

**Bewirtschaftungskonzept einer Sonderkultur-Fruchtfolge
mit Arznei- und Gewürzpflanzen
unter der Agri-Photovoltaikanlage Meiersberg**

Inhalt

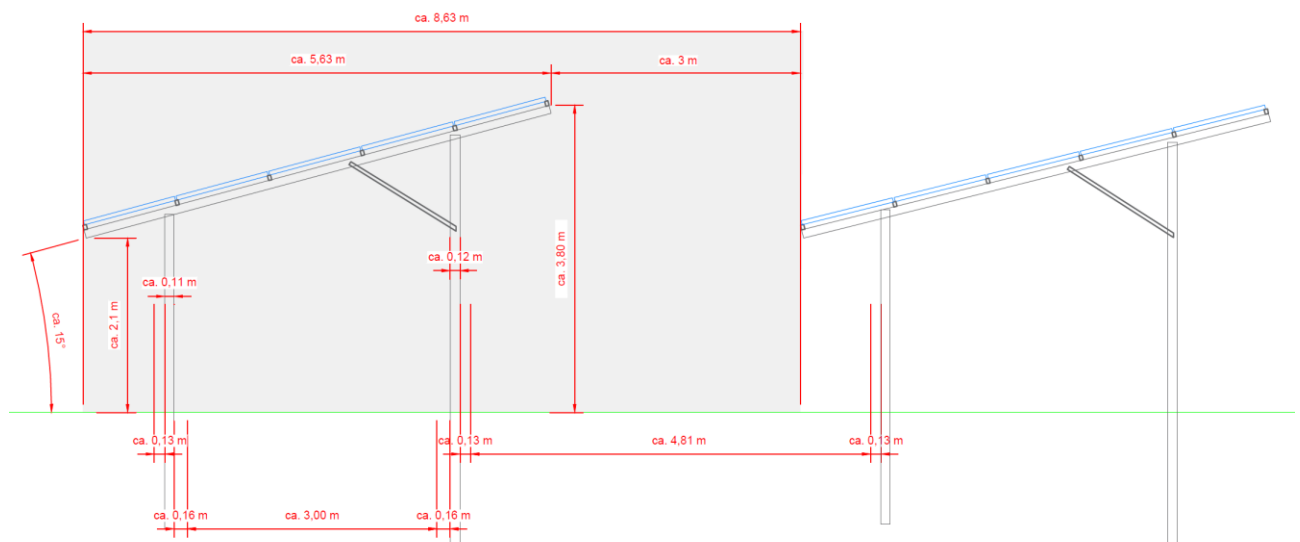
1. Vorhabenbeschreibung	3
2. Erläuterung der Fruchtfolge: Salbei, Kapuzinerkresse, Spitzwegerich	7
2.1. Salbei (<i>Salvia officinalis</i>)	7
2.2. Kapuzinerkresse (<i>Tropaeolum majus</i>)	7
2.3. Spitzwegerich (<i>Plantago lanceolata</i>)	8
3. Ergänzung um Agri-PV.....	9
3.1. Darstellung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung	9
3.2. Pflanzenbauliche Effekte der Agri-Photovoltaik.....	14
3.3. Salbei unter Agri-PV	15
3.4. Kapuzinerkresse unter Agri-PV	16
3.5. Spitzwegerich unter Agri-PV	17
4. Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren mit und ohne Agri-PV.....	18
4.1. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit	18
4.2. Rechenmethodik und Zahlenquellen	18
4.3. Vergleich der Produktionsverfahren mit und ohne Agri-PV	19
5. Gesamtbewertung des Anbauverfahrens	22
5.1. Bewertung des Anbauverfahrens nach DIN SPEC 91434.....	22
5.2. Bewertung des Verfahrens nach beratungsfachlicher Betrachtung	23
6. Quellen und Bezugspunkte	24

1. Vorhabenbeschreibung

Der Landwirtschaftsbetrieb Biomassekontor Brandenburg GmbH & Co. KG hat sich entschieden, eine Fläche von ca. 43 ha in Verbindung mit einer Agri-Photovoltaikanlage nach DIN SPEC 91434 zu bewirtschaften.

Neben den reinen betriebswirtschaftlichen Zielen verfolgt der Landwirtschaftsbetrieb mit diesem Ansatz sowohl gesellschaftlich als auch agrarpolitisch gewollte Ziele. Hierzu zählt u.a. eine extensivere Wirtschaftsweise unter Schonung von natürlichen Ressourcen durch reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz, Fokus auf regionale Vermarktung, Verkürzung von Lieferketten und nicht zuletzt die Erzeugung von erneuerbarer Energie.

Umgesetzt wird eine 7-jährige Fruchtfolge aus Salbei (3 Jahre), Kapuzinerkresse (1 Jahr) und Spitzwegerich (3 Jahre). Der Thüringer Interessenverband für Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen e.V. wurde beauftragt, als unabhängige Instanz für diese Zwecke die Integration einer Agri-Photovoltaikanlage nach DIN SPEC 91434 in den Landwirtschaftsbetrieb zu prüfen. Beleuchtet wird, inwiefern das Vorhaben technisch, praktisch, ökonomisch und regulatorisch (nach DIN SPEC 91434) umsetzbar ist.



Gemäß DIN SPEC 91434 handelt es sich im vorliegenden Fall um eine Agri-PV Anlage der **Kategorie 1B** (Aufständiger mit lichter Höhe für einjährige und mehrjährige Kulturen wie Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter). Die Anlage verfügt über eine lichte Höhe von 2,10 m, teillichtdurchlässige PV-Module sowie eine integrierte Regenwasserquerverteilung.

Hierzu siehe Anforderung DIN SPEC 91434:

Tabelle 1 — Darstellung der landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten in Agri-PV-Anlagen der Kategorie I (Aufständering mit lichter Höhe) und Kategorie II (bodennahe Aufständering)

Agri-PV-Systeme	Nutzung	Beispiele
Kategorie I: Aufständering mit lichter Höhe Bewirtschaftung unter der Agri-PV-Anlage (Bild 1)	1A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	1B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	1C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	1D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)
Kategorie II: Bodennahe Aufständering Bewirtschaftung zwischen den Agri-PV-Anlagenreihen (Bild 3 und Bild 4)	2A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	2B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	2C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, Extensiv genutztes Grünland
	2D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

Eine Agri-PV-Anlage nach Kategorie I (Bild 1) ist gekennzeichnet durch eine Aufständering mit lichter Höhe (mindestens 2,10 m) und einer landwirtschaftlichen Bewirtschaftung unter der Anlage (Bild 1). Dabei können die Solarmodule in unterschiedlichen Winkeln und Positionen angebracht werden und teilweise oder komplett die landwirtschaftlich nutzbare Fläche (A_L) überdachen. Die landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche (A_N) beschränkt sich auf die Fläche der Aufständering und Bereiche, die im Zuge der Bearbeitung des Felds, entsprechend des landwirtschaftlichen Nutzungskonzepts (5.2), für eine herkömmliche Bearbeitung nicht mehr zur Verfügung stehen. In Bild 2 ist die Ansicht verschiedener Agri-PV-Anlagen von oben dargestellt.

Das dargestellte Agri-PV System überdeckt 51 % der landwirtschaftlichen Fläche, befindet sich jedoch – mit Ausnahme der Ramppfosten und Trafos – stets oberhalb der durch die DIN SPEC 91434 vorgeschriebenen lichten Höhe von 2,10 m. Die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche erfolgt sowohl unterhalb als auch zwischen den schräg aufgeständerten Photovoltaikmodulen. Die Umsetzung und die Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Nutzung werden im Späteren beschrieben und bewertet.

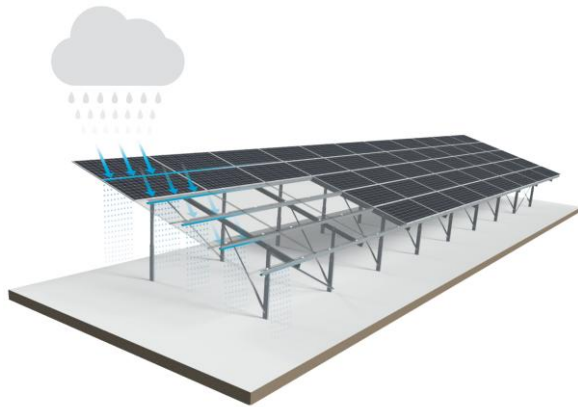
Projektfläche:



Das vorgesehene Agri-PV System verfügt über teillichtdurchlässige, bifaziale Photovoltaikmodule:



Unterhalb der Modultische ist das System mit Tropfschienen zur Regenwasserquerverteilung ausgestattet:



Hierzu siehe Anforderung DIN SPEC 91434:

5.2.5 Lichtverfügbarkeit und -homogenität

Sowohl Pflanzenwachstum generell, als auch gleiche Erntezeitpunkte und eine gute landwirtschaftliche Praxis sollten durch eine möglichst hohe Lichthomogenität und eine adäquate Lichtverfügbarkeit sichergestellt sein.

5.2.6 Wasserverfügbarkeit

Die Wasserverfügbarkeit in der Agri-PV-Anlage muss an die Wachstumsbedingungen der Kultur angepasst sein. Dabei ist auf eine homogene Verteilung des Niederschlagswassers auf die Kultur unter der Agri-PV-Anlage zu achten.

5.2.7 Bodenerosion und Verschlammung des Oberbodens

Durch das Abtropfen von Wasser von den Modulen kann es zu einer Abtropfkante und damit verbundenen Abschwenmen des Bodens kommen. Bei allen Agri-PV-Anlagen muss das Auftreten von Erosion und Verschlammung auf Grund von Wasserabtropfkanten durch die Konstruktion der Anlage minimiert werden. Es können der Kultur angepasste Auffangeinrichtungen für Regenwasser, Regenwasserverteiler, oder ähnlich geeignete Konstruktionen genutzt werden.

2. Erläuterung der Fruchtfolge: Salbei, Kapuzinerkresse, Spitzwegerich

2.1. Salbei (*Salvia officinalis*)

Grundsätzliches:

Echter Salbei ist ein Lippenblütengewächs, dessen getrocknete Laubblätter im Ackerbau geerntet und (ganz oder geschnitten) als Arzneidroge, Gewürz oder für Tee genutzt werden. Hauptkriterium für die Qualität ist der Gehalt von ätherischem Öl, dessen größten Anteil das Thujon mit bis zu 60 % ausmacht. Dieser Gehalt bestimmt somit maßgeblich den Wert des ätherischen Öles (**BRIESKORN** 1991). Zweitgrößten Anteil hat Kampfer mit bis zu 25 % (**HOPPE** 2013). Aufgrund von geringen Ansprüchen an den Boden sowie einer hohen ökologischen Anpassungsfähigkeit kann Salbei bis zu einer Anbaugrenze von 70° nördlicher Breite angebaut werden (Irland, Südkandinavien).

Stellung in der Fruchtfolge:

Salbei wird über einen Zeitraum von 3 oder 4 Jahren angebaut, während ab dem zweiten Jahr 2 Ernten jährlich möglich sind (**DACHLER** et al. 2017). Obwohl Salbei grundsätzlich als selbstverträglich eingestuft wird, empfiehlt die Anbaupraxis vor dem Hintergrund von Krankheitsdruck und Bodenmüdigkeit eine Anbaupause von 4 Jahren (**BOMME** 1988). Dies ist in der vorliegenden Fruchtfolge mit Kapuzinerkresse (1 Jahr) und Spitzwegerich (3 Jahre) gewährleistet.

Anbautechnik:

Nach dem Stoppelsturz mittels z.B. Grubber oder Scheibenegge erfolgt eine Einebnung per (Scheiben-) Egge, ggf. mit weiterem Arbeitsgang gegen aufgelaufenes Unkraut. Die Saatbettbereitung erfolgt durch Einsatz einer Saatbettkombination, die Aussaat mittels Drillmaschine, optional in eine vorab ausgelegte Bodenfolie zur Unkrautunterdrückung, für die ein Bodenfolienleger zum Einsatz kommt. Bei Verzicht auf die Bodenfolie wird klassische Hacktechnik zur Unkrautregulierung eingesetzt. Die Ernte erfolgt mit Spezialerntetechnik.

2.2. Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*)

Grundsätzliches:

Von der Großen Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*) sind im Ackerbau fast alle Pflanzenteile verwendbar. In den letzten zwei Dekaden hat die Anwendung kontinuierlich an Bedeutung gewonnen, sodass auch die wissenschaftliche Untersuchung der Pflanze ein umfassendes Ausmaß angenommen hat. In diesen Bereich fällt vor allem die Erkenntnis zur Verwendung als pflanzliches Antibiotikum gegen zahlreiche Gram-positive und Gram-negative Bakterien, wie Pneumokokken, *Proteus mirabilis*, Staphylokokken, Tuberkelbakterien und Streptokokken (**HAMMER** 2025). Auch eine Ersatzanwendung anstelle von Antibiotika wird in der jüngeren Vergangenheit auf Bundesministerialebene diskutiert (**MIELKE** et al. 2007).

Stellung in der Fruchtfolge:

Tropaeolum majus wird in der Fruchtfolge selten gezielt berücksichtigt, aber ihre botanische, ökologische und bodenbiologische Stellung lässt sich klar einordnen. Sie gehört zu keiner landwirtschaftlich relevanten Hauptfruchtgruppe (Kreuzblütler, Korbblütler, Leguminosen etc.). Dadurch kann sie als sehr profitable Ackerfrucht in sehr viele Fruchtfolgen gestellt werden - sie teilt kaum bodenbürtige Krankheiten mit typischen Kulturpflanzen. Kapuzinerkresse verbraucht moderat Nährstoffe, baut aber keinen Humus stark ab. Sie ist also weder ein Starkzehrer noch ein Schwachzehrer, sondern ein Mittelzehrer mit eher bodenschonendem Verhalten.

Anbautechnik:

Im Feldanbau wird Kapuzinerkresse aufgrund ihrer Frostempfindlichkeit frühestens ab Mai nach den Spätfrösten durch Direktsaat kultiviert; im vorliegenden Anbauprogramm ebenfalls (auch hier optional, analog zum Salbei) unter biologisch abbaubarer Folie. Vorweg gehen Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung mit gängigen Maschinen. Obwohl bei der Folieneinsaat nur ca. ein Drittel der Bestandsdichte ohne Folie gesät wird, entstehen keine messbaren Ertragseinbußen (TLLLR 2024).

2.3. Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*)

Grundsätzliches:

Spitzwegerich zeichnet sich durch ein sehr ubiquitäres Vorkommen in fast allen kühl-gemäßigten Regionen der Erde aus. Er kann als ganze Pflanze genutzt werden, jedoch sind arzneilich und auch ökonomisch in der heutigen Zeit die getrockneten, ggf. geschnittenen Blätter relevant (HOPPE 2013). Spitzwegerich stellt keine besonderen Ansprüche an den Standort (DACHLER 2017). Er ist hinsichtlich des Klimas anspruchslos (TLLLR 2021) und sehr tolerant hinsichtlich der Vorfrucht (MARQUARD et al. 2002)

Stellung in der Fruchtfolge:

Spitzwegerich ist eine bodenpflegende, strukturverbessernde und ökologische Kulturpflanze, die sich ideal in weite, vielfältige Fruchtfolgen einfügt. Er stellt keine hohen Ansprüche an die Nährstoffversorgung, hinterlässt aber einen lockeren, humosen und gesunden Boden. Als gute Vorfrucht gelten einjährige Kräuterpflanzen (GREFF et al. 2023). In der vorliegenden Fruchtfolge wurde unter diesen Einjährigen insbesondere Kapuzinerkresse gewählt, da in ihrer Wurzelumgebung nützliche Bakteriengattungen vorkommen, die allgemein für Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit günstig sind (DAL'RIO et al. 2022) und weil hinterlassene endophytische Pilze aus Kapuzinerkresse eine antifungale Wirkung gegen pathogene Pilze (z. B. *Fusarium*, *Alternaria*) ausübt (SANTRA et al. 2024).

Anbautechnik:

Der Spitzwegerich kann sowohl ein- als auch mehrjährig angebaut werden; in der vorliegenden Fruchtfolge ist der dreijährige Anbau mit Herbstaussaat mit herkömmlicher Drilltechnik (mit Ausstattung für Feinsämerei) in flacher Ablage vorgesehen. Ein feinkrümeliges, rückverfestigtes Saatbett ist von Vorteil, gleichermaßen großzügige Reihenabstände zur Unkrautbekämpfung per Hacktechnik. Die Ernte erfolgt in mehreren Schnitten jeweils vor Erscheinen

des Blütenstandes mit tiefschneidenden Maschinen, am besten mit Doppelmessermähbalken, um ein Quetschen des Erntegutes zu vermeiden. Zu tiefe Schnitte verzögern den Wiederaustrieb und erhöhen außerdem den Besatz (**TLLLR** 2021). Kleinteilige Spezialerntemaschinen existieren für den kleinflächigen Anbau; gleichermaßen sind Kräuternerntemaschinen nutzbar, wenngleich ebenfalls selbstfahrende Großtechnik existiert.

3. Ergänzung um Agri-PV

3.1. Darstellung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Die Errichtung einer Agri-PV Anlage nach DIN SPEC 91434 hat i.d.R. Auswirkungen auf die einsetzbaren Maschinen und die Arbeitsbreiten des Produktionsverfahrens. Um die grundsätzliche technische Machbarkeit der Ackerfruchtfolge zu verifizieren, wurde der Landwirt aufgefordert die anzuwendende Landtechnik darzustellen.

Für alle Glieder der Fruchtfolge gilt:

Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung erfolgen mit herkömmlichen Maschinen aus dem Marktfrucht- oder Sonderkulturbau, ggf. kommt eine Umkehrfräse mit Nachläufer zur Anwendung. Die Aussaat von Salbei und Kapuzinerkresse erfolgt mittels Einzelkornsaat. Der Spitzwegerich wird klassisch gedrillt. Zur Unkrautbekämpfung wird vor allem auf Hacktechnik gesetzt, Salbei und Kapuzinerkresse werden zudem durch Folien vor Unkraut geschützt. Es ist notwendig, Maschinen mit kleineren Dimensionen zu nutzen – was im Gemüsebaubau ohnehin gängig ist. Die meisten Arbeiten werden nach Errichtung der Agri-Photovoltaikanlage mit einem Schlepper mit Niedrigdachkabine sowie Anbaugeräten mit bis zu 3 m Arbeitsbreite und Bauhöhe unter 2,10 m durchgeführt.

Zusammenfassend wird an dieser Stelle bestätigt, dass die vorgesehene Landtechnik als gängige Neu- und Gebrauchtware am Markt verfügbar ist. Ein Überblick wird im Folgenden gegeben.

THÜRINGER INTERESSENVERBAND HEIL-, DUFT- UND GEWÜRZPFLANZEN e.V.



Traktor:

z.B. John Deere 5100GL (Höhe = 1,99 m)
z.B. Ferrari Agri Draco 85 (Höhe = 1,86 m)

Bodenbearbeitung:

z.B. Pöttinger Synkro (Arbeitsbreite 3 m)
z.B. Pöttinger Lion (Arbeitsbreite 3 m)

Saatbettbereitung:

z.B. Howard Stoneburier ST600 (Arbeitsbreite ab 1,80 m)
z.B. Kress K.U.L.T. Bügelhacke (Arbeitsbreite ab 1,50)

Folienleger:

z.B. Agro Janssen LOSE (Arbeitsbreite 0,60 - 1,50 m)
z.B. Kaupp V140 (Arbeitsbreite 1,40 - 2,10 m)

Beispiele:



THÜRINGER INTERESSENVERBAND HEIL-, DUFT- UND GEWÜRZPFLANZEN e.V.



Hacktechnik:

- z.B. Garford InRow (Arbeitsbreite ab 1,50 m)
- z.B. Garford InterRow (Arbeitsbreite 2 bis 20 Reihen)
- z.B. Kress K.U.L.T. Duo
- z.B. Farming GT (Robotik)
- z.B. Oz Robot (Robotik)

Aussaat:

- z.B. Amazone D9 (Arbeitsbreite 3 m)
- z.B. Great Plains 3P806NT (Arbeitsbreite 3 m)
- z.B. Kuhn Planter 3 (Arbeitsbreite 3 m)
- z.B. Forigo Modula One (Arbeitsbreite 1 bis 8 Reihen)
- z.B. Forigo Modula Jet (Arbeitsbreite 1 bis 8 Reihen)
- z.B. SAMCO IN-Folie (Arbeitsbreite 0,5 – 2,00 m)

Beispiele:



Ernte:

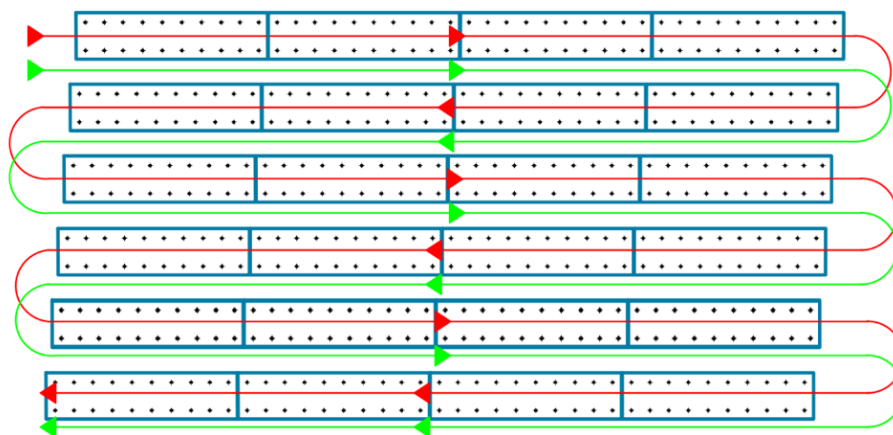
z.B. Di Pietri FR32, Di Pietri FR38

z.B. Ortomec 7200, 7400, Ortomec 8000, 8300

Beispiele:



Die Bearbeitungsrichtung des Ackers erfolgt entlang der Anordnung der PV-Modultische. Dies erfolgt unterhalb (s.u. roter Pfeil) und zwischen den Modultischen (s.u. grüner Pfeil). Dabei entsteht aufgrund der Eigenbreite der Ramppfosten (**11 bzw. 12 cm**) sowie auf einer Pufferfläche von ca. **13 bzw. 16 cm** links und rechts jedes Pfostens eine nicht bearbeitungsfähige Fläche, deren Umfang relevant für die Bewertung nach DIN SPEC 91434 ist.



Alle Vorhabenflächen verfügen über einen Umfahrungsstreifen von **5 m** zur Nutzung als Vorgewende und zur Umfahrung mit den landwirtschaftlichen Maschinen.

3.2. Pflanzenbauliche Effekte der Agri-Photovoltaik

Die zurückliegenden Jahre zeigen, u.a. aufgrund des Klimawandels, insbesondere auch in Deutschland extremere Trockenperioden, zunehmend bereits im Frühjahr. Gleichzeitig nehmen Starkregenereignisse zu, die Jahresniederschläge fallen vielfach in heftigeren, weniger konstanten Regenphasen.

Der betrachtete Landwirtschaftsbetrieb hat sich zur Antwort auf diese Sachverhalte durch Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen in einem geschützten Anbausystem entschieden, welches in einer Parallelnutzung auch der Erzeugung von erneuerbarer Energie dient.

Durch die bereits erläuterte Bauform mit schräggestellter Hochaufständerung, teillichtdurchlässigen Photovoltaikmodulen und einer Regenwasserverteilung kommen pflanzenbaulich insbesondere drei Effekte zum Tragen:

1. Schutz vor Starkwind
2. Schutz vor Starksonne
3. Wassermanagement
 - Schutz vor Platzregen
 - Verteilung von Regenwasser
 - Verringerung der Verdunstung

Durch die wissenschaftliche Forschung an den ausgewählten Kulturpflanzen sind viele botanische und agronomische Grundlagen bereits in den letzten 50 Jahren umfassend bekannt gemacht worden. Vor allem jedoch im Bereich des klimarelevanten und durch Starkwettereffekte verursachten Pflanzenverhaltens häufen sich wissenschaftliche Untersuchungen seit dem Jahr 2020 spürbar, die nachfolgenden Erläuterungen belegen dies vielfach – ebenfalls auffällig repräsentativ für die gewählten Kulturen. Es ist also auch in der internationalen Forschung hinreichend erkennbar, dass sich deren pflanzenbauliche Verfahren auf veränderte Rahmenbedingungen einstellen und dem Klimawandel entgegentreten müssen.



3.3. Salbei unter Agri-PV

Salbei reagiert negativ auf Starkwind und Starksonne, kann hingegen von Verschattung profitieren.

Schutz vor Starkwind:

Wind erzeugt mechanischen Stress, erhöht die Transpiration und verändert das Blattmikroklima; dadurch kann es zu gestauchter Wuchsform, reduzierter Photosynthese und erhöhtem Wasserverlust kommen (**BURGESS** et al. 2016, **HUANG** et al. 2015, **SHAPIRA** et al. 2024). Für den Salbei sind windgeschützte Lagen schon lange als förderlich bekannt (**SCHRÖDER** 1965), auch jüngere Literatur bestätigt windgeschützte Lagen, vgl. **MARQUARD** et al. 2002.

Salbei reagiert nach wissenschaftlichen Erkenntnissen auf Stress vornehmlich über die Blätter. Diese Reaktion begründet sich in der Fähigkeit des Salbeis, wasserführende Mechanismen in den Blättern deutlich herunterzufahren, um in Trockenheitsphasen den Wassertransport im Stängel weiterhin aufrecht erhalten zu können (**SAVI** et al. 2016, **ABATE** et al. 2021). Windschutz kann bei Salbei folglich zur Vermeidung dieser Stressreaktion und somit zur besseren Aufrechterhaltung der Photosyntheseleistung führen.

Schutz vor Starksonne:

Salbei kann grundsätzlich mit starker Sonneneinstrahlung gut umgehen. Kritische Reaktionen zeigt er deutlicher in Kombination mit Windstress (s.o.). Interessant wird ein Schutz vor Sonne beim Salbei jedoch im Feldkulturbau durch Qualitätsgewinne bei Teilverschattung. Moderate Abschattung kann die sekundären Stoffwechselprofile zur Generierung von ätherischen Ölen stabilisieren oder sogar verbessern. In Versuchsreihen von Salbei unter verschiedenen Schattierungsnetzen legten die Gehalte von Thujon und Kampfer im Salbei unter allen Verschattungen merklich zu (**MILENKOVIC** et al. 2025).

Wassermanagement: Schutz vor Verdunstung/Evapotranspiration:

Salbei ist vergleichsweise widerstandsfähig gegen Trockenstress, was seinen vornehmlichen Anbau in mediterranen Ländern erklärt. Zugleich honoriert er aber merklich eine konstante Wasserversorgung in Form von Wuchshöhe bzw. Trockenmasseertrag (**SOLTANBEIGI** et al. 2021) und auch Ölgehalt (**RASHED** et al. 2012). Dies hat zudem eine nachgewiesene Relevanz auf schwereren Böden (**RASHED** et al. 2012), wie sie in Deutschland vielerorts vorkommen. In jungen Beständen von Salbei sind höhere Wassermengen erforderlich, in späteren Stadien sollte Trockenstress unbedingt vermieden werden. (**HEEGER** 1956, **VETTER** et al. 1991, **KOLB & DAVIS** 1994).

3.4. Kapuzinerkresse unter Agri-PV

Kapuzinerkresse reagiert auf Stress nachweislich negativ, honoriert daher jeglichen Schutz.

Schutz vor Starkwind:

Die peltaten Blätter von *T. majus* haben eine charakteristische Petiol-Lamina-Übergangszone; starke Windlasten erhöhen dort die mechanische Beanspruchung. Windschutz reduziert Blattverformung und Rissrisiko – und damit Funktionsverlust der Blattfläche. Nachgewiesen wurde dieser Wirkzusammenhang für *T. majus* (**SACHER** et al. 2019) sowie *T. tuberosum* als Vertreterin derselben Gattung *Tropaeolum* (**WUNNENBERG** et al. 2021)

Schutz vor Starksonne:

T. majus zeigt dramatische Blattwinkel-Anpassungen unter Erwärmung (**THOMAS** et al. 2024) – ein Stress-/ Vermeidungszeichen. Teilbeschattung in heißen Phasen senkt Strahlungs- und Wärmelast, stabilisiert Photosynthese und Blattwasserstatus. Diese ertragsrelevante Pflanzenreaktion ist aus dem Tomatenanbau bekannt, wurde jedoch insbesondere auch für Kapuzinerkresse nachgewiesen (**THOMAS** et al. 2024, **XU** et al. 2021).

Ein gezielter Schutz vor zu starker Sonne trägt zur Stabilität des Wasserhaushalts, zur Vitalität der Blätter und zur konstant hohen Zier- und Ertragsqualität der Art bei.

Wassermanagement: Schutz vor Verdunstung/Evapotranspiration:

Unter Wassermangel sinken bei *Tropaeolum majus* die stomatäre Leitfähigkeit, die Photosynthese-Leistung und das Wachstum; Maßnahmen gegen hohe Verdunstung (Mulch, Wind-/Sonnenschutz, konstante Bodenfeuchte) beugen dem vor (**MIRCEA** et al. 2023). Studien zeigen, dass gezielte Stressmilderung (z. B. osmotische Schutzstoffe) bei *T. majus* Wachstum, Gaswechsel und Phytochemie unter abiotischem Stress verbessert – ein Hinweis, wie empfindlich die Art auf Wasserdefizite reagiert und wie sehr sie von Stressreduktion profitiert (**TARGINO** et al. 2025).

3.5. Spitzwegerich unter Agri-PV

Der Einfluss von Starkwind, Sonne und Starkregen auf Spitzwegerich ist in der Wissenschaft umfangreich beleuchtet.

Schutz vor Starkwind:

Für Salbei gelten hinsichtlich der Vermeidung von Starkwind grundsätzlich ähnliche Wirkzusammenhänge wie beim Spitzwegerich (s.o.). Konkrete Untersuchungen an *Plantago*-Arten zeigen, dass Wind (anders als reine mechanische Berührung) Blattstruktur, Blattausdünnung und Wachstumsallokation signifikant verändert. In Situationen mit starkem Wind reduziert ein windmilderndes Mikroklima mechanischen Stress und Wasserverlust und unterstützt stabilere Blattfunktionen und Biomasseproduktion (**ONODA** et al. 2011).

Schutz vor Starksonne:

Spitzwegerich zeigt ausgeprägte Plastizität gegenüber Lichtqualität und -intensität: Pflanzen aus sonnigen Standorten haben andere Blatt- und Wachstumseigenschaften als schattenganpasste Populationen. Zu starke direkte Einstrahlung (hohe Licht- und Temperaturspitzen) kann Photo- und Hitzestress verursachen; schattierende Maßnahmen mildern Stress, erhalten die Photosyntheseeffizienz und verhindern Blattverkahlung bzw. übermäßige Transpiration (**VAN HINSBERG** et al. 1997). Ein moderater Schutz vor extremer Einstrahlung fördert physiologische Stabilität und optimales Wachstum. Ergebnisse von **MIEHE-STEIER** et al. (2015) zeigen, dass *Plantago* sichtbare Anpassungen an die Lichtumgebung aufzeigt: bei intensiver Besonnung verändern sich Morphologie und sekundäre Stoffproduktion (**STEFANOV** et al. 2012). Daraus folgt, dass ein mäßiger Schutz vor extremer Einstrahlung (z. B. durch Teilschatten) helfen kann, Stress zu reduzieren und das Wachstum stabiler zu gestalten.

Wassermanagement: Schutz vor Starkregen und Wasserdruck:

Platzweise hohe Niederschläge und Wasserstau führen zu temporärem Wasserdruck und Sauerstoffmangel im Wurzelraum (Waterlogging). Aktuelle Experimente mit *Plantago lanceolata* zeigen, dass Wasserstau die Blattverlängerung, Photosyntheserate und das Wachstum während der Stressperiode deutlich reduzieren kann; Pflanzen erholen sich zwar meist nach Abtrocknung, profitieren aber von Standorten mit besserer Drainage oder Schutz, da so Produktionseinbußen und Wurzelschäden minimiert werden (**WILSON** et al. 2023). Schutzmaßnahmen verringern Waterlogging-Stress und sichern konstante Produktivität auch für *Plantago lanceolata* (**BANACH** et al. 2009).

4. Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren mit und ohne Agri-PV

4.1. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Aus den vorgehenden Erläuterungen und den herangezogenen Quellen lassen sich Schlussfolgerungen ziehen, welche ökonomischen Auswirkungen der Wechsel zum Produktionssystem Agri-PV haben kann. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sowohl positive als auch negative Effekte eintreten werden, sowohl frucht- als auch jahresspezifisch. Um das Risiko zu betrieblichen Fehlentscheidungen zu minimieren, wird in vielen Annahmen vom schlechtesten Fall ausgegangen (worst case Betrachtung), gleichwohl werden alle pflanzenbaulich vertretbaren Annahmen getätigt.

Die Einhaltung der DIN SPEC 91434 ist ohnehin während des Betriebs der Agri-Photovoltaikanlage sicherzustellen, hier insbesondere Erträge und landwirtschaftlich nutzbare Fläche.

Zuzüglich zu den bisher behandelten wissenschaftlichen Untersuchungen finden nun zudem

- Produktionskostenberechnungen der arznei- und gewürzbaulichen Betriebsberatung
- Angepasste Maschinenkosten für kleinteiligere Technik und zusätzliche Überfahrten
- Marktpreisverläufe und -erfahrungen der vergangenen Jahre
- Ertragsverläufe und -erfahrungen der vergangenen Jahre
- Erfahrungswissen aus dem praktizierten Arznei- und Gewürzpflanzenbau

mit Unterstützung des Thüringer Interessenverbandes für Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen e.V. Einfluss in die nachfolgenden Betrachtungen.

Aus Gründen des Datenschutzes und zum Schutz von Geschäftswissen in einer Nischenbranche werden Berechnungen von ökonomischen Einzelwerten nicht in Gänze publiziert, können auf spezifische Anfrage aber vorgestellt werden.

4.2. Rechenmethodik und Zahlenquellen

Erforderlich nach DIN SPEC 91434 ist ein Vergleich der Erträge mit und ohne Agri-Photovoltaik. Der Verfasser weist bereits an dieser Stelle darauf hin, dass eine landwirtschaftlich-unternehmerische Entscheidung nicht anhand von pflanzenbaulichen Erträgen, sondern auf Grundlage einer monetären Gewinnerwartung getroffen wird.

Gleichwohl sind die Ertragserwartungen ein bedeutender Teil einer Wirtschaftlichkeitsberechnung, da sie mit dem zu erzielenden Verkaufspreis die Erlösseite einer Deckungsbeitragsrechnung ausmachen. Es werden unter der Agri-Photovoltaikanlage Ertragsreduzierungen angenommen, welche auf den bereits hinlänglich erklärten wissenschaftlichen Beobachtungen basieren. Zwischen den Modulreihen sind unveränderte Erträge des Freilandbaus zu erwarten.

Den Erlösen entgegenzustellen sind die variablen Produktionskosten eines Pflanzenbauverfahrens. Die Produktionskosten steigen annahmegemäß in einem Produktionssystem mit Agri-PV, da andere marktgängige Landtechnik zum Einsatz kommt. Während im Getreidebau

mit Agri-Photovoltaik der größte Teil der Maschinen angepasst werden muss, ist dies im Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen (wie bei vielen anderen Sonderkulturen) nur bei wenigen Maschinen der Fall (z.B. Pflanzenschutzspritze, Hackgerät). Die eingesetzten Landmaschinen sind mannigfaltig verfügbar und auch Stand der Produktionstechnik. Insbesondere bei den Bestandspflegearbeiten sind marktgängige Maschinen (z.B. Kasten- oder Schleuderdüngerstreuer, Grubber, (Scheiben-)egge, Drillmaschine) nutzbar. Auch die Erntetechnik für Arznei- und Gewürzpflanzen passt mit ihren Sonderkulturmaschinen zur hier betrachteten Bauform der Agri-PV.

Für jede Kultur sind individuelle Deckungsbeitragsrechnungen angefertigt worden, welche alle Ertrags- und Aufwandsaspekte berücksichtigen. Deren Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

4.3. Vergleich der Produktionsverfahren mit und ohne Agri-PV

4.3.1. Übersicht über Ernteerträge und Deckungsbeiträge mit und ohne Agri-PV

Feldkultur	Salbei	Kapuzinerkresse	Spitzwegerich	Salbei	Kapuzinerkresse	Spitzwegerich	Salbei	Kapuzinerkresse	Spitzwegerich
	Freiland			zwischen Modulreihen			unter Modulreihen		
Anbaujahre inkl. Etablierungsjahr	3	1	3	3	1	3	3	1	3
Erlöse pro ha und Jahr*									
Ertrag (kg/ha)	1.533	900	967	1.533	900	967	1.150	720	677
Preis pro kg	3,60 €	4,70 €	1,90 €	3,60 €	4,70 €	1,90 €	3,60 €	4,70 €	1,90 €
Stromerlöse				2.750 €	2.750 €	2.750 €	2.750 €	2.750 €	2.750 €
Erlös gesamt	5.520 €	4.230 €	1.837 €	8.270 €	6.980 €	4.587 €	6.890 €	6.134 €	4.036 €
Direktkosten pro ha und Jahr*									
Bodenbearbeitung	85 €	290 €	85 €	223 €	760 €	223 €	112 €	380 €	112 €
Aussaat	1.108 €	1.470 €	173 €	1.167 €	1.585 €	238 €	1.117 €	1.485 €	193 €
Düngung	360 €	337 €	226 €	415 €	413 €	235 €	381 €	363 €	235 €
Mechanische Unkrautbekämpfung	2.449 €	641 €	593 €	2.655 €	745 €	601 €	2.497 €	665 €	601 €
Pflanzenschutz	200 €	287 €	48 €	428 €	572 €	115 €	280 €	387 €	72 €
Ernte	658 €	1.005 €	397 €	840 €	1.080 €	620 €	720 €	1.080 €	473 €
Variable Kosten gesamt	4.202 €	3.024 €	1.125 €	4.888 €	4.074 €	1.412 €	4.387 €	3.279 €	1.212 €
Deckungsbeitrag pro Jahr*									
DB (€)	1.318 €	1.206 €	711 €	3.382 €	2.906 €	3.175 €	2.503 €	2.855 €	2.824 €

*= inkl. ggf. Etablierungsjahr

Zusammenfassung:

- Positive Deckungsbeiträge im Produktionssystem Freiland
- Ertragserwartung konstant zwischen den Modulreihen
- Ertragsreduzierungen unter den PV-Modulen
- **Zumeist höhere Deckungsbeiträge in beiden Teilbereichen des Produktionssystems Agri-PV im Vergleich Produktionssystem Freiland**
- **Jedoch noch keine bauartbedingten Verluste des Produktionssystems Agri-PV berücksichtigt, dazu siehe nachfolgende Übersicht**

4.3.2. Zusammenführung in das Produktionssystem Agri-Photovoltaik

Fruchtart		Jahr 1-3	Jahr 4	Jahr 5-7	Fruchtfolge
		Salbei	Kapuzinerkresse	Spitzwegerich	
Flächenanteil in der Fruchtfolge		43%	14%	43%	100%
Szenario ohne Agri-PV					
Ertrag	kg/ha	1.533	900	967	1.200
Deckungsbeitrag	EUR/ha	1.318	1.206	711	1.042
Szenario mit Agri-PV					
Eingezäunte Gesamtfläche	m²		427.600		
davon mit Modulreihen und Reihenzwischenräumen belegt	m ²		392.500		
dort nach Abzug von Pfostenabständen noch nutzbar			90,6%		
= Ldw. nutzbare Fläche unter und zwischen den Modulreihen	m ²		355.605		
zzgl. Vorgewende ohne Modulbelegung	m ²		35.100		
abzgl. Versiegelung laut Landschaftspflegerischem Begleitplan	m ²		3.904		
Landwirtschaftlich nutzbare Fläche gesamt	m²		386.801		
Landwirtschaftlich nutzbare Fläche gesamt			90,5%		
Mit Modulen überschröimte Fläche			51,0%		
Ertrag unter den Modultischen	dt FM/ha	1.150	720	677	886
Ertrag zwischen den Modultischen	dt FM/ha	1.533	900	967	1.200
Deckungsbeitrag unter den Modultischen	EUR/ha	2.503	2.855	2.824	2.691
Deckungsbeitrag zwischen den Modultischen	EUR/ha	3.382	2.906	3.175	3.225
Ertrag auf Gesamtfläche	kg/ha	1.210	731	741	941
Deckungsbeitrag auf Gesamtfläche je ha	EUR/ha	2.904 €	2.873 €	2.976 €	2.930 €
Landnutzungseffizienz gemäß DIN SPEC 91434 (Relativer Ertrag auf Gesamtfläche im Vergleich zu Anbau ohne Agri-PV)		79%	81%	77%	78%
Auswirkung auf Deckungsbeitrag		+1.586 €	+1.667 €	+2.265 €	+1.888 €

Zusammenfassung:

- Es werden Ernteerträge von 77 bis 81 % des Referenzertrages erwirtschaftet
- Die Ertragseinbußen unter den Modultischen fallen stärker ins Gewicht als die konstanten Erträge zwischen den Modultischen
- Die erhöhten Arbeits- und Maschinenkosten werden überkompensiert durch anteilige Stromerlöse aufgrund der Agri-PV
- **Die landwirtschaftlich nutzbare Fläche beträgt 90,5 %**
- **Die durchschnittliche Landnutzungseffizienz nach DIN SPEC 91434 in der Fruchtfolge beträgt 78 %**
- **Das Produktionssystem Agri-PV führt zu zusätzlichen Deckungsbeiträgen in der Fruchtfolge in Höhe von +1.888 EUR pro Hektar und Jahr**

Hierzu siehe Anforderung DIN SPEC 91434:

5.2.9 Kalkulation der Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen des Konzeptes zur landwirtschaftlichen Nutzung muss ein wirtschaftlich tragfähiges Konzept zur landwirtschaftlichen Nutzung aus Perspektive des Landwirts vorgelegt werden.

5.2.10 Landnutzungseffizienz

Es muss sichergestellt sein, dass der Ertrag der Kulturpflanze(n) auf der Gesamtprojekfläche nach dem Bau der Agri-PV-Anlage mindestens 66 % des Referenzertrages beträgt. Die Ertragsreduktion der landwirtschaftlichen Kulturen ergibt sich aus dem Verlust an landwirtschaftlich nutzbarer Fläche durch die Aufbauten/ Unterkonstruktionen der Agri-PV-Anlage und aus der Verringerung des Ertrages durch Beschattung, verminderter Wasserverfügbarkeit usw.

5.2.11 Ermittlung des Referenzertrags

Die Ertragsreduktion muss im landwirtschaftlichen Nutzungskonzept erfasst werden. Dazu muss der Referenzertrag festgestellt werden. Dies kann folgendermaßen erfolgen:

- a) Kultur/Kulturen wurden bereits auf der Gesamtprojekfläche oder auf anderen Fläche des Betriebes angebaut: Bei Dauerkulturen und Grünland wird der Ertrag der letzten 3 Jahre gemittelt. In Ackerbaufruchtfolgen muss der Ertrag der einzelnen Kulturen über 3 Fruchtfolgezyklen gemittelt werden.
- b) Kultur/Kulturen wurden noch nicht auf dem Betrieb angebaut: Durchschnittserträge der letzten drei Jahre aus einschlägigen Veröffentlichungen (z. B. destatis, Agrarstatistiken der Bundesländer) werden als Referenzerträge festgelegt.

5.2.12 Ermittlung der Ertragsreduktion der auf der Gesamtprojekfläche angebauten Kulturen

Die maximale Ertragsreduktion von einem Drittel des Referenzertrages errechnet sich aus dem Flächenverlust durch die Aufständigung und aus einer Abschätzung des Ertragsverlustes, der durch Beschattung, ungleichmäßige Wasserverteilung, Veränderung des Mikroklimas und anderen ertragswirksamen Umweltwirkungen, die durch die Agri-PV-Anlage erzeugt werden. Die Abschätzung der Ertragsreduktion kann durch qualifiziertes Fachpersonal vorgenommen werden.

5. Gesamtbewertung des Anbauverfahrens

5.1. Bewertung des Anbauverfahrens nach DIN SPEC 91434

Zum Nachweis der landwirtschaftlichen Kompatibilität einer Agri-Photovoltaikanlage konzentriert sich die DIN SPEC 91434 u.a. auf

- die Bauform sowie die **lichte Höhe der Agri-PV Anlage**
- die umgesetzte **Fruchtfolge**
- die Praktikabilität in der **Maschinennutzung**
- die **Licht- und Wasserversorgung** der Kulturpflanzen
- den **Verlust landwirtschaftlich bewirtschaftbarer Fläche**
- den **Referenzertrag**
- sowie die daraus resultierende **Landnutzungseffizienz**

Fazit:

Aus den vorgelagerten Ausführungen ist erkennbar, dass die Anforderungen der DIN SPEC 91434 erfüllt werden.

Mit dem bewirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieb ist ein regelmäßiges Monitoring, entsprechend DIN SPEC 91434 alle 3 Jahre, verpflichtend vereinbart und einzuhalten.

6. Bewertung des Verfahrens nach beratungsfachlicher Betrachtung

Während sich die DIN SPEC 91434 auf isolierte Kriterien konzentriert, stehen aus betriebsberaterlicher Perspektive ebenso die Wirtschaftlichkeit sowie Folgeeffekte des Produktionsverfahrens im Fokus.

Fazit aus landwirtschaftlicher und wirtschaftlicher Perspektive:

- Die angestrebte Fruchtfolge ist pflanzenbaulich problemlos möglich und entspricht der guten landwirtschaftlichen Praxis im arznei- und gewürzpflanzlichen Ackerbau. Die notwendige Landtechnik ist als Gebraucht- und als Neuware mannigfaltig am Markt erhältlich. Ansprüche des GAP Prämienrechts sind gewahrt, phytosanitäre Belange sind erfüllt.
- Ein Totalausfallrisiko durch Starkwetterereignisse (Starkwind, Platzregen, Sonnenbrand, Schadverdunstung) wird durch den Wetterschutz der Agri-PV massiv verringert.
- Der Betrieb folgt dem langfristigen Trend zur extensiveren Landwirtschaft, lokalen Produktion, alternativer Fruchtfolgen und unterliegt weniger der Notwendigkeit bedingungslosen Flächenwachstums.
- Der Betrieb löst sich aus festgefahrenen Strukturen der Intensivlandwirtschaft und kann Risiken in der pflanzenbaulichen Produktion durch Zusatzeinnahmen absichern.
- Erzielte Ertragsreduktionen sowie Effekte durch kleinteiligere Bewirtschaftung durch Pflanzenbau unter und zwischen den Agri-PV-Modulen wirken sich in messbarem Maße aus.
- Die Mehreinnahmen des Betriebs durch die Etablierung von Agri-Photovoltaik kompensieren diese Wirtschaftlichkeitsreduktionen im Pflanzenbau jedoch deutlich.

Fazit:

Der Landwirtschaftsbetrieb erhält im Produktionssystem Agri-PV erhöhte ökonomische Sicherheit, während er weiterhin die Chancen des deckungsbeitragsstarken Betriebszweiges Arznei- und Gewürzpflanzenproduktion nutzen kann. Ökonomisch und strategisch kann aus beraterlicher Sicht zum Produktionssystem Agri-PV geraten werden.

7. Quellen und Bezugspunkte

- ABATE E., AZZARA M., TRIFILO P.:** When Water Availability Is Low, Two Mediterranean Salvia Species Rely on Root Hydraulics, *Plants* 10(9), S. 1888, 2021
- BANACH K., BANACH A.M., LAMERS L.P.M., KROON J.C.J.M., BENNICELLI R.P., SMITS A.J.M.:** Differences in flooding tolerance between species from two wetland habitats with contrasting hydrology [...], *Annals of Botany* 103, S. 341-351, 2009
- BOMME U.:** Kulturanleitung für Gartensalbei, Merkblätter für Pflanzenbau, Heil- und Gewürzpflanzen, Freising-Weihenstephan, 1988
- BRIESKORN CH.:** Salbei – seine Inhaltsstoffe und sein therapeutischer Wert, *Z Phytotherapie*, 1991
- BURGESS A.J., RETKUTE R., PRESTON S.:** The 4-Dimensional Plant: Effects of Wind-Induced Canopy Movement on [...] and Photosynthesis, *Frontiers*, 2016
- DACHLER M., PELZMANN H.:** Arznei- und Gewürzpflanzen, Cadmos Verlag, 2017
- DAL'RIO I., MATEUS J.R., SELDIN L.:** Unraveling the *Tropaeolum majus* L. (*Nasturtium*) Root-Associated Bacterial Community in Search of Potential Biofertilizers, *Microorganisms*. Mar 17 10(3), S. 638, 2022
- GREFF B., SÁHÓ A., LAKATOS E., VARGA L.:** Biocontrol Activity of Aromatic and Medicinal Plants and Their Bioactive Components against Soil-Borne Pathogens, *Plants* 12(4), S. 706, 2023
- HAMMER K., HAMMER M.:** Kapuzinerkresse, eine Pflanze mit vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten, *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*, 02/25, S. 52-58, 2025
- HUANG C.W., CHU C.R., HSIEH C.I.:** Wind-induced leaf transpiration, *Advances in Water Resources* 86 A, S. 240-255, 2015
- HEEGER E.:** Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaues, Deutscher Bauernverlag, Berlin, 1956
- HOPPE B. (HRSG.) / SALUPLANTA E.V.:** Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 4. Eigenverlag, 2012
- HOPPE B. (HRSG.) / Saluplanta e.V.:** Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaus, Band 5. Eigenverlag, 2013
- KOLB K., DAVIS S.:** Drought Tolerance and xylem embolism in co-occurring species of coastal sage and chaparral, *Ecology*, 1994
- MARQUARD R., KROTH, E.:** Anbau und Qualitätsanforderungen ausgewählter Arzneipflanzen II, *AgriMedia*, 2002
- MIELKE H., SCHÖBER-BUTIN B.:** Heil- und Gewürzpflanzen, *Mitteilungen aus der biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 411, S. 100-102, 2007
- MIEHE-STEIER A., ROSCHER C., REICHEL T., GERSHENZON J., UNSICKER S.:** Light and Nutrient Dependent Responses in Secondary Metabolites of *Plantago lanceolata* Offspring Are Due to Phenotypic Plasticity in Experimental Grasslands, *PLOS ONE Journal*, 2015
- MILEKOVIC L., ILIC Z., STANOJEVIC L., SUNIC L., MILENKOWVIC A., STANOJEVIC J., CVETKOVIC D.:** Does photosynthetic netting influence yield, chemical composition and antioxidant activities of essential oils in cultivated sage?, *Frontiers*, 2025
- MIRCEA D., CALONE R., SHAKYA R., ZUZUNAGA-ROSAS J., SESTRAS RE., BOSCAIU M., SESTRAS A. ET AL:** Evaluation of Drought Responses in Two *Tropaeolum* Species Used in Landscaping through Morphological and Biochemical Markers, *Life* 13(4), S. 960, 2023
- ONODA Y., ANTEN N.:** Wind and mechanical stimuli differentially affect leaf traits in *Plantago major*, *New Phytol* 188, S. 554, 2011

- RASHED N.M., MOURSI E.A.:** Influence of Cultivation Method and Irrigation Regime on Growth, Oil Yield and Some Water Relations of Sage (*Salvia officinalis*, L.) in Heavy Clay Soils, *Alexandria Science Exchange Journal* 33, S. 165-175, 2012
- SACHER M., LAUTENSCHLÄGER T., KEMPE A., NEINHUIS C.:** Umbrella leaves-Biomechanics of transition zone from lamina to petiole of peltate leaves, *Bioinspiration & biomimetics : learning from nature* 14(4), 2019
- SANTRA, H.K., DUTTA, R. & BANERJEE, D.:** Antifungal activity of bio-active cell-free culture extracts and volatile organic compounds (VOCs) synthesised by endophytic fungal isolates of Garden Nasturtium, *Scientific Reports* 14, Nr. 11228. 2024
- SAVI T., MARIN M., LUGLIO J.:** Leaf hydraulic vulnerability protects stem functionality under drought stress in *S. officinalis*, *Functional Plant Biology* 43(4), 370-379, 2016
- SCHRÖDER H.:** Die Düngung von Arznei und Gewürzpflanzen, *Handbuch Pflanzenernährung Düngung*. Springer, Berlin, 1965
- SHAPIRA O., HOCHBERG U., JOSEH A.:** Wind speed affects the rate and kinetics of stomatal conductance, *The plant journal*, 4/120, S. 1552 – 1562, 2024
- STEFANOV D., KURTEVA M. ET AL.:** Photosynthetic adaptation to changes in light environment in sun and shade plants, *Conference seminar of ecology*, Sofia, 2012
- SOLTANBEIGI A., YILDIZ M., DIRAMAN H.:** Growth responses and essential oil profile of *Salvia officinalis* L. Influenced by water deficit and various nutrient sources in the greenhouse, *Saudi Journal of Biological Sciences* 28(12), S. 7327-7335, 2021
- TARGINO V., DIAS, T.J., SOUSA, V. ET AL.:** Growth, Gas Exchange, and Phytochemical Quality of Nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) Subjected to Proline Concentrations and Salinity, *Plants* 14(3), S. 301, 2025
- THOMAS M., ROBERTS R., HECKATHORN S., BOLDT J.:** Species Survey of Leaf Hyponasty Responses to Warming Plus Elevated CO₂, *Plants* 13(2), S. 204, 2024
- THÜRINGER LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND LÄNDLICHEN RAUM:** Anbau von Kapuzinerkresse im Saatverfahren [...], 2024
- THÜRINGER LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND LÄNDLICHEN RAUM:** Anbautelegramm Spitzwegerich, 2021
- VAN HINSBERG A., VAN TIENDEREN P.:** Variation in Growth Form in Relation to Spectral Light Quality (Red/Far-Red Ratio) in *Plantago lanceolata* L. in Sun and Shade Populations, *Oecologia* 111 No. 4, S.452-459, 1997
- VETTER A., PANK F., DUBIEL M., OVERKAMP J.:** Empfehlungen und Richtwerte für die Berechnung von Arznei- und Gewürzpflanzen, *Drogenreport* 1991
- WILSON S., DONAGHY D.J., HORNE D.J., NAVARRETE S.:** Plantain (*Pl. Lanceolata* L.) Growth Is Limited Under Waterlogging, XXV International Grassland Congress, 2023
- WUNNENBERG J., RIOSK A., NEINHUIS C., LAUTENSCHLÄGER T.:** Strengthening Structures in the Petiole-Lamina Junction of Peltate Leaves, *Biomimetics*, 6(2), S. 25, 2021
- XU W., NA, L., KIKUCHI M., TAKAGAKI M.:** Continuous Lighting and High Daily Light Integral Enhance Yield and Quality of Mass-Produced Nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) [...], *Plants* 10(6), S. 1023, 2021