen und Beprobungsterminen variierten die Stickstoffwerte in den Bodenschichten 0-30 und 30-60 cm teilweise erheblich. Zu Kulturende hinterließen die Überkopfvarianten tendenziell höhere

Stickstoffrestmengen im Boden als bei Tropfbewässerung mit Fertigation. Innerhalb der Tropfvarianten wies die Variante Tropf offen konsistent niedrigere Stickstoffrestmengen im Bodenprofil 0-60 cm auf als die mit Mulch abgedeckte Variante. Vermutlich erfordert die geringere Evaporation des Bodens in dieser Variante eine Optimierung der Bewässerungs- und Düngermengen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Anbauverfahren Tropfbewässerung mit Fertigation das Potential bietet, durch geringere Stickstoffgehalte zu Kulturende zum Grundwasserschutz beizutragen.

### 5.3 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Mit den gemachten Erfahrungen in unserem Projekt ist zu überlegen, ob bei großflächigem Anbau des Verfahrens auf die Mulchfolie verzichtet werden kann und anstatt der Mulchfolie ein Hackroboter eingesetzt wird. Somit können die Kosten der Mulchfolie für die Anschaffung des Roboters eingesetzt werden, die sich über Jahre amortisieren. Außerdem kann eine günstigere Pflanzmaschine ohne Folienverlegung zum Einsatz kommen, der maschinelle Schnitt gestaltet sich einfacher, und die Kosten für das Entfernen und die Entsorgung der Mulchfolie entfallen.

### 5.4 Veröffentlichungen und Veranstaltungen

- |                |   |
|----------------|---|
| 18.02.2020     | Gemüsebautag Süd/West in Oedheim; Poster Präsentation am Stand der LVG Heidelberg; Dr. Stephanie Cremers, Roland Käßplein   |
| 09.03.2020     | Umstellertag zum ökologischen Landbau in Rastatt; Thema Feldgemüse; Dr. Stephanie Cremers, Roland Käßplein  |
| 29.09.2021     | Ergebnistransfer EIP-Agri Gemeinsam Innovationen schaffen-Ergebnisse aus den Projekten; Dr. Stephanie Cremers   |
| 18.-19.08.2023 | 5. bundesweiter Workshop (Online) für operationelle Gruppen und Innovationsdienstleister, Thema Ergebnistransfer sowie das Agricultural Knowledge and Innovation System (AKIS) Virtueller Marktplatz mit einer Posterschau, Präsentation Poster ERAC Dr. Stephanie Cremers  |
| 15.09.2022     | Filmfreigabe Projekt ERAC durch Ministerium   |
| 19.10.2022     | Vorstellung EIP Projekt ERAC und Austausch mit anderen Projektteilnehmern, Ministerium Stuttgart, Roland Käßplein   |
| 02.10.2022     | Landwirtschaftliches Hauptfest, Vorstellung Projekt ERAC mit Poster, Film und Salatmuster; Kooperationspartner der LVG Heidelberg, der HfWU und Roland Käßplein   |
| 02.02.2023     | Vorstellung des Projektes im Rahmen einer Gastvorlesung an der Universität Kassel-Witzenhausen  |
| 2023           | Sauer, H. und Müller-Lindenlauf, M. (2023): Fertig zum Verzehr-Schnittsalate maschinelle geerntet. Bioland-Fachmagazin für den ökologischen Landbau, März 2023, S. 30-31  |
|                | Sauer, H., Reinisch, S. (LVG Heidelberg), Müller-Lindenlauf, M., Weber, R., Villwock, D. (HfWU Nürtingen) und Käßplein, R. (Waghäusel) (2023): Projekt „Entwicklung eines ressourcenschonenden Anbauverfahrens für die Produktion von Bio Convenience Schnittsalaten“ (ERAC). Newsletter Landinfo Ausgabe 1/2023 - Schwerpunktthema Ökolandbau S. 46-49 |
|                | Geplante Veröffentlichung im Ökumenischen Rundbrief 2/2023  |



2023 Rather; K. und Amelung, J. (2023) Bericht zum Untersuchungsprogramm grundwasserschonender Anbau von Gemüse zur Umsetzung der SchALVO, WRRL und DÜV in Baden-Württemberg. Unveröffentlicht. LVG Heidelberg.

## 5.5 Abkürzungsverzeichnis

AE	Aquatische Eutrophierung
Äq.	Äquivalent
EF	Environmental Footprint
GWP	Treibhauspotenzial
ha	Hektar
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kg	Kilogramm
l	Liter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
N <sub>min</sub>	Mineralischer Stickstoff
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NO <sub>3</sub>	Nitrat
N <sub>2</sub> O	Lachgas
TAN	Ammonium-Stickstoff-Gehalt
TE	Terrestrische Eutrophierung

## 5.6. Literaturverzeichnis

Ecoinvent: Ecoinvent Database 3.7. Online verfügbar unter <https://ecoinvent.org/>, zuletzt geprüft am 11.12.2022.

ISO 14040:2006, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.

ISO 14044:2006, 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.

European Commission: Environmental Footprint reference packages. Online verfügbar unter <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>, zuletzt geprüft am 11.12.2022.

European Union (2013): 2013/179/EU: Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. In: *Official Journal of the European Union* (124), S. 1–210.

Haertlé, S.; Gärtner, S. (2022): Basiswerte: Ökobilanz von Mulchfolie und Vinasse. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH.

Heijungs, R.; Guinée, J.; Huppes, G.; Lankreijer, R.; de Goede, H. (1992): Environmental life cycle assessment of products. I. Guide, October 1992. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/285486460\\_Environmental\\_life\\_cycle\\_assessment\\_of\\_products\\_I\\_Guide\\_October\\_1992](https://www.researchgate.net/publication/285486460_Environmental_life_cycle_assessment_of_products_I_Guide_October_1992).

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 151 pp. Geneva, Switzerland: IPCC.

DIN EN 590:2022-05, 2022: Kraftstoffe - Dieseldieselmotor - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN\_590:2022.

KTBL (2022): KTBL-Feldarbeitsrechner. Hg. v. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Online verfügbar unter <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>.

Möller, Kurt (2018): Soil fertility status and nutrient input–output flows of specialised organic cropping systems: a review. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 112 (2), S. 147–164. DOI: 10.1007/s10705-018-9946-2.

Sphera Solutions: GaBi Databanken. Online verfügbar unter <https://gabi.sphera.com/deutsch/software/gabi-software/>, zuletzt geprüft am 11.12.2022.

Vos, C.; Rösemann, C.; Haenel, H.-D.; Dämmgen, U.; Döring, U.; Wulf, S. et al. (2022): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2020: Report on methods and data (RMD) Submission 2022. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 91).

## 5.7. Fotos zum Versuchsanbau



Foto 1: Anbausystem Überkopfgreger



Foto 2: Anbausystem Tropfbewässerung





Foto 3: Anbausystem Tropfbewässerung + Mulchfolie



Foto 4: Schneidemaschine Ortomec Mod. 2000-130B





**Foto 5: Salat (Kalat) erntefertig; vor dem 1. Schnitt**



**Foto 6: Salat (Kalat) nach dem 1. Schnitt**