



Emissionsfreie Strauchbeeren
Produktion in Brandenburg

Sunbot

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, DE, Ansprechpartner Tobias Krüger, Drittmittelbeauftragter, +49 (0)331 5699 731, drittmittel@atb-potsdam.de und Cornelia Weltzien, Projektleitung, +49 (0)331 5699 410, cweltzien@atb-potsdam.de, www.atb-potsdam.de.
Zuwendungsbescheid Annette Prochnow

Projektkoordination: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, DE, Prof. Dr. Cornelia Weltzien und Dr. Jana Käthner, Projektkoordination, +49 (0)331 5699 410, CWeltzien@atb-potsdam.de, <https://www.atb-potsdam.de/de/ueber-uns/team/mitarbeiter/person/cornelia-weltzien>,

Mitglieder der Operationellen Gruppe und assoziierte Partner: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V., Prof. Dr.-Ing. Weltzien Cornelia, HNEE Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Prof. Dr.-Ing. Kramer Eckart, HSD – Hochschule Düsseldorf, Institut für Produktentwicklung und Innovation, Prof. Dr.-Ing. Jahr Andreas, Hydac – HYDAC Software GmbH, Lautner Erik, ESM - Ennepetaler Schneid- und Mähtechnik GmbH & Co. KG, Oehler Wolfgang, MCE – MCE GmbH, Cywinski Edwin, VKR – Versuchs- und Kontrollring für den Integrierten Anbau von Obst und Gemüse im Land Brandenburg e. V., Dr. Jende Andreas, Weggun – Bauernhof Weggun, Drs. Ing. van der Hulst Frank, Neumann Raik Neumann Obst- und Pferdehof, Naumann Raik, Schöneiche Bio Obsthof Frehn GmbH & Co. KG, Frehn Christoph

Projektlaufzeit: 11/2018–08/2022 (kostenneutrale Verlängerung bis 08/2023)

Bewilligt: 1.527.316,45 €, getätigte Ausgaben: 1.349.101,27 €

31.07.2023

Autoren: Dr. Jana **Käthner**, Linda Nagler, Jana Schwefler, Stefan Sorge, Tjark Schütte, Dr. Redmond Shamshiri, Deepak Hanike Basavekowda, Krzysztof Powalla, Erik Lautner, Frank van der Hulst, Jeremy Alex, Dr. Andre Batos, Christoph Frehn, Raik Neumann, Edwin Cywinski, Prof. Dr.-Ing. Andreas Jahr, Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer, Prof. Dr.-Ing. Cornelia **Weltzien**



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Kurzfassung deutsch	5
2 Kurzfassung englisch	5
3 Situation zu Projektbeginn	6
3.1 Ausgangssituation	6
3.2 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens	7
4 Projektverlauf	9
AP 1: Optimierung der Anbauverfahren – speziell Pflegemaßnahmen	11
AP 2: Energiebereitstellung – regeneratives hofautarkes Energiekonzept	13
AP 3: Konfiguration des autonomen Elektro-Traktors	16
AP 4: Erweitertes Safety & Security Konzept	19
AP 5: Gesamtsystem-Bewertung	20
AP 6: Dissemination & AP 7: Koordination	22
5 Projektergebnisse & Diskussion	22
5.1 Projektergebnisse Ziel 1 Kosteneffizienz: Verfahrenskosten & Wertschöpfung	22
5.2 Projektergebnisse Ziel 2 Reduktion Emission, Verbesserung Energiebilanz	31
5.3 Projektergebnisse Ziel 4 regionale Wertschöpfungsketten	40
5.4 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen	45
5.5 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen	46
5.6 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	47
5.7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen ..	48
5.8 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen	49
6. Zusammenarbeit der operationellen Gruppe	49
7. Kommunikations- und Disseminationskonzept	50
8. Anhang	51
8.1 Verwendung der Zuwendung	51
8.2 Nutzung des Innovationsdienstleisters (IDL)	51
8.3 Nachweis der Veröffentlichungen	52
8.4 Kostenparameter	56
8.5 Standortbedingungen	56
8.5.1 Standortbedingungen und Plantagenmanagement	56
8.5.2 Projektverlaufs- und Meilensteinplan	58
8.6 Ausgewählte relevante Indikatoren für die KSNL:	60
8.7 Beispielauswertung der KUL:	61

8.8 Fragebogen mit Auswertung	62
8.9 Qualitätsauswertung	63
8.10 Übersicht der Biodiversität	63
8.11 Staatliche Förderprogramme.....	64
8.12 Leistungsflüsse der PV von Weggun und Schöneiche	68
8.13 Parameter zur Szenarioberechnung.....	69
8.14 Daten Marquardt 2021–2022	70
8.15 Praxisblätter	73
8.15.1 Allgemein.....	73
8.15.2 Plantagenhygiene.....	73
8.15.3 LoRaWAN-System	73
8.15.4 Biodiversität.....	73
8.15.5 Lademanagement.....	73
8.15.6 Elektrischer Traktor	73
8.15.7 Elektrisches Mähwerk.....	73
8.15.8 Navigation	73
8.15.9 Sicherheit	73
8.15.10 KSNL.....	73
Quellen.....	74

1 Kurzfassung deutsch

Im Brandenburger Beerenanbau stellt die Anzahl notwendiger Pflegemaßnahmen eine Herausforderung dar. Aus Kostengründen wird das Optimum oft nicht erreicht. Einbußen an Ertrag und Qualität sind die Folge wodurch die Wettbewerbsfähigkeit leidet. Zeitliche Überschneidungen von Pflegemaßnahmen und Ernte lassen die Anbauenden an die Grenzen ihrer personellen Ressourcen stoßen. Hier setzt SunBot an. Die Idee ist, Pflegearbeiten autonom auszuführen und in die Randzeiten zu verlegen. Selbsterzeugte regenerative Energie versorgt dazu den elektrisch angetriebenen Traktor mit Gerät.

Das Projekt SunBot zielte darauf ab den Strauchbeerenanbau in Brandenburg in diesen wesentlichen Punkten zu optimieren:

1. Steigerung der Kosteneffizienz mittels steigender Qualität und Wertschöpfung, bei reduzierten Verfahrenskosten.
2. Verbesserung der Nachhaltigkeit durch Reduzierung des CO₂-Ausstoßes.
3. Steigerung der Arbeitsproduktivität mittels Reduzierung des Arbeitsaufwands.
4. Stärkung regionaler Strukturen durch Ausbau regionaler Wertschöpfungsketten und gesteigerter Attraktivität von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum durch flexiblere Arbeitseinteilung und Umgang mit innovativen Technologien.

Das Projekt SunBot konnte zeigen, dass es sich für mittelständige Betriebe lohnt, eine elektrisch angetriebene, selbstfahrende Traktor-Mäher Kombination anzuschaffen um die Fahrgassenmahd autonom durchzuführen. So kann der CO₂-Ausstoß reduziert und die Arbeitsproduktivität gesteigert werden. Die Einführung dieser Maßnahmen zur Digitalisierung der Landwirtschaft stärken darüber hinaus die regionalen Strukturen sowie die Attraktivität des Berufsbildes Land-/Obstwirt.

2 Kurzfassung englisch

To assure highest produce quality and yield in organic berry production, orchard nursery practices such as repeated mowing in-between the rows of cultivars is a necessity, in order to allow ideal cross-ventilation to reduce disease pressure in the plantation. Mowing, however, is a highly repetitive labor-intensive task, which until to date requires skilled operators with fossil fuel tractors. But in practical farming, labor shortage and resource limitations drastically reduce the number of realistically possible interventions. Thus, leading to a loss of yield and fruit quality along with reduced competitiveness. To overcome these challenges, the project SunBot aims at an autonomous execution of the mowing operation supplied by self-produced regenerative energy.

The main objective of the project is to increase productivity and profitability of berry orchards, through higher yield and quality of berry fruits. The specific targets are:

1. To improve sustainability and ecological balance by reducing CO₂ output
2. to increase labor productivity by reducing workload and operation cost.
3. to strengthen regional structures by expanding regional value chains and
4. to increase the attractiveness of jobs in rural areas.

The SunBot project successfully demonstrated that it pays off for medium-sized berry farms to purchase an electrically powered tractor-mower combination for autonomous tramline mowing. This could reduce CO₂ emissions and increase labor productivity. The introduction of these digitalization measures for agriculture, regional structures could be strengthened and the berry farmers workload can be organized more flexible and innovative technologies are highly attractive – especially to the younger generation.

3 Situation zu Projektbeginn

3.1 Ausgangssituation

Der Strauchbeerenanbau in Brandenburg steht in direkter Konkurrenz zu wirtschaftlich vorteilhafteren Anbauregionen (Lohn, Klima, Böden). Die ländlichen Gebiete in Brandenburg leiden unter stetiger Abwanderung. Die aus der Entvölkerung entstehenden Herausforderungen für den Obstbau sind **Fachkräftemangel** und steigende **Lohnkosten**. In Kombination mit den stetig steigenden Kosten für Energie, Maschinen und Material und einer stagnierenden flächenbezogenen Nettowertschöpfung (Bröcker 2017) ergibt sich eine häufig existenzbedrohende wirtschaftliche Situation für die Obstbauern in Brandenburg. In Interviews und Gesprächen schildern erfahrene Obstwirte (vdHulst, Frehn, VKR), das häufige und regelmäßige Pflegearbeiten ein wichtiger Aspekt zur Förderung der Plantagenhygiene sind. Gerade im ökologischen Obstbau ist das Kurzhalten des Unterwuchses ein der wichtigsten, praxisrelevanten Maßnahmen, um die Durchlüftung zu verbessern und so den Krankheitsdruck zu reduzieren und Ertragsverlusten vorzubeugen (vdHulst 2017). Die Häufigkeit der Pflegearbeiten verursacht jedoch **Arbeitsspitzen** und **Konflikte** bei der Arbeitsorganisation, die Situation wird durch den Fachkräftemangel weiter verschärft. Wirtschaftlich betrachtet, machen das vorbeugende Kurzhalten des Unterwuchses und im konventionellen Bereich das nachsorgende Spritzen über 50 % der Pflegekosten aus (KTBL 2017). Der Mangel an Personal und Finanzmitteln führt in der Praxis häufig zu suboptimaler Ausführung dieser Pflegemaßnahmen. Fehlende Plantagenhygiene kann, insbesondere bei ökologischem Anbau von Himbeeren als Frischware, zu erheblichen

Ertrags- und Qualitätsverlusten führen (vdHulst 2017), wodurch Wirtschaftlichkeit und Produktivität im Beerenanbau weiter sinken.

3.2 Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Der integrierte und ökologische Strauchbeerenanbau in Brandenburg soll daher in vier wesentlichen Punkten verbessert werden. Die Hauptziele lauten:

Ziel 1: Steigerung der Kosteneffizienz mittels steigender Qualität und Wertschöpfung, bei reduzierten Verfahrenskosten.

Ziel 2: Verbesserung der Nachhaltigkeit bzw. Ökobilanz durch Reduzierung des CO₂-Ausstoßes, trotz steigendem Energiebedarf.

Ziel 3: Steigerung der Arbeitsproduktivität mittels Reduzierung des Arbeitsaufwands, bei konstanten und steigenden Erträgen.

Ziel 4: Stärkung regionaler Strukturen durch Ausbau regionaler Wertschöpfungsketten und Steigerung der Attraktivität von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum.

Die Arbeitshypothesen des SunBot Projektes lauten:

- Zur Vermarktung als frisches Produkt muss eine hohe Produktqualität sichergestellt werden. Um (Wert-)Verluste zu vermeiden, ist eine optimale Plantagenhygiene mit sehr häufigen Pflegemaßnahmen notwendig.
- Zur Reduzierung des Arbeitsaufwands müssen dazu die Arbeitsabläufe optimiert und Geräte vermehrt autonom eingesetzt werden. Hierbei muss auch berücksichtigt werden, dass die häufigeren autonomen Pflegemaßnahmen nicht an anderer Stelle zu Mehrbelastungen führen.
- Durch selbsterzeugte regenerative Energie können die Energiekosten reduziert und zusätzlich die Ökobilanz und die Nachhaltigkeit durch reduzierten CO₂-Ausstoß verbessert werden.

Durch die Nähe zum Berliner Absatzmarkt ergeben sich gute Absatzmöglichkeiten für ökologische, frische Produkte. Daher soll der ökologische Anbau von frischem Beerenobst in Brandenburg durch geeignete Innovationen gestärkt, wirtschaftlich rentabler gemacht und durch neue Geschäftsmodelle unterstützt werden. Zusätzliche Wertschöpfung kann durch neue Vermarktungskonzepte einer „emissionsfreien Strauchbeeren-Produktion“ entstehen, z. B. durch ein „200 %-Öko“ Label.

Zur Überprüfung der Arbeitshypothesen des Projekts SunBot musste der Nachweis erbracht werden, dass durch Optimierung der Pflegemaßnahmen der Strauchbeerenanbau hinsichtlich Kosteneffizienz, Arbeitsproduktivität und Ökobilanz verbessert werden kann. Die hierfür

notwendigen Konzepte für optimierte Anbauverfahren hinsichtlich der Häufigkeit der Pflegemaßnahmen und Plantagenhygiene waren jedoch noch nicht existent und wurden durch das Projekt erstellt. Ebenso wenig gab es Studien welche die Auswirkungen dieser Optimierungsansätze auf die Vermarktungsfähigkeit der Beeren als frische Produkte untersucht haben. Im Projekt wurde die Auswirkung auf die Ertragsentwicklung und subjektive Qualitätsermittlung für die Beispiele Himbeeren, Johannisbeeren und Heidelbeeren überprüft.

Auch die notwendigen technischen Innovationen zur Energiebereitstellung durch hofeigene Photovoltaikanlagen sowie ein autonom fahrendes, elektrisch angetriebenes, mit selbsterzeugter Sonnenenergie versorgtes Traktor-Geräte-Gespann zur Unterwuchspflege fehlten zu Projektbeginn. Im Forschungsprojekt wurde erfolgreich der SunBot Demonstrator entwickelt, ein autonomes, vollelektrisches Plantagenfahrzeug mit dazugehöriger Ladeinfrastruktur. Die technischen Innovationen beziehen sich sowohl auf die Energiebereitstellung durch hofeigene Photovoltaikanlagen sowie die Integration und Automatisierung Arbeits- und Fahrprozesse zu einem autonom fahrenden Traktor-Geräte-Gespann zur Unterwuchspflege. Robustheit, Autarkie und Sicherheitsaspekte sowie die dafür notwendige sensorische Umfelderkennung waren wichtige Aspekte der Entwicklung. Der neuentwickelte SunBot Demonstrator wurde in Praxisversuchen erfolgreich erprobt.

Um die ökonomischen und ökologischen Effekte zu untersuchen, welche sich durch den Einsatz des SunBots auf die landwirtschaftlichen Betriebe ergeben, wurde das Kriterien-System Nachhaltige Landwirtschaft, kurz KSNL-Verfahren, verwendet. Dieses Verfahren dient zur Bewertung landwirtschaftlicher Betriebe und ermöglicht so die Identifizierung von Schwachstellen auf betrieblicher Ebene. Die Bewertung erfolgt im Allgemeinen durch 34 Nachhaltigkeitsindikatoren in den Bereichen Ökologie, Soziales und Ökonomie, wobei im Rahmen des Projekts nur Ökologie und Ökonomie betrachtet wurden. Die hierfür benötigten Daten wurden im standardisierten Prozess anhand eines Fragebogens erhoben, zusätzlich wurden Inhalte des BMELV-Jahresabschlussberichts genutzt. Die Ergebnisse wurden mit Boniturnoten von 1-6 bewertet, woraus sich ein Netzdiagramm für den Überblick sowie detaillierte Auswertungsbögen ergaben. Die Vorteile des Systems sind, dass es gut erprobt und bewährt ist; dass eine Gewichtung oder Zusammenfassung einzelner Kriterien nicht stattfindet, um ein Ausgleichen von überschrittenen, kritischen (umweltrelevanten) Werten einzelner Kriterien zu vermeiden; dass mit den skalierten Maßzahlen für die Indikatoren Veränderungen bei einzelnen Indikatoren über die Zeit quantitativ vergleichbar erfasst werden können, was Optimierungspotenzial zutage bringt.

4 Projektverlauf

Das Projekt startete mit der Bewilligung am 09.08.2018, endete am 31.08.2022 und wurde bis zum 31.08.2023 kostenneutral verlängert. Das Projekt gliederte sich in 7 Arbeitspakete (AP) mit jeweils 3 Teilpaketen (TP):

- AP 1: Optimierung der Anbauverfahren – speziell Pflegemaßnahmen
- AP 2: Energiebereitstellung – regeneratives hofautarkes Energiekonzept
- AP 3: Konfiguration des autonomen Elektro-Traktors
- AP 4: Erweitertes Safety & Security Konzept
- AP 5: Gesamtsystem-Bewertung
- AP 6: Dissemination
- AP 7: Koordination

Der Projektverlauf untergliederte sich in insgesamt 4 Phasen (I Konzeptentwicklung, II Praxisversuche, III Analysen, IV Projektverlängerung). Die zu Projektbeginn noch sehr geringe Marktverfügbarkeit elektrischer Traktoren und die COVID19-Pandemie führten z. T. zu einer Verschiebung des Zeitplans, insbesondere in Phase II, bei dem Aufbau des Demonstrators und den anschließenden Praxisversuchen. In der Abbildung 1 sind die entsprechenden zeitlichen Verschiebungen und Meilensteine (MS*) in Orange markiert.

AP 1: Optimierung der Anbauverfahren – speziell Pflegemaßnahmen

In **AP 1** wurden während der Vegetationsperioden 2019 bis 2021 auf den Partnerbetrieben umfassende Feldversuche zur Untersuchung folgender Grundhypothese geplant (MS2 und MS3), durchgeführt (MS8) und ausgewertet (MS10): Das Kurzhalten der Fahrgassenbegrünung führt, aufgrund der verbesserten Durchlüftung, zu einer erhöhten Plantagenhygiene des Strauchbeerenbestands. Der sinkende Konkurrenz- und Infektionsdruck lässt verbesserte Qualitäten und entsprechend höhere Anteile an verkaufsfähiger Frischware erwarten (Erfahrungswerte vdHulst, 2016).

Die Untersuchungen zur **Plantagenhygiene** und deren Auswirkungen auf **Qualität** und **Ertrag** fanden in Schwarzen Johannisbeeren (Weggun, Schöneiche) und Herbsthimbeeren (Weggun) statt. Am Standort Frankfurt (Oder) wurden in den Heidelbeeren Funktionstests zum Erproben des LoRaWAN-Systems zur Felddatenerhebung in Brandenburg durchgeführt. Die Praxisversuche auf den anderen beiden Referenzbetrieben wurden auf den oben genannten Strauchbeerenschlägen als Streifenanlage mit dem Prüffaktor **Fahrgassenmahdfrequenz** mit zwei Faktorstufen (BAU, TEST) in einfacher (Schwarze Johannisbeeren in Weggun) und dreifacher Wiederholung (Himbeeren in Weggun, Schwarze Johannisbeeren in Schöneiche) angelegt (Abbildung 2). Die Anlage als Demonstrationsversuch (einfache Wiederholung) auf o. g. Standorten war der geringen Schlaggröße bzw. der geringen Anzahl an vorhandenen Pflanzreihen geschuldet. Die betriebsübliche Mahd in der Variante BAU



Abbildung 2: 19.05.2021 Demonstrationsfeld Weggun, Reihe BAU (links) und TEST (rechts) mit einem Grashöhenunterschied von 13,2 cm. Zusätzlich sind die lückenhaften Grasnarben des Versuchsfeldes von den Herbsthimbeeren Weggun rechts zu sehen (11.09.2019).

(*business as usual*) fand bis zu dreimal in der Saison (April-Sep. 2019, 2020, 2021) mit betriebseigener Technik durch die Anbauer statt. Bei der Faktorstufe TEST erfolgte die Mahd mit einem Hand-Balkenmäher witterungsbedingt in einem 1- bis 2-wöchigen Rhythmus, sodass die Höhe des Fahrgassenbestands über die Versuchsdauer kontinuierlich unter 10 cm betrug.

Angesichts der sommerbedingten Trockenheit auf dem Versuchsfeld der Herbsthimbeeren in Weggun konnte im gesamten Beobachtungszeitraum (2019 bis 2021) ein repräsentativer Grashöhenunterschied zwischen den beiden Varianten BAU und TEST nicht erfolgreich implementiert werden. Die

Ergebnisdarstellung in Kapitel 5 konzentriert sich demnach auf die Versuche in den Schwarzen Johannisbeeren.

Zur Bewertung der Plantagenhygiene wurden in den Versuchsperioden 2020 und 2021 Mikroklimauntersuchungen (Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte) in den Strauchbeerenparzellen durchgeführt. Beobachtungen von Holb und Scherm zeigen, dass eine geringe Mahdfrequenz in ökologisch geführten Apfelanlagen zu einer höheren Infektion der am Boden liegenden Früchte mit Braunfäule (*Monilinia fructigena*) führt (Holb und Scherm 2007). Nach Santoiemma et al. resultiert aus einer häufigeren Mahd ein geringeres Schadensniveau von *Drosophila Suzukii* in Süßkirschenanlagen (Santoiemma et al. 2020). Ein Grund für diese Ergebnisse sehen beide Arbeiten in den ungünstigeren Feuchtebedingungen der nicht gemähten Flächen, die sich positiv auf den Entwicklungszyklus beider Schaderreger auszuwirken scheinen. Zusätzlich zu den Mikroklimamessungen wurden pro Versuchsjahr 3 bis 5 Sichtbonituren auf pilzliche Schaderreger in den Versuchspartellen durchgeführt.

Die Ernte der Strauchbeerenparzellen erfolgte per Hand. Im gleichen Schritt erfolgte eine subjektive Qualitätsbeurteilung. Dafür wurden die geernteten Beeren jeweils in drei Kategorien unterteilt (K1 = Frischware, K2 = Verarbeitung, K3 = Verlust) und das Gewicht je Kategorie Busch in kg dokumentiert. Im Anschluss wurden die Beeren ergänzend auf die inneren (Zucker- und Säuregehalt, Trockenmasse, Wassergehalt) und äußeren Qualitätsparameter (Form, Farbe, Gewicht, Haltbarkeit) im Labor gemäß den Richtlinien der obstbaulichen Leistungsprüfung untersucht. In Schöneiche wurde in den Versuchsjahren 2020 und 2021 die Blüte durch Spätfrost im April/Mai sowie durch einen Schädlingsbefall des Frostspanners so stark geschädigt, dass in beiden Jahren ein Totalausfall der Ernte entstand. Aus diesem Grund liegen für die Schwarzen Johannisbeeren in Schöneiche für 2020 und 2021 keine Ergebnisse zum Ertrag und zu Qualitätsparametern vor.

Es wurde im Zuwendungsbescheid für das Vorhaben SunBot festgelegt, die Auswirkungen der Pflegemaßnahmen auf die **Biodiversität** zu untersuchen. Insgesamt wurden pro Versuchsjahr drei bis fünf Sichtkontrollen zur Erfassung von Insektenfamilien durchgeführt. Zur Messung der spezifischen Diversität beider Versuchsvarianten wurde der Shannon-Wiener-Index (Artenanzahl und Verteilung der Individuen innerhalb dieser Arten) und Evenness (Artgleichverteilung) berechnet.

Zum Vergleich der **Verfahrenskosten** des SunBot mit der üblichen betrieblichen Technik wurden zunächst Bestandsaufnahmen auf den Partnerbetrieben zu den angewandten Pflegemaßnahmen (Verfahrenstechnik, technische Ausstattung, Arbeitszeit- und Kraftstoffverbrauchsmessungen) durchgeführt (März bis September 2019).

Anhand der betrieblichen Daten wurden die jährlichen Arbeits- und Kraftstoffkosten für den Prozess der Fahrgassenmahd kalkuliert und ein Referenzszenario ermittelt, welches unter gleichen technischen und verfahrenstechnischen Bedingungen prognostizierte Preissteigerungen für Dieselkraftstoff sowie steigende Lohnkosten berücksichtigt. Die Prognosen beruhen auf Recherchen zur Entwicklung der Energiepreise bis 2030 und auf dem Gesetzesentwurf zur Steigerung des gesetzlichen Mindestlohns. Außerdem wurden die

Mehrkosten durch eine steigende Pflegefrequenz von 5- bis 6-mal je Saison auf 1- bis 2-wöchigen Rhythmus für den Standort Weggun ermittelt.

Für den Verfahrenskostenvergleich wurden zunächst die technische Auslastung und die Maschinenkosten für die betriebsübliche Dieselsechnik und für den SunBot ermittelt. Angesichts der hohen Entwicklungskosten, die sich aus dem Aufbau eines elektrisch autonomen Demonstrators ergeben, wurden für einen realistischen Vergleich die Investitionskosten von aktuell marktverfügbaren E-Traktoren für den SunBot angenommen (Stand Dezember 2021). Zudem wurde der Marktpreis des batteriebetriebenen Traktors zusätzlich pauschal um 30 Prozent Mehrkosten für die Automatisierung (d. h. Kostenschätzung für Komponenten) erhöht. Für die jeweiligen Betriebe wurde ein dem Stand der Technik entsprechendes elektrisches Vergleichsmodell zum derzeit genutzten Dieseltraktor ausgewählt. Die Basis für die Ermittlung der Maschinenkosten der Dieselsechnik bildeten, neben den auf den Betrieben erhobenen Parametern, die Datensammlungen der KTBL-MaKost. Die Kalkulationsgrundlage für die Maschinenkosten des E-Traktors bildeten die Parameter aus den technischen Datenblättern der Hersteller (u. a. Energieverbrauch, Wartungsaufwand) und von der Dieselsechnik abgeleitete Daten (für Elektrotraktoren aktuell noch nicht verfügbar) ebenfalls aus KTBL-MaKost. Im Anschluss erfolgte die Berechnung der Arbeitsleistungskosten in € je Jahr bzw. € je ha für den Prozess der Fahrgassenmahd anhand der ermittelten Maschinenkosten in € je Maschinenstunde (€/Mh). Eine detaillierte Aufstellung der für die Kalkulation verwendeten Grunddaten findet sich im Anhang 8.4.

Eine Übersicht zur Durchführung der Feldversuche und zur Datenerhebung der einzelnen Parameter auf den Partnerbetrieben ist in Anhang 8.5 dargestellt. Die Meilensteine konnten gemäß Zeitplan abgeschlossen werden.

AP 2: Energiebereitstellung – regeneratives hofautarkes Energiekonzept

Im Rahmen des **AP2** fanden zur Realisierung eines regenerativen hofautarken Energiekonzeptes im Februar 2019 auf den Partnerbetrieben zunächst Bestandsaufnahmen zur technischen Ausstattung der betriebseigenen PV-Anlagen und zum Nutzungsverhalten des Stroms (jährlicher Stromertrag, Drosselung, vertragliche Bindungen, Eigenverbrauch) statt. Aus dem Nutzungsverhalten wurde eine entsprechende Energiebilanz erstellt, welche aufzeichnet, zu welchen Anteilen der Strom auf den Betrieben eingespeist, zugekauft und eigenverbraucht wird. Daraus wurde die theoretische Energieverfügbarkeit für das SunBot-System abgeleitet und ein Konzept für die technische Umsetzung der Ladeinfrastruktur, bestehend aus Pufferspeicher, Ladestation und Energiemanagement, entwickelt. Auf Basis der Ergebnisse der Kraftstoffverbrauchsmessungen beim Prozess der betriebsüblichen Fahrgassenpflege ab März 2019 (s. AP 1) sollte die entsprechende Emissionsmenge ermittelt werden, welche jeweils den Vergleichsmaßstab (Baseline) für die Bewertung des SunBot-Systems bildet (Referenzszenario, MS2).

Um einen ganztägigen Einsatz auf verschiedenen Betrieben mit möglichst geringen Stand- bzw. Ladezeiten zu ermöglichen, wurden zusammen mit dem Projektpartner MCE entsprechende Anforderungen für das Konzept einer praxistauglichen Energiemanagementstation erarbeitet:

- Für die Bereitstellung von ausreichend selbsterzeugter regenerativer Energie für den elektrisch autonomen Traktor im 24-Stunden-Einsatz sollte in der Ladeinfrastruktur etwa das Doppelte der Traktor-Akkumulatoren-Kapazität installiert sein.
- Das Energiespeichermanagement sah einen zweifachen Ansatz vor: Die erste Hälfte der gesamtbevorrateten Speicherkapazität sollte in einem Wechsel-Akku stecken, der bei Bedarf gegen den leeren Traktor-Akku getauscht werden soll. Die zweite Hälfte in einem festinstallierten Puffer-Akku, der zu jeder Tages- und Nachtzeit die benötigte Energie für den zu ladenden Wechsel-Akku bereithält, auch wenn keine Sonnenenergie zur Verfügung steht.
- Um Leistungsgengpässe der PV-Anlagen zu überbrücken, sollte teils zusätzlich auf Strom aus dem öffentlichen Netz zurückgegriffen werden können.
- Damit die Praxistests zur Leistungsfähigkeit, Praktikabilität und Energiebilanz auf allen drei Partnerbetrieben stattfinden konnten, sollte die Energiemanagementstation auf einem Pkw-Anhänger aufgebaut werden.

Aufgrund der technischen Weiterentwicklung der Akkumulator-Technik und den verschärften Sicherheitsvorschriften, welche den Einsatz gebrauchter Akkus verbieten, konnte das dem Antrag zugrundeliegende Angebot eines E-Traktors mit verbauten Gebraucht-Akkus mit einer Kapazität von 46 kWh nicht mehr angeboten werden. Das neue Angebot beinhaltete einen Traktor mit neuen LiFePO₄-Akkus mit einer Kapazität von 85 kWh (Stand Februar 2019). Daraus ergaben sich Mehrkosten in Höhe von 36.500 € für die Bereitstellung von ausreichend regenerativer Energie über die Ladeinfrastruktur (insgesamt 170 kWh Speicherkapazität). Ein Antrag auf Erstattung unvorhersehbarer Kosten wurde am 2019 bewilligt. Demnach standen für den Demonstrator Ladeinfrastruktur 76.250 € zur Verfügung.

Es sollte zunächst die Beschaffung des E-Traktors erfolgen, um ggf. erforderliche Anpassungen an der Spezifikation der Ladeinfrastruktur vornehmen zu können. Bis November 2019 blieben die Ausschreibungen zur Beschaffung eines geeigneten Basisfahrzeugs erfolglos. Das im Vorfeld des Vergabeverfahrens zugrundeliegende Angebot wurde aus verwaltungs- und verfahrenstechnischen Gründen nicht erteilt. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt geringen Marktverfügbarkeit elektrisch angetriebener Traktoren gingen keine Angebote ein. Durch die Vorstellung des Projekts auf der Agritechnica 2019 konnte ein E-Hoftrac der Firma Weidemann als E-Traktoralternative gefunden werden. Nach einem weiteren Vergabeverfahren erfolgte die Lieferung des Hoftracs im Juli 2020. Erste Praxistests zur Einsatzdauer auf der Plantage und zum Ladeverhalten des E-Hoftracs bestätigten die Notwendigkeit der Planung und des Einbaus eines leistungsstärkeren und schnellladefähigeren Batteriesystems für den autonomen Einsatz (Juni bis Oktober 2020, MS4). Aus diesem Grund erfolgte gemäß der Änderungsanzeige von 2020 die Beschaffung eines Konzepts für die Modifizierung der Energieversorgung und des Lademanagements eines elektrischen Hoftracs für den Einsatz in Obstplantagen unter der Nutzung hofeigener PV-Energie. Aufgrund personeller Engpässe hinsichtlich der COVID19-Pandemie konnte die Fertigstellung und Besprechung des neuen Konzepts erst im September 2021 erfolgen. Unter Berücksichtigung des Budgets, des Spannungsbereichs sowie des verfügbaren Bauraums im und am E-Hoftrac ergaben sich gemäß dem Konzept der Firma ECap-

Mobility folgende mögliche Anpassungen und Änderungen am E-Hoftrac und bei der Planung der Ladeinfrastruktur:

- Die Batteriekapazität des E-Hoftracs soll von 14,4 kWh (Blei-Säure) auf 20,5 kWh (LiFePo4) gesteigert werden. Die Ladeleistung kann von ca. 1,8 kW (CEE7/4) auf 7,5 kW (TYP2) erhöht werden, wodurch sich die Ladedauer von etwa 8 Stunden auf etwa 2 Stunden verringern sollte.
- Von einem Akku-Wechsel soll aus Sicherheitsgründen abgesehen werden. Der Pufferspeicher soll die doppelte Traktor-Akku-Kapazität (41 kWh) bereitstellen.
- Der Puffer-Akku soll vorrangig über die PV-Anlage aufgeladen und zusätzlich mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt werden.
- Neben dem E-Hoftrac sollen weitere gewöhnliche Elektrofahrzeuge mit einer Ladeleistung von bis zu 11 kW aufgeladen werden können.
- Die gesamte Energiemanagementstation soll auf einem einachsigen Anhänger installiert werden, um den Einsatz an verschiedenen Standorten zu ermöglichen.

Durch das angepasste Konzept kann die effektive Einsatzzeit des Hoftracs auf der Plantage von etwa 20 % auf bis zu 50 % gesteigert werden. Von einer anfänglich zum Ziel gesetzten Laufzeit von bis zu 24 Stunden konnte ein potenzieller 12-Stunden-Einsatz umgesetzt werden. Die entstandenen Mehrkosten im Verhältnis zur ursprünglich geplanten Dimension der zu bevorratenden Energiemenge kamen zustande durch die zusätzlich in Auftrag gegebenen Konzepterstellung, Preissteigerungen aufgrund von Lieferengpässen durch die Corona-Pandemie, die Einhaltung deutscher und europäischer (Sicherheits-)Standards, die Notwendigkeit weiterer Komponenten und durch die Kosten für eine fachgerechte Umsetzung, Systemerprobung und Einweisung.

Zwischen Oktober 2021 und April 2022 musste das Vergabeverfahren zur Beschaffung der Ladeinfrastruktur 3 Mal wiederholt und die Leistungsbeschreibung angepasst werden, da zunächst die gesetzten Budget- und Lieferzeitgrenzen durch die eingegangenen Angebote nicht eingehalten werden konnten. Im Anschluss wurde der SunBot nach Marquardt und zur LVAT (Versuchsfelder des ATBs, Daten Anhang 8.14) für die Praxistests zur Leistungsfähigkeit, Praktikabilität und Energiebilanz transportiert. Dafür wurde der Demonstrator über jeweils einen Monat in den betrieblichen Alltag integriert. Autonom als auch manuell durchgeführte Arbeiten wurden mit entsprechender Einsatzdauer dokumentiert. Des Weiteren galt es, die Anzahl der Ladezyklen, die Gesamt-Ladedauer pro Tag sowie die Anteile an täglich verbrauchtem PV-Strom und Netzstrom zu erfassen. Über einen Zeitraum von 24 Stunden wurde zudem die tatsächliche effektive Einsatzzeit untersucht. Dabei galt es, im Wechsel den E-Hoftrac vollständig aufzuladen und ihn im Anschluss autonom die Fahrgassenmähd bis zu einem Ladestand von 20 % durchführen zu lassen. Die Parameter Lade- und Einsatzzeit wurden entsprechend dokumentiert (März 2023, MS6).

Aufgrund des stark verzögerten Prozesses der Komponentenbeschaffung konnte nur eine verkürzte Versuchsperiode realisiert werden. Um dies zu kompensieren, erfolgte im Vorfeld eine Bewertung der

Leistungsfähigkeit, Praktikabilität und Energiebilanz für die Betriebe auf Basis von Kalkulationen und Modellen. Die abgeleiteten Annahmen wurden mit den Ergebnissen aus dem Praxistest evaluiert.

AP 3: Konfiguration des autonomen Elektro-Traktors

In **AP 3** wurde der E-Hoftrac angeschafft und für den autonomen Betrieb umgebaut. Dafür wurde in der Entwurfs- und Entwicklungsphase des autonomen Navigations- und Kollisionsvermeidungssystems (Abbildung 3) für den elektrischen Hoftrac und Mäher ein realitätsnahes Simulationsmodell angefertigt. In der spezifisch entwickelten, virtuellen Umgebung wurden die optimalen Sensorpositionen ermittelt und das Fahrverhalten analysiert. Hierfür wurden detaillierte Simulationsmodelle des SunBot E-Hoftracs, des Mäherwerks und der Sensoren erstellt, um sie dann in der virtuellen Beerenplantage als Proof-of-Concept zu evaluieren (Shamshiri et al., 2022; Schütte et al., 2022; Gorjian et al., 2020; Shamshiri et al., 2020; Weltzien, C. & Shamshiri, R., 2019).

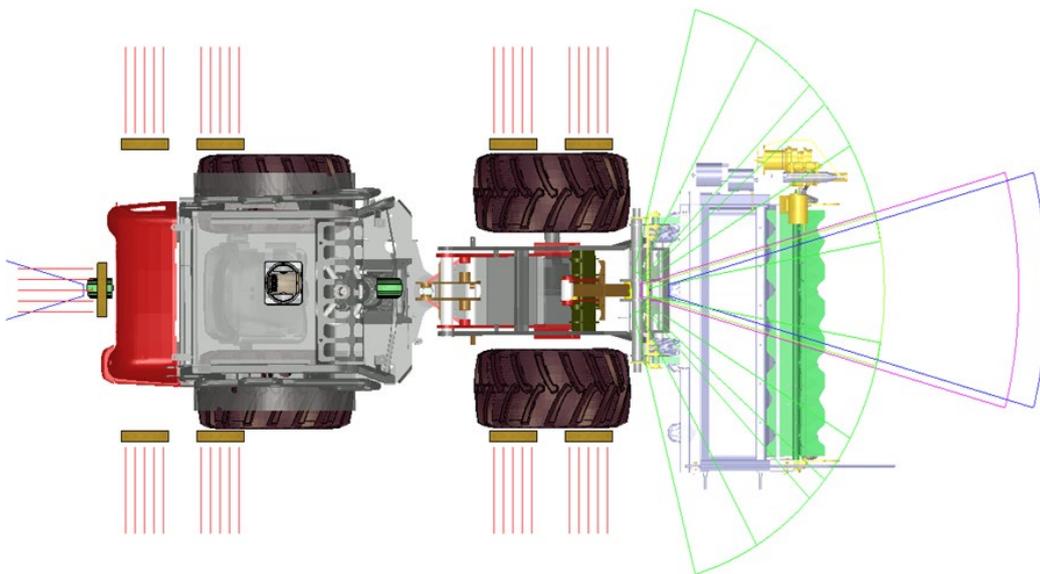


Abbildung 3: Der Einsatz von Simulationen zur Entwicklung von Sensorkonzepten für die autonome Navigation des SunBot E-Hoftracs, die Grafik zeigt die Simulationsimplementierung der Sensoren zur Hinderniserkennung und Navigationsunterstützung. In rot Abstandssensoren zur Buschreihe, in grün und violett zur Hinderniserkennung im Fahrweg (Shamshiri)

Das elektrisch angetriebene Mäherwerk wurde von FMDauto – Institut für Produktentwicklung und Innovation der Hochschule Düsseldorf, mit Unterstützung der Firma ESM konstruiert und entwickelt. Es besteht aus einem energieeffizienten, elektrisch angetriebenen Balkenmäherwerk, einer Reinigungseinrichtung zur Weitergabe des Schnittguts vom Mähbalken an das Förderband sowie einem Querförderband zur seitlichen Gutablage (siehe Abbildung 4). Das Mäherwerk basiert auf dem Doppelmesserschneidwerk Bidux der Ennepetaler Schneid- und Mähetechnik GmbH (ESM). Der Scherenschnitt des Doppelmesserschneidwerks erfolgt energieeffizient und sauber, dies hat sowohl einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch als auch auf den Zustand der bewirtschafteten Flächen. Der sauber und präzise ausgeführte Schnitt verringert/verhindert die Bildung von Pilzen und Fäule, außerdem wird das Schnittgut nicht mehrfach

geschnitten. Somit erleiden weniger im Gras lebende Insekten oder andere Lebewesen Verletzungen oder werden getötet und die Fauna auf den Flächen bleibt erhalten. Durch das nachgeordnete Förderband wird das Schnittgut als Gründüngung zu den Stämmen der Nutzpflanzen befördert. Die hierdurch verfügbaren Nährstoffe verringern den Einsatz von zusätzlichen Düngemitteln. Der Betrieb des Mähwerks ist zu 100 % elektrisch und wird von dem Batteriesystem der SunBot-Maschine gespeist.

Für die Fertigung und Beschaffung des Mähwerk-Prototyps (Abbildung 4) war die Ennepetaler Schneid- und Mähtechnik GmbH verantwortlich. Nach seiner Fertigstellung wurde dieses Mähwerk mit der Umfeldsensorik der SunBot-Maschine ausgestattet und die Steuerung in das Fahrzeugseitige CANBUS-System integriert. Zum Ende des Projekts ist so ein voll funktionstüchtiger Prototyp eines elektrisch angetriebenen, energieeffizienten und Fauna schonenden Mähwerks entstanden, welcher alle definierten Anforderungen erfüllt.

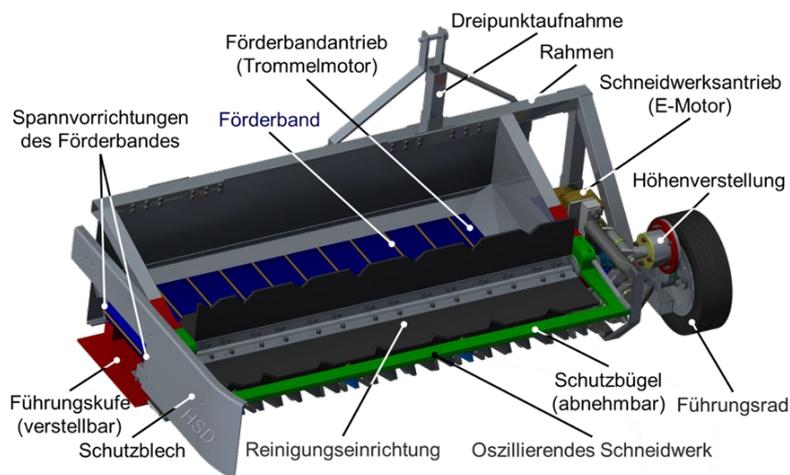


Abbildung 4: Detailzeichnung des Prototyps des Mähwerkes

Mit Hilfe der im Projekt entwickelten CAN-Bus-Kommunikation werden die Steuerbefehle zwischen der zentralen Fahrzeugsteuerung und dem Mähwerk sowie zwischen den Komponenten Schneidwerk, Förderband und Reinigungsvorrichtung ausgetauscht. Dies ermöglicht es, die Geschwindigkeiten aller Module individuell anzupassen. Denn die Schnittgeschwindigkeit sowie die Drehzahlen der Reinigungseinheit und des Förderbandes müssen auf die Fahrgeschwindigkeit und Bestandsdichte und -Höhe angepasst werden. Die Abstimmung der Drehzahl ist ein kritischer Faktor für die Arbeitsqualität von Reinigungseinheit, um das Schnittgut vollständig zu sammeln und des Förderbands, um das Schnittgut gleichmäßig und nah am Pflanzenbestand abzulegen. Hierzu wurden im Projekt wichtige empirische Daten erhoben, aber noch keine vollständige Automatisierung erreicht.

Mit Hilfe der Simulation wurde im nächsten Schritt das kinematische Verhalten des Fahrzeugs beim Wenden am Reiheneende entsprechend den tatsächlichen Fahrzeugabmessungen sowie der realen Feldbedingungen analysiert (Abbildung 5). Basierend hierauf wurden verschiedene autonome

Navigationsalgorithmen einschließlich einer Wegpunktverfolgung und einer Fuzzy-Logik-Hinderniserkennung in der Simulation implementiert. Hierdurch konnten die Algorithmen innerhalb der Simulation optimiert werden, bevor sie auf der Maschine im Feld getestet wurden. Grundlage der assistierten Navigation und Hindernisvermeidung sind die Umgebungssensoren welche den Abstand zu den Buschreihen erfassen. Die Fahrzeugsteuerung reagiert bedarfsgerecht auf diese Information, damit die SunBot Maschine nicht zu nah an die Büsche heranfährt (Shamshiri et al., 2022). Auch die Sensoren wurden zunächst in der Simulation getestet und dann auf der realen Maschine.

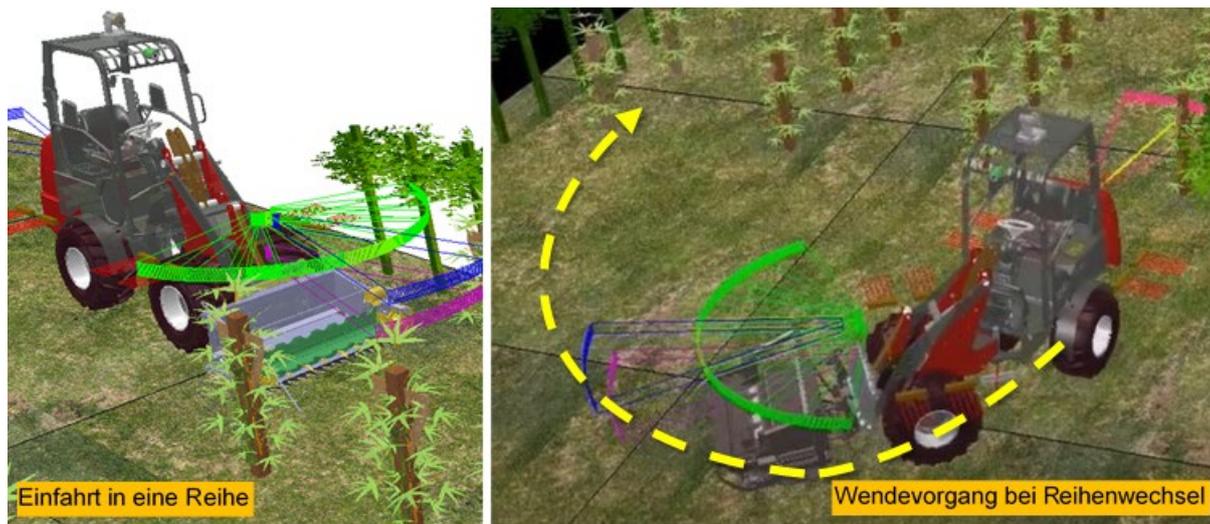


Abbildung 5: Die Verwendung der Simulation für die kinematische Analyse des SunBot E-Hoftracs mit dem angebrachten Mähwerk. Farblich dargestellt in grün, violett und rot die Erfassungsbereiche der simulierten Sensoren zur Hinderniserkennung und Navigationsunterstützung (Shamshiri)

Für die Regelung der unterschiedlichen Steuergeräte, Sensoren und Aktoren wurde ein verteilter Ansatz gewählt, das DCS-System (distributed control system). Im Vergleich zu einem auf ein Steuergerät konzentriertes System ermöglichte dieser Ansatz die Verteilung von Berechnungen und Aufgaben auf mehrere Verarbeitungsknoten, was eine effizientere und zuverlässigere Steuerung sowie eine größere Flexibilität und Skalierbarkeit ermöglicht. Auf der Kommunikationsebene wurde CAN-Bus (ISO 11898-2) für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Knoten verwendet, da es skalierbar und sehr zuverlässig ist. Diese Kommunikationsarchitektur ermöglichte eine Datenübertragung mit hoher Geschwindigkeit und eine Hinderniserkennung in Echtzeit. Die dezentrale Kommunikationsarchitektur und Datenverarbeitung stellt sicher, dass immer nur relevante Informationen verarbeitet und weitergeleitet werden, wodurch die Rechenleistung des gesamten Systems erhöht wird. In Labor- und Feldtests zur Leistung und Zuverlässigkeit der Kommunikationssysteme zeigte sich, dass der Roboter auch dann noch in der Lage war zu navigieren, wenn ein Sensorknoten ausfiel. Dies ist eine sehr wichtige Erkenntnis im Hinblick auf Robustheit und Sicherheit von autonomen Steuerungssysteme. Ebenfalls essentiell zur Erhaltung der Autonomie ist, dass die gewählte Konfiguration die serielle Überwachung der Daten zur Fehlerbehebung ermöglicht, sowie dass alle Sensorsteuerungen über integrierte Fehlertoleranzfunktionen verfügen, um

Fehler bei der Datenübertragung zu erkennen und zu korrigieren. Gegen die feldüblichen Verschmutzungen wurden wasserdichte Sensorgehäuse (IP67) mit GX16- und GX12-Steckverbindern verwendet.

Die Hardware- und Software-Implementierung des **Kollisionsvermeidungssystems** besteht aus einem geschlossenen Regelkreis. Ein NVIDIA Jetson Nano-Bordcomputer, empfängt CAN-Bus-Daten als ROS-Topic (ROS-Melodic) und sendet über Ethernet Control-Messages an den SunBot-Navigationscomputer. Zur Sensordatenanalyse verknüpft die Kollisionsvermeidung Daten von mindestens drei Abstandsmessungen pro Seite des Fahrzeugs gleichzeitig. Als Output veröffentlicht das **Kollisionsvermeidungssystem** eine ROS-Nachricht auf dem SunBot-Navigationscomputer, die eine Zusammenfassung der Sensoren (z. B. Hindernis links oder rechts) und den entsprechenden empfohlenen Lenkwinkel enthält. Die zentrale Fahrzeugsteuerung, der ROS-Computer der SunBot-Maschine, verwendete diese Nachricht, um den Lenkbefehl des Fahrzeugs anzupassen um seitliche Hindernisse zu vermeiden.

AP 4: Erweitertes Safety & Security Konzept

In einem weiteren Schritt wurde das Sicherheitssystem des SunBot implementiert. Die Besonderheit und große Herausforderung beim SunBot Konzept für den autonomen Betrieb ist die Bedingung, dass das Fahrzeug weiterhin vollumfänglich manuell bedienbar bleibt. Hierzu ist eine eingehende Sicherheitsbetrachtung durch das **AP4** unumgänglich. Die Entwicklung des Sicherheitssystems umfasst die Analyse und Entwicklung von Funktionstests bezüglich der Umfeldsicherung sowie Komponenten zur Geländesicherung und zur Diebstahlabwehr.

Zunächst wurden Sicherheitskonzepte und Anforderungslisten mithilfe einer Risikoanalyse und Machbarkeitsprüfung erstellt. Im Anschluss an die Auswahl der Sensoren erfolgte die Entwicklung der Softwarearchitektur (Abbildung 6).

Das speziell hierfür entwickelte „smarte System“, das Hindernisse wie Personen und Tiere in der Anlage sicher in Echtzeit erkennt, wurde von der HYDAC Software GmbH entwickelt. Damit ist es möglich, dass die Gefahr von Verletzungen geringstmöglich gehalten werden kann.

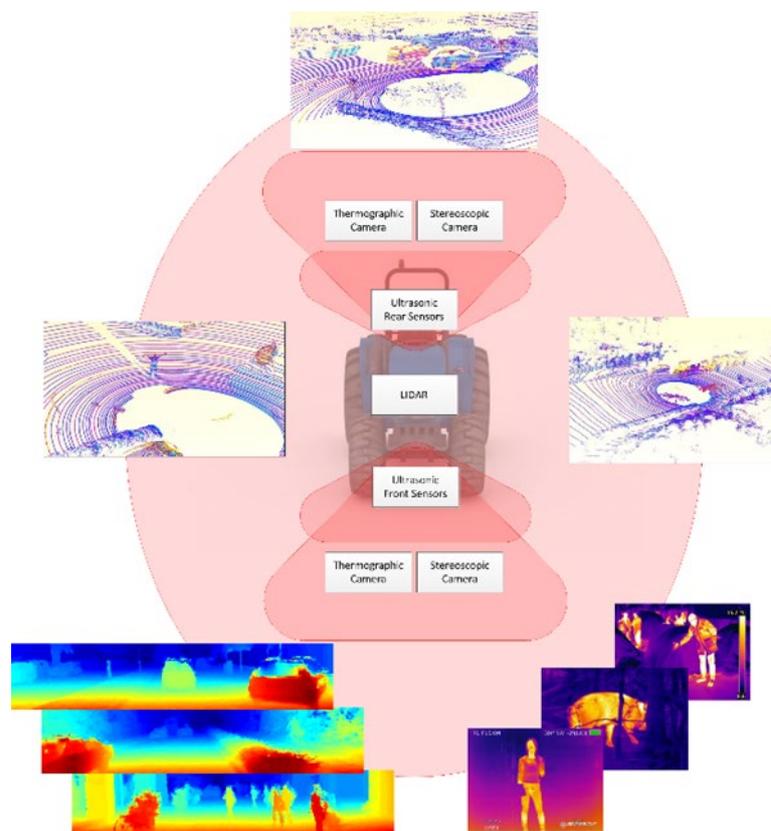


Abbildung 6: Überblick über Sicherheitskonzept (Hydac Software)

Die „Multithreading Software“ dient zum Sammeln und Auswerten der verschiedenen Daten von mehreren Umgebungssensoren. Diese dienen der Erkennung von Echtzeitbedrohungen in der Umgebung des Fahrzeugs. Im Laufe des Projekts wurde diese Anwendungssoftware weiterentwickelt, die auf Basis eines YOLO Algorithmus (System von neuronalen Netzen) eine kamerabasierte Objekterkennung durchführt. Das System erkennt die Gefahrenstelle und seine Position in der Anlage. Die Hinderniserkennung basiert auf 3D-Daten von der „Intel Realsense Kamera“, die mit einer Anwendungssoftware verknüpft ist und die Ergebnisse visualisiert. Zusätzlich montierte „Tiefenkameras“ scannen die gesamte Umgebung nach nicht erkannten Objekten. Dadurch werden Objekte erkannt, die keine Gefährdung des Hoftracs darstellen. Außerdem wertet das System die GPS-Koordinaten aus, um zu verhindern, dass das Fahrzeug den Arbeitsbereich verlässt. Als zusätzliche Absicherungen dienen Wärmebildkameras. Das gesamte Sicherheitssystem kommuniziert mit dem Navigationssystem über eine CAN-Kommunikation und überträgt Signale zum Stoppen des Fahrzeugs. Für Auswertungszwecke und für das Nachlernen des Objekterkennungsalgorithmus sind die notwendigen Funktionen implementiert, zum Beispiel das Speichern von Aufnahmen, Videoauswertung und Erkennungslogging.

AP 5: Gesamtsystem-Bewertung

Das **AP5** dient der Ermittlung der Nachhaltigkeit zu Beginn des Projekts, um Daten zu Indikatoren zu sammeln und zu berechnen, wobei im dritten Jahr und zum Projektende diese nach KSNL erhoben und bewertet werden sollte. Hieraus sollten ex-ante und ex-post Bewertungen der Nachhaltigkeitseffekte erstellt werden. Dafür wurden KUL (Umwelt) und KWL (Wirtschaft) Faktoren genutzt, da dort die größten Veränderungen zu erwarten sind. Die KSL (Soziales) wurde nicht detaillierter betrachtet, da dort die geringste Veränderung zu erwarten waren. Im Idealfall gäbe es mehrere Aufnahmen der wirtschaftlichen Situation der Betriebe durch die KSNL, aber da es im Projekt nur eine Aufnahme zu Beginn gab, wurden angelehnt an die KWL Szenarien erstellt und Berechnungen durchgeführt, welche die möglichen Veränderungen durch SunBot darstellen. Es wurde ermittelt, welche Nachhaltigkeitsindikatoren für das Projekt relevant sind und wie eine Veränderung durch den SunBot gemessen werden kann (siehe Anhang 8.6). Zudem wurde der Status Quo der ausgewählten Indikatoren ermittelt, da die KSNL für den ganzen Betrieb bewertet und nicht speziell für die Strauchbeerenproduktion und somit einige Indikatoren eher als Orientierung gelten.

KUL: Die aussagekräftigsten Nachhaltigkeitsindikatoren, um eine Veränderung festzustellen, sind folgende: Stickstoff-Flächensaldo, Pflanzenschutzintensität, Energiesaldo Pflanzenbau, Treibhausgasemissionen.

KWL: Die aussagekräftigsten Nachhaltigkeitsindikatoren in Bezug auf Wirtschaft, um eine Veränderung festzustellen, sind folgende: Rentabilitätsrate, Cash-Flow, Nettoinvestition, verfügbares Einkommen je AK, Betriebseinkommen.

Zu Projektbeginn fanden auf den Partnerbetrieben Bauernhof Weggun (3 ha Strauchbeeren, 30 kWp PV-Anlage), Obsthof Neumann (35 ha Strauchbeeren, Kern- und Steinobst, 17 kWp PV-Anlage) und Biohof

Frehn (326 ha Strauchbeeren, 100 kWp PV-Anlage) Bestandsaufnahmen zu den angewandten Pflegemaßnahmen (Verfahrenstechnik, technische Ausstattung, Arbeitszeit- und Kraftstoffverbrauchsmessungen), zum PV-Stromertrag und zum Nutzungsverhalten des Stroms (jährlicher Stromertrag, Drosselung, Eigenverbrauch) statt. Anhand der betrieblichen Daten wurden die jährlichen Arbeitserledigungskosten für den Prozess der Fahrgassenmahd kalkuliert und ein Referenzszenario ermittelt, welches unter gleichen technischen und verfahrenstechnischen Bedingungen prognostizierte Preissteigerungen für Dieselmotorkraftstoff sowie steigende Lohnkosten berücksichtigt. Anschließend erfolgte der Vergleich des Referenzszenarios mit dem SunBot-System.

Für einen multifunktionalen Einsatz in Praxisversuchen zur Praktikabilität und Energiebilanz sollte eine mobile Energiemanagementversuchsstation bestehend aus Speicher, Ladestation und Energiemanagement aufgebaut werden.

Zur Bestimmung von Nachhaltigkeitsindikatoren wurden die Daten zum Projektbeginn, im Jahr 3 und zum Projektende nach KSNL teilweise erhoben und bewertet. Es erfolgten Bewertungen der Nachhaltigkeitseffekte. Dafür wurden KUL und KWL genutzt, da dort die größten Veränderungen erwartet wurden

Es erfolgte eine theoretische Einarbeitung in die KSNL und eines Leitfadens (Anhang 8.7.) zur Dokumentation der Ergebnisse und zum späteren Nachvollziehen der Arbeitsschritte. Im ersten Jahr wurde die Erhebung der KSNL durch Herrn Breitschuh zusammen mit den zum Projekt gehörenden Landwirten durchgeführt. Zudem wurde ermittelt, welche Nachhaltigkeitsindikatoren für das Projekt relevant sind und wie eine Veränderung durch den SunBot gemessen werden konnte. Darauffolgend wurde der Status Quo der ausgewählten Indikatoren angefragt, da normalerweise die KSNL für einen ganzen Betrieb bewertet und nicht speziell für die Strauchbeerenproduktion durchgeführt wird. Hierzu gehörten ebenfalls wie Veränderungen durch die KSNL festgestellt werden könnten, da KSNL hierfür nicht konzipiert wurde.

Im Projekt wurde die KUL zu Beginn des Projekts erhoben und die zweiten und dritten Aufnahmen haben durch Verzögerungen im Projekt und durch lange Bearbeitungszeiten durch den Dienstleister der KSNL nicht stattgefunden. Alternativ wurde versucht Referenzszenarien zu erarbeiten, da der Traktor nicht planmäßig eingesetzt werden konnte. Außerdem wurden Szenarienberechnungen bei fehlenden KSNL-Daten genutzt, z. B. bei Ernteauffällen. In diesen Fällen werden Durchschnittswerte z. B. aus der KTBL genutzt.

Im AP5 Gesamtkonzept wurden demzufolge Bewertungen vorgenommen sowie zum Teil zukünftige Nutzungskonzepte erstellt. Zudem wurde eine Befragung (Fragebogen im Anhang 8.8.) durchgeführt, um Marktpreise und durchschnittliche Erträge (€/kg) zu Kulturen (Schwarze und Rote Johannisbeere, Sanddorn, Aronia, Hagebutte) sowie die entsprechenden Dünger und Pflanzenschutzmittel für die Jahre 2019 und 2020 (Schätzung) zu erhalten. Zusätzlich wurden Fragen zu PV-Anlagen gestellt, inklusive Wartung und Reparatur, Versicherung, Anschaffungskosten, Netzbetreiber, Verkaufspreis an den Netzbetreiber und Verbrauch. Viele dieser Daten sind nun durch die neue Marktentwicklung weniger aktuell

bzw. enorm unterschiedlich, wie man an der aktuellen Preisentwicklung von Strom (Stand: 15.12.2022) erkennen kann.

AP 6: Dissemination & AP 7: Koordination

Die AP6 Dissemination & AP 7 Koordination erfolgten begleitend über die gesamte Projektlaufzeit. Es wurde kontinuierlich und aktiv durch alle Partner Dissemination betrieben. Federführend war in der Ansprache der Praktiker der Partner VKR. Die bei der Projektleitung angesiedelte Projektkoordination hat dafür gesorgt, dass alle Partner sowie die Fördergeber eine zentrale Ansprechstelle hatten, Termine eingehalten wurden, Projekttreffen gut organisiert waren und alle Partner gut zusammen arbeiten konnten. Siehe auch Kapitel 7.

5 Projektergebnisse & Diskussion

5.1 Projektergebnisse Ziel 1 Kosteneffizienz: Verfahrenskosten & Wertschöpfung

Einfluss häufigerer Pflegemaßnahmen auf Pflanzengesundheit, Qualität und Ertrag (Feldversuche)

Das Kurzhalten der Fahrgassenbegrünung gehört als vorbeugende Pflanzenschutzmaßnahme zur gängigen obstbaulichen Praxis. Die Feldversuche sollen die Grundhypothese, dass eine wöchentliche Unterwuchsregulierung die Plantagenhygiene und Pflanzengesundheit verbessert und dadurch insgesamt Qualitäts- und Ertragssteigerung erreicht werden, überprüfen.

Plantagenhygiene

Die Ergebnisse zu den Klimaparametern der beiden Varianten von 2021 sind in Tabelle 1 für beide Versuchsstandorte dargestellt. Es wurden für beide Standorte jeweils zwei repräsentative Tage statistisch untersucht, an denen der Fahrgassenbestand Unterschiede in der Pflanzenhöhe zwischen den Varianten aufwies. Für den Standort Weggun wurden der 07.05.2021 und der 19.05.2021 mit einem Grashöhenunterschied in der Fahrgasse von ca. 7,5 cm bzw. 13 cm ausgewählt. Am Standort Schöneiche handelt es sich um die Tage 10.05.2021 und 09.06.2021 mit einer Differenz in der Fahrgassenbestandshöhe von etwa 8 cm und 12 cm. Der 29.03.2021 (Schöneiche) und 27.03.2021 (Weggun) dienten als Kontrolltermin, an welchem die Pflanzenhöhe im Fahrgassenbestand in beiden Varianten keine Differenzen aufwies. Die Untersuchungen zeigen, dass mit einem kontinuierlichen Kurzhalten der Fahrgassen eine nachweisbare Beeinflussung auf die bodennahe Lufttemperatur und Luftfeuchte stattfindet.

Die mittlere Lufttemperatur und die mittlere relative Luftfeuchte weisen an den Kontrollterminen keine Unterschiede auf. Die darauffolgenden Pflegemaßnahmen führen in der TEST-Variante teils zu einer signifikant höheren mittleren Lufttemperatur als in praxisüblicher Pflege (BAU), wohingegen die mittlere relative Luftfeuchte signifikant geringer ausfällt. Über die Versuchsperiode konnten maximale mittlere Lufttemperaturdifferenzen von 1,14 °C (Standort Weggun) bzw. 1,96 °C (Standort Schöneiche) sowie

maximale mittlere relative Luftfeuchtedifferenzen von 3,69 % (Standort Weggun) bzw. 3,90 % (Standort Schöneiche) zwischen den Varianten TEST und BAU festgestellt werden. Vor allem zur Stunde 13 und in der Plantage mit dem geringeren Reihenabstand tritt dieser Effekt deutlicher auf.

Tabelle 1: Mittlere Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Variante (TEST, BAU) in schwarzen Johannisbeeren in den Stunden 0 (0 bis 1 Uhr), 5 (5 bis 6 Uhr), 13 (13 bis 14 Uhr) und 16 (16 bis 17 Uhr) am Standort Weggun.

Standort		Weggun (Demonstrationsfeld)								Schöneiche							
Datum		27.03.2021								29.03.2021							
Stunde		0		5		13		16		0		5		13		16	
Variante		°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH
MW	TEST	4,22	99,00	6,16	85,85	9,83	65,00	5,78	87,71	8,58	61,52	7,60	67,94	17,37	41,58	18,09	38,71
	BAU	4,08	99,29	6,06	86,59	10,21	64,73	5,93	87,61	8,57	61,95	7,56	68,52	17,13	42,28	18,07	38,76
m. Diff. TEST- BAU		0,14	-0,29	0,10	-0,74	-0,37	0,27	-0,15	0,09	0,01	-0,42	0,04	-0,58	0,25	-0,70	0,02	-0,05
Typ-III Anova		0,231	0,126	0,467	0,190	0,204	0,747	0,623	0,920	0,999	0,057	0,871	0,439	0,681	0,631	0,940	0,898
Datum		07.05.2021								10.05.2021							
Stunde		0		5		13		16		0		5		13		16	
Variante		°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH
MW	TEST	2,17	91,91	-0,79	97,89	12,02	60,23	8,87	70,21	16,66	53,50	7,86	83,40	32,44	25,14	30,68	28,18
	BAU	1,97	94,89	-0,86	99,33	11,38	62,90	8,33	73,96	16,72	52,94	7,95	83,49	30,48	28,99	30,49	28,30
m. Diff. TEST- BAU		0,21	-2,98	0,07	-1,44	0,64	-2,67	0,54	-3,76	-0,06	0,56	-0,09	-0,08	1,96	-3,85	0,19	-0,12
Typ-III Anova		0,045	<,0001	0,545	0,0002	0,0183	0,017	0,433	0,298	0,668	0,347	0,659	0,997	<,0001	<,0001	0,227	0,735
Datum		19.05.2021								09.06.2021							
Stunde		0		5		13		16		0		5		13		16	
Variante		°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH	°C	RH
MW	TEST	7,42	94,68	6,92	97,94	17,83	53,28	18,62	48,75	15,82	75,92	12,47	84,18	30,90	27,28	27,17	34,49
	BAU	7,11	97,38	7,08	99,11	17,17	56,03	17,48	52,44	15,57	76,80	12,46	84,66	29,21	29,52	27,54	35,06
m. Diff. TEST- BAU		0,31	-2,70	-0,17	-1,17	0,65	-2,75	1,14	-3,69	0,25	-0,88	0,01	-0,47	1,70	-2,24	-0,37	-0,57
Typ-III Anova		0,001	<,0001	0,486	0,0312	0,0005	0,0206	0,037	0,0068	0,003	0,437	0,849	0,577	0,001	0,034	0,482	0,709

Die Ergebnisse zur Messung der Klimatelemente in den Plantagen der Schwarzen Johannisbeere zeigen, dass mit einem kontinuierlichen Kurzhalten der Fahrgassen eine nachweisbare Beeinflussung auf die bodennahe Lufttemperatur und Luftfeuchte stattfindet. An beiden Versuchsstandorten wurde zur Stunde 13 die höchste Globalstrahlung (Schöneiche) und Tages-UV-Index (Weggun) an den Wetterstationen gemessen. Insbesondere zur Stunde 13 tritt bei der Variante TEST eine signifikant höhere mittlere Lufttemperatur und geringere mittlere relative Luftfeuchte auf, als in der Variante mit der praxisüblichen Pflege (BAU). Somit könnten die Unterschiede im Mikroklima zur Mittagszeit mit dem steilen Einfallswinkel der Sonne (Zenit) zusammenhängen, der zur maximalen Globalstrahlung und zu einer geringen Reflexstrahlung führt (Häckel 2021). Die Strahlungsintensität, die den Boden erreicht, nimmt mit zunehmender Dichte der Vegetationsdecke durch die Abschattung ab (Häckel 2021, Trattnig 1992, Enders 1980). Das erklärt die in der Variante BAU mit dichterem Fahrgassenbestand verhältnismäßig geringen Temperaturen. Der hohe Luftanteil im lockeren Grasgefüge stellt einen schlechten Wärmeleiter dar und führt somit vermutlich zu einer verringerten Wärmeaufnahme der Bodenoberfläche. Die Untersuchungen von Parlow et al. und Köstner zeigen, dass die aus dem Strahlungshaushalt gewonnene Energie bei unbewachsenen Oberflächen insbesondere für den Wärmestrom genutzt wird und bei begrünten Flächen vor allem für Verdunstungsprozesse zur Verfügung steht (Köstner 2021, Parlow et al. 2011). Durch das kontinuierliche Kurzhalten der Fahrgassen sind zum Teil Lücken in der Grasnarbe entstanden, wodurch zum einen der Energieumsatz näher an der Bodenoberfläche stattfindet. Zum anderen führt der kurze und teils

lückenhafte Fahrgassenbestand zu einer geringeren Photosyntheseleistung und damit zu geringeren Transpirations- und Abkühlungseffekten. Zudem trat dieser Effekt deutlicher auf der Plantage in Weggun mit einem geringeren Reihenabstand auf. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Plantagenstruktur die Auswirkungen einer veränderten Pflegefrequenz verstärken. Vermutlich fördern die breiteren Fahrgassen eine geringere Abbremsung des Windes und somit eine bessere Durchlüftung im Bestand (Häckel 2021).

Insbesondere die Untersuchungen aus dem Jahr 2021 vom Demonstrationsfeld Weggun mit einer geringeren Fahrgassenbreite zeigen, dass häufigere Pflegearbeiten tendenziell zu Qualitätsverbesserungen und Ertragssteigerungen führen. Einen besonderen Anteil hieran trägt, dass der Kontakt von stark hängenden Trieben mit feuchtem Gras reduziert wird. Auf diese Weise lassen sich Verluste durch matschige, schrumpelige und angefressene Beeren reduzieren und der Anteil an geernteter Frischware steigern. Die Ernte in kategorisierten Schälchen verdeutlichte, dass durch den verringerten Bodenkontakt die Beeren besser abtrocknen und somit auch die Gefahr von Fruchtfäulen sinkt. Obwohl die Bonituren zur Pflanzengesundheit an allen Versuchsstandorten erfolgreich durchgeführt wurden, konnten keine signifikanten bzw. tendenziellen Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. Ein Grund für diese Ergebnisse könnten die trockenen Witterungsverhältnisse in den ersten beiden Versuchsjahren sein, die zu einem geringen Auftritt an Blattkrankheiten führten. Zum anderen bieten Sichtkontrollen den wesentlichen Nachteil, dass die Befallsklasse bzw. der Schätzwert nur auf der subjektiven Entscheidung der Beobachter beruhen. Die Begutachtung des Ernteguts zeigte jedoch, dass durch die bessere Abtrocknung der Beeren die Pflanzengesundheit positiv beeinflusst wird.

Ertrag

Zur Ernte wurden von jeder angelegten Versuchsparzelle die Fruchterträge ermittelt. Die Büsche und Ruten wurden bei mehreren Ernteterminen komplett abgeerntet und am Ende zum Gesamtertrag pro Variante aufaddiert. Die Angaben zu den Erträgen sind in Tabelle 2 dargestellt. Im Durchschnitt waren die Erträge 2019 am niedrigsten und 2021 am höchsten. Insbesondere durch die Trockenheit konnte der Prüffaktor häufigere Mahdfrequenz im ersten Versuchsjahr auf allen Versuchsstandorten nicht implementiert werden. Zudem führten die verdichteten Bodenverhältnisse und die sommerbedingte Trockenheit auch in den Folgejahren auf dem Versuchsfeld der Herbsthimbeeren zu keinem repräsentativen Grashöhenunterschied von > 5 cm zwischen den Prüfvarianten. Infolge von Spätfrösten und einem Schädlingsbefall mit dem Frostspanner kam es am Standort Schöneiche in den letzten beiden Versuchsjahren zu kompletten Ertragsausfällen. Deshalb können nur die Daten des Demonstrationsversuchs in Weggun für einen Vergleich genutzt werden. Mit 14,99 kg (TEST) bzw. 13,5 kg (BAU) wurden 2021 der höchste und 2019 mit 1,67 kg (TEST) bzw. 2,14 kg (BAU) der niedrigste Ertragswert bei der Sorte Ben Conan ermittelt (Tabelle. 2). Dies hängt vermutlich mit den höheren Niederschlagsereignissen zur Fruchtentwicklung im Mai zusammen, die 2021 mit 39,44 mm fast doppelt so hoch lagen als 2020 mit 20 mm bzw. 2019 mit 11,45 mm.

Tabelle 2: Ergebnisse der Ertragsmessungen für die Standorte Weggun und Schöneiche im Beobachtungszeitraum 2019 bis 2021 (*kein Mahdfaktor implementiert, **Ertragsausfall (Spätfrost, Schädlingsbefall mit dem Frostspanner)

Stand-ort	Weggun				Schöneiche	
	Herbsthimbeeren [Himbo Top]		Schw. Johannisbeere [Ben Conan]		Schw. Johannisbeere [Tisel]	
Jahr	OPT	BAU	OPT	BAU	OPT	BAU
2019	5,39*	8,59*	1,67*	2,14*	6,75*	3,41*
2020	6,65*	6,6*	4,30	4,50	/**	
2021	14,89*	15,15*	14,99	13,50	/**	

Im letzten Versuchsjahr liegt der Gesamtertrag mit 1,49 kg bei höherer Mahdfrequenz in der Variante TEST tendenziell höher im Vergleich zum Ertrag bei praxisüblicher Pflege. Dieses Ergebnis könnte mit den feuchteren Witterungsbedingungen im Juli 2021 und der kontinuierlich kurzgehaltenen Fahrgassenbegrünung zusammenhängen. Durch die geringere Grashöhe in der Variante TEST wird der Kontakt der Beeren mit dem feuchten Gras reduziert und somit Verlusten durch Schimmelbefall der Früchte entgegengewirkt.

Qualität

Laut UNECE-NORM FFV-57 (2019) sind zur Vermarktung von frischen Beerenfrüchten u. a. die Mindesteigenschaften „ganz“, „gesund“, „sauber“ und „vom frischen Aussehen“ zu erfüllen. Aus diesem Grund wurden zur subjektiven Qualitätsbewertung die Beeren in die kategorisierten Schälchen Frischmasse (K1), Verarbeitung (K2) und Verlust (K3) gesammelt und am Ende jedes Erntetermins für die jeweilige Versuchspartizelle ausgewogen. Wie in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, können nur die Daten vom Demonstrationsfeld genutzt werden.

Die Ergebnisse zur subjektiven Qualitätsauswertung aus dem Jahr 2020 und 2021 sind in Anhang 8.9. dargestellt. Zwischen den Varianten bestehen im Jahr 2020 mit einem Gesamtertrag und einem prozentualen Anteil an vermarktungsfähiger Ware von 4,3 kg bzw. 96,24 % in der TEST-Variante im Vergleich zur praxisüblichen Pflege (BAU) mit 4,5 kg bzw. 96 % keine tendenziellen Ertragsunterschiede (siehe Tabelle 2). Dies könnte mit den trockenen Witterungsbedingungen 2020 zusammenhängen, die bei beiden Varianten zu einem geringen Verlustanteil der Beeren während der Ernte führten. Im darauffolgenden Jahr wurde mit 14,99 kg ein Mehrertrag um knapp 1,5 kg in der Variante mit der erhöhten Mahdfrequenz (TEST) festgestellt. Der prozentuale Verlustanteil stieg mit rund 4 % in beiden Varianten im Jahr 2020 auf 6 % (TEST) bzw. 10,3 % (BAU) im Jahr 2021 an (Abbildung. 7).

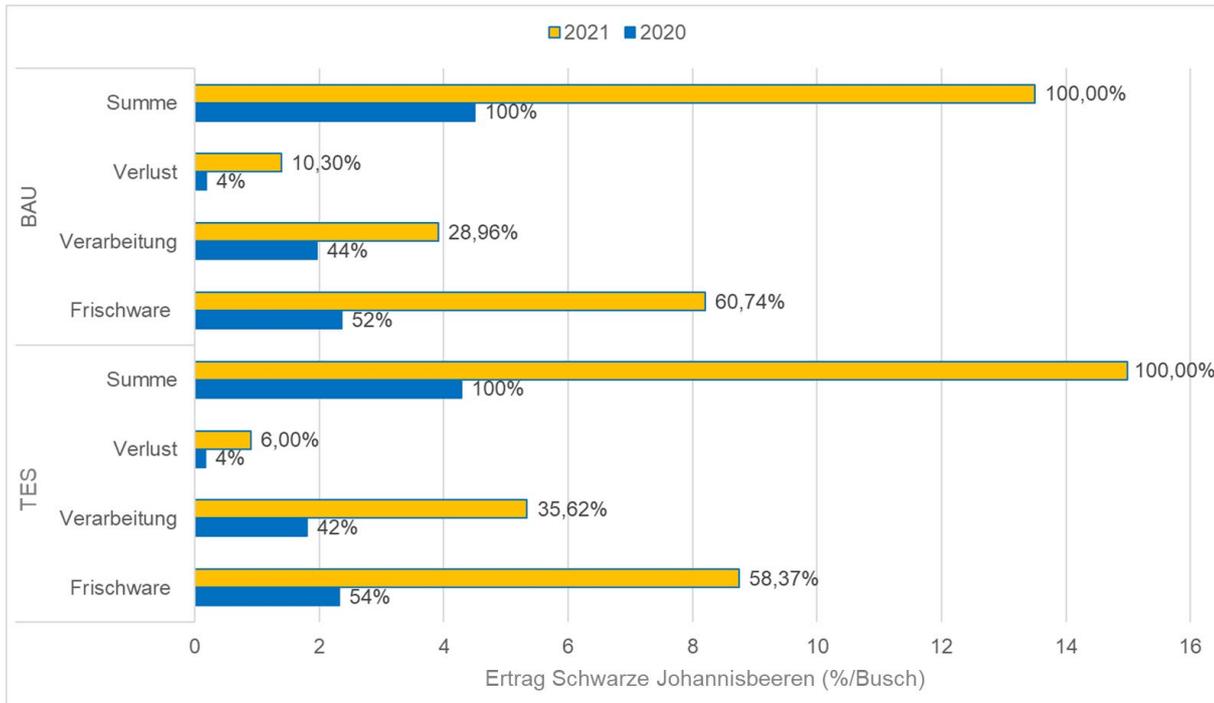


Abbildung 7: Ergebnisse der Ertragsmessungen und subjektiven Qualitätsbewertung für das Demonstrationsfeld Weggun im Beobachtungszeitraum 2019 bis 2021

Die Untersuchungen zur Plantagenhygiene 2021 vom Demonstrationsfeld Weggun zeigen, dass eine Beeinflussung der bodennahen Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte besonders auf der Plantage in Weggun mit einem geringeren Reihenabstand auftrat. Im selben Versuchsjahr wurde in der Variante TEST eine tendenziell gesteigerte Qualität/Ertrag der Beeren festgestellt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die ungünstigeren Feuchtebedingungen in der ungemähten Variante BAU zu höheren Ertrags- und Qualitätsverlusten führen.

Einen besonderen Anteil hieran trägt, dass der Kontakt von stark hängenden Trieben mit feuchtem Gras bei einer kontinuierlich kurzgehaltenen Fahrgassenbegrünung verringert wird. Auf diese Weise lassen sich Verluste durch matschige, schrumpelige und angefressene Beeren reduzieren und der Anteil an geernteter Frischware steigern. Dadurch sinkt auch die Gefahr von Fruchtfäulen.

Diagnostischen Laboruntersuchungen Qualität

Im Rahmen des Projekts wurden pro Jahr und pro Parzelle jeweils 100 Beeren der Schwarzen Johannisbeere sowie 35 Einzel Früchte der Herbsthimbeere im Labor auf Frischmasse (FM), Trockenmasse (TM), Gesamtwassergehalt (GWG), Durchmesser (DM), Zucker (TSS) und Säuregehalt überprüft. Im Ergebnis dieser diagnostischen Laboruntersuchungen wurde festgestellt, dass es keine tendenziellen bzw. statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten praxisübliche Pflege (BAU) und erhöhte Pflegefrequenz (TEST) gibt.

Pflanzengesundheit

Obwohl die Bonituren zur Pflanzengesundheit an allen Versuchsstandorten erfolgreich durchgeführt wurden, konnten keine signifikanten bzw. tendenziellen Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten

festgestellt werden. Ein Grund für diese Ergebnisse könnten die trockenen Witterungsverhältnisse in den ersten beiden Versuchsjahren sein, die zu einem geringen Auftreten an Krankheiten führten. Zusätzlich konzentrierte sich die visuelle Sichtkontrolle vor allem auf Blattkrankheiten. Zum anderen bieten Sichtkontrollen den wesentlichen Nachteil, dass die Befallsklasse bzw. der Schätzwert nur auf der subjektiven Entscheidung der Beobachter beruhen. Die Ergebnisse zur subjektiven Qualitätsbewertung der Beeren zeigen jedoch, dass in niederschlagsreicheren Jahren durch eine erhöhte Pflegefrequenz die Beeren besser abtrocknen, wodurch die Gefahr von Fruchtfäulen gesenkt und der Verlustanteil der Früchte reduziert wird.

Biodiversität

In den *R. nigrum* Plantagen der Versuchsfelder Weggun und Schöneiche konnte der Mahdfaktor in den letzten beiden Versuchsjahren implementiert werden. Es wurde untersucht, ob eine erhöhte Mahdfrequenz zu Veränderungen in der Artenanzahl bzw. Verteilung der Individuen innerhalb dieser Arten (Shannon-Wiener-Index) und der Artengleichverteilung (Evenness) führen. Die Ergebnisse zur Biodiversität von beiden Standorten sind im Anhang 8.10 zu finden.

Hinsichtlich der Biodiversität wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- In den Pflanzreihen der Versuchspartellen ergaben sich für das statistisch aufgebaute Versuchsfeld Schöneiche im gesamten Beobachtungszeitraum hinsichtlich der Diversität keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern BAU (business as usual) über 10 cm Grashöhe und TEST (erhöhte Mahdfrequenz) unter 10 cm Grashöhe. In beiden Versuchsjahren wurde allerdings in den Versuchspartellen der Variante TEST ein stärkerer Blattlausbefall verzeichnet als im Vergleich zur praxisüblichen Pflege (BAU).
- Auf dem Demonstrationsfeld Weggun wurde 2020 in den Pflanzreihen der Versuchspartelle TEST ein tendenziell geringerer Diversitäts- und Evennesswert festgestellt. Im darauffolgenden Jahr wurde diese Tendenz nicht beobachtet.
- Im Gegensatz zu den Pflanzreihen zeigen die Bonituren in den Fahrgassen an beiden Versuchsstandorten, in der Variante mit der erhöhten Mahdfrequenz (TEST) eine tendenziell geringere Artenanzahl und schlechtere Artengleichverteilung als im Vergleich zur betriebsüblichen Pflege (BAU).
- Auswertungen aus dem Jahr 2020 zum Zusammenhang Klimadaten (Lufttemperatur, rel. Luftfeuchtigkeit) und Evenness zeigen, dass eine hohe Evenness in Verbindung mit einer hohen Temperatur und einer niedrigen rel. Luftfeuchte stehen.

In den Versuchen zur Biodiversität konnten in den Pflanzreihen keine eindeutigen Tendenzen oder signifikanten Unterschiede bezüglich des Diversitäts- und Evennesswertes zwischen beiden Varianten nachgewiesen werden. Die Auswertung der Daten zur Fahrgassenbonitur zeigt, dass in der Variante TEST eine geringere Insektenaktivität festgestellt wurde. Dies könnte auf den fehlenden Blühstand in der Fahrgasse und einer Flucht der mobilen Insekten in ungemähte Ausweichflächen (z. B. Buschreihen) zusammenhängen.

Reduzierung von Verfahrenskosten (Arbeiterledigungskosten)

Die stetig steigenden Arbeits- und Kraftstoffkosten stellen eine der Hauptherausforderungen für den Strauchbeerenanbau in Brandenburg dar. Die Bewertung der Verfahrenskosten wurde unter der Annahme von folgenden Entwicklungen bis 2030 durchgeführt:

- Allein während der Projektlaufzeit wurde der gesetzliche Mindestlohn in Deutschland von 9,19 € je Stunde (2019) auf 12,00 € je Stunde (ab 1. Oktober 2022) angehoben (DGB 2022, VER.DI 2022). Als pauschaler Lohnkostenansatz wird das Arbeitgeberbruttogehalt angenommen mit 14,52 € je Stunde (zzgl. 21 % vom Bruttogehalt).
- Durch die gestiegenen Energieabgaben und durch die Knappheit von Rohöl, nicht zuletzt aufgrund des Kriegs in der Ukraine, sind die Dieselpreise von 1,26 € je Liter (2019) auf 2,14 € je Liter (März 2022) gestiegen (ADAC 2022). Basierend auf dem Szenario „CO₂-Pfad“ der Prognos-Studie „Untersuchung der Reduktionswirkung durch einen hohen CO₂-Preis im Verkehr“ (a.d. Maur & Trachsel 2021, abgeleitet aus Szenario „CO₂-Pfad“) wird der Dieselpreis in 2030 etwa bei 2,64 € je Liter liegen. Für die Verfahrenskostenkalkulation wird ein Netto-Agrardieselpreis von 1,75 € je Liter angenommen (abzgl. 21 % vom prognostizierten Netto-Dieselpreis 2030).
- Der Strompreis ist ebenfalls starken Schwankungen unterworfen. Allein in den letzten 10 Jahren erfolgte ein durchschnittlicher Strompreisanstieg von knapp 29 % von 25,89 ct je kWh (2012) auf 36,19 ct je kWh (BDEW 2022). Eine zukünftige Prognose der Strompreise ist aufgrund der derzeitigen politischen Lage, der Entwicklung für CO₂-Abgaben zur Erreichung der Klimaziele sowie dem steigenden Stromverbrauch für Elektromobilität bzw. für die Herstellung von Wasserstoff nur schwer vorhersagbar. Deshalb wird für die Berechnungen der aktuell durchschnittliche Strompreis von 36,19 ct je kWh für 2030 angenommen.

Der Vergleich der Verfahrenskosten des SunBot mit der üblichen betrieblichen Praxis bezieht sich ausschließlich auf die Maschinenkosten des E-Traktors bzw. Dieseltraktors für den Prozess der Fahrgassenmahd. Das Mähwerk bleibt außer Acht. Es wird vorausgesetzt, dass die Arbeitsbreite des Mähwerks bei dem Einsatz des E-Traktors der betriebsüblichen Arbeitsbreite bei der Fahrgassenpflege entspricht. Das Nutzungspotenzial des E-Traktors soll dem des Dieseltraktors entsprechen. Die Auslastung der Maschinen wurde vom jährlichen Einsatzumfang (Mh/a) abgeleitet. Für die Auslastung des E-Traktors wurden je Betrieb zunächst die für diesen Betrieb geeigneten Arbeitsschritte gefiltert und entsprechend der betrieblichen Verfahrenstechnik mithilfe der Datensammlungen der KTBL (Obstbau.exe) jeweils der jährliche Maschinenstundenaufwand geschätzt. Ableitend aus den Erkenntnissen der Feldversuche, die darauf schließen lassen, dass eine wöchentliche Fahrgassenmahd hauptsächlich in Plantagen mit geringerer Fahrgassenbreite einen positiven Effekt auf die Plantagenhygiene zu haben scheint, wurde das Szenario einer hochfrequentierten Fahrgassenpflege ausschließlich für den Standort Weggun (Fahrgassenbreite 2 m) kalkuliert. Für die Standorte Schöneiche und Frankfurt (Oder) (Fahrgassenbreite 2,5 bis 3 m) wurde für den Verfahrenskostenvergleich die übliche Häufigkeit der Fahrgassenpflege (6 Mal je Saison) angenommen, durch welche z. T. die Auslastungsschwelle der Maschinen bereits erreicht wird.

Es ist davon auszugehen, dass ohnehin witterungs- und kulturbedingt nicht jedes Jahr die komplette Strauchbeeren- bzw. Kern- und Steinobstfläche 6 Mal gemäht wird. Nicht zuletzt sind es jedoch auch die oft hohen Arbeitsspitzen, durch welche die übliche Pflegefrequenz nicht immer in jeder Kultur eingehalten werden kann. Die Daten zu den für die Kalkulation herangezogenen Traktormodellen sind in folgender Tabelle 3 gegenübergestellt:

Tabelle 3: Kalkulationsgrundlagen für den Vergleich der Arbeitserledigungskosten bei der Fahrgassenmahd zwischen den Systemen Diesel und SunBot

	Weggun	FFO	Schöneiche
Fläche Strauchbeeren, Kern- und Steinobst je Traktor	3,27 ha	35,53 ha	108,7 ha
Mahdfrequenz	wöchentlich	6 x pro Saison	6 x pro Saison
Betriebsübliche Technik			
Dieseltanktraktor-Modell	Ferrari Vivid, 25 kW	Valtra, 56 kW	Kubota, 77 kW
Anschaffungskosten	23.500,00 €	39.500,00 €	60.000,00 €
Gesamtauslastung	53,54%	67,40%	113,48%
Basisfahrzeug Kalkulation SunBot			
E-Traktor-Modell	Solectrac eFarmer 22 kW 28 kWh LiFePo4-Akku	Rigitrac SKE50 50 kW 80 kWh Li-Ionen Akku	
Anschaffungskosten	30.965,00 €	155.200,00 €	
plus 30 % Automatisierung	36.068,50 €	189.800,00 €	
Gesamtauslastung	64,42%	41,46%	120,00%

Durch die o. g. Entwicklungen kann angenommen werden, dass sich mit betriebsüblicher Technik die variablen Maschinenkosten bis 2030 im Vergleich zu 2019 um etwa 34,88 % (Weggun) bzw. 44,90 % (Frankfurt (Oder)) bzw. 58,27 % (Schöneiche) erhöhen werden. Die Lohnkosten werden den Kalkulationen zufolge um ca. 30,58 % steigen (Referenzszenario).

Präventive Pflegemaßnahmen stellen gerade für kleinstrukturierte Bio-Betriebe wie den Bauernhof Weggun ein wichtiges Instrument zur Reduzierung des Krankheitsdrucks in der Plantage dar. Um Ertrags- und Qualitätsverlusten entgegenzuwirken, entstehen hohe Arbeitsspitzen und -kosten. Die Steigerung der Häufigkeit der Fahrgassenpflege von 6 Mal pro Saison auf wöchentlich würde in Weggun mit dem betriebseigenen Traktor zu einer Erhöhung der Arbeitserledigungskosten von insgesamt 1.066,21 € je Jahr auf 3.755,09 € je Jahr (+253 %) führen. Pro Hektar sinken die Kosten durch die höhere Mahdfrequenz leicht von 54,10 € auf 52,05 €, aufgrund der Verteilung der fixen Maschinenkosten.

Durch den Einsatz eines teilautonomen E-Traktors könnten die Arbeitsspitzen gemindert und die Arbeitserledigungskosten in Weggun um insgesamt ca. 29 % und in Schöneiche um etwa 37 % reduziert werden (Tabelle 3). Die derzeit noch hohen Anschaffungskosten der innovativen Technik führen zu einem Anstieg der fixen Maschinenkosten. In Frankfurt (Oder) entstehen dadurch, trotz der Einsparungen bei den variablen Maschinenkosten und Lohnkosten, Mehrkosten des SunBot-Konzepts von insgesamt ca. 36 %. Die Investition in die neue Technik dürfte für diesen Betrieb nicht mehr als 120.000,00 € kosten, damit sich eine Kosteneinsparung unter gegebenen Voraussetzungen ergibt. Die variablen Maschinenkosten der beiden Systeme „Diesel“ und „Sunbot“ unterscheiden sich hauptsächlich durch die Kraftstoffeinsparung des

letzteren. Ausgehend von einer vollständigen Versorgung des E-Traktors mit eigenerzeugtem PV-Strom, wurde mit einem Strompreis von 0,28 €/kWh kalkuliert. Dieser ergibt sich aus den Gestehungskosten für PV-Strom von 0,1 €/kWh (Kost et al. 2021) und der Umlage der Kosten für die Ladeinfrastruktur mit 0,18 €/kWh (Verhältnis aus Anschaffungskosten Energiespeicher zu Gesamtspeicherkapazität über dessen Lebensdauer). Es ergeben sich durch das SunBot-System Einsparungen bei den Kosten für Antriebsstoffe von ca. 56,45 % (Weggun) bzw. 66,21 % (Frankfurt (Oder)) bzw. 78,62 % (Schöneiche). Dieser Einsparung stehen erhöhte Wartungskosten durch den Austausch der Traktorbatterie entgegen, was in Weggun sogar zu einer leichten Steigerung der variablen Maschinenkosten führen würde (+ 6 %). Der Wechsel der Batterie wurde kalkulatorisch als jährliche Kosten angesetzt und ist abhängig von der Lebensdauer (ausgehend von 3000 Vollladezyklen) und demnach von der Anzahl der jährlichen Maschinenstunden. In der Praxis liegt die Kapazität der Batterie nach 3000 Ladezyklen immer noch bei rund 80 %, wodurch die Kosten für den Akkutauch als geringer einzuschätzen sind (u. a. Solectrac 2022). Weiterhin ist zu erwarten, dass sich die Strom-Gestehungskosten für erneuerbare Energien und die Wartungskosten der Speichersysteme durch den rasanten technischen Entwicklungsschub in diesem Bereich in Zukunft weiter reduzieren werden. Das größte Einsparpotenzial liegt durch den autonomen Einsatz bei der Fahrgassenpflege bei den Lohnkosten. Diese ließen sich um bis zu 90 % (Frankfurt (Oder), Schöneiche) bzw. 95 % (Weggun) reduzieren. In Schöneiche entspricht das einer Einsparung von jährlich etwa 14.867,81 €, auf den Betrieben in Weggun und Frankfurt (Oder) 1.817,55 € bzw. 3.776,36 € (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich der Arbeitserledigungskosten Diesel – SunBot bei der Fahrgassenpflege

Arbeitserledigungskosten Fahrgassenmähd					
	Diesel		SunBot		Einsparpotenzial
	€/a	€/ha	€/a	€/ha	
Weggun 3,27 ha Strauchbeeren, 22 x pro Saison					
MK variabel	1.229,30	17,09	1.307,36	18,17	+ 6
MK fix	593,26	8,25	1.243,52	17,29	+ 110
Lohn Fest-AK	1.922,01	26,72	104,46	1,45	- 95
gesamt	3.744,56	52,05	2.655,34	36,91	- 29
FFO 35,53 ha Strauchbeeren, Kern- und Steinobst, 6 x pro Saison					
MK variabel	5.068,98	23,78	3.162,41	14,83	- 38
MK fix	1.497,58	7,02	11.036,83	51,77	+ 637
Lohn Fest-AK	4.209,71	19,75	433,35	2,03	- 90
gesamt	10.776,27	50,55	14.632,59	68,64	+ 36
Schöneiche 326,1 ha Strauchbeeren (108,7 ha pro Traktor), 6 x pro Saison					
MK variabel	27.615,15	42,34	12.705,69	19,48	- 54
MK fix	5.820,48	8,92	16.933,49	25,96	+ 191
Lohn Fest-AK	16.477,70	25,26	1.609,89	2,47	- 90
gesamt	49.913,33	76,53	31.249,07	47,91	- 37

Finanzierungsmodelle

Der von der US-Firma angebotene Monarch MK-V ist Stand Februar 2022 der einzige, autonom fahrende marktverfügbare Traktor. Eine Auslieferung fand jedoch im Jahr 2021 nur an Pilotkunden statt. Aufgrund dieser Marktsituation kann nur von einem fiktiven Anschaffungspreis ausgegangen werden. Durch den derzeit nicht vorhandenen Markt an autonomen E-Schleppern ist die Möglichkeit des Mietens bzw. Leasings als Finanzierungsmodell auszuschließen. Für die Berechnung der Verfahrenskosten (Kraftstoff- und Arbeitskosten) wurde daher von einer Eigenfinanzierung mittels Barzahlung ausgegangen. Die Ergebnisse

der Vefahrenskosten zeigen, dass durch den Einsatz des SunBot erhebliche Einsparungen bei den Arbeits- und Kraftstoffkosten erzielt werden können (Tabelle 4).

Die Nutzung von staatlichen Förderprogrammen kann zusätzlich zu Kosteneinsparungen beim Neukauf von E-Maschinen führen, da die Fixkosten maßgeblich vom Anschaffungspreis bestimmt werden. Die derzeit geringe Anzahl an Förderprogrammen verdeutlicht, dass für eine schnellere voranschreitende Elektrifizierung von Landmaschinen mehr Förderprogramme von politischer Seite auf den Weg gebracht werden müssen (Anhang 8.11). Zukünftig wird mit der Zunahme an maktverfügbaren autonomen E-Traktoren außer eines Neukaufs auch ein anderweitiges Finanzierungsmodell wie Miete oder Leasing möglich sein. Welches Finanzierungsmodell für den jeweiligen Anbauer am besten geeignet ist, muss mit dem gewünschten Finanzierungspartner/Kapitalgeber wie herstellereigene Finanzierungsgesellschaften, herstellerunabhängige Finanzierungsgesellschaften, Hausbank oder Rentenbank individuell abgeklärt werden.

5.2 Projektergebnisse Ziel 2 Reduktion Emission, Verbesserung Energiebilanz

Die folgenden Bewertungen zum Kraftstoffeinsparpotenzial, zur Energiebilanz und Leistungsfähigkeit beruhen zunächst auf den unter Kapitel 5.1 in Tabelle 4 angesetzten Maschinen und Fahrgassenpflegefrequenzen. Im Anschluss erfolgt die Auswertung der Praxisversuche mit dem Demonstrator.

Kraftstoffeinsparpotenzial und Abgasreduktion

Vor allem durch die Arbeit mit Traktoren wird im Obstbau ein Schadstoffausstoß verursacht. Um dem zu entgegnen, soll erstmalig im deutschen Obstbau ein vollelektrischer Traktor vorrangig zur Fahrgassenpflege eingesetzt werden. Im Rahmen des Verfahrenskostenvergleichs beim Prozess der Fahrgassenmahd (s. AP1) erfolgte die Schätzung der Menge an Diesel, welche durch den Einsatz des SunBot eingespart werden könnte (siehe Tabelle 6). Entsprechend der Dieselmenge konnte die Menge an freigesetztem CO₂ abgeleitet werden, wobei ein Liter verbrannter Diesel einem Ausstoß von 2,65 kg CO₂ entspricht (August 2020). Der Verbrauch von Kraftstoff und damit der Ausstoß von Schadstoffen hängt zum einen mit der Leistung der eingesetzten Maschine zusammen. Zum anderen spielen die Plantagenstruktur und die Verfahrenstechnik eine Rolle. Bei der Fahrgassenmahd auf der 3,27 ha Strauchbeerenplantage am Standort Weggun kommt ein Kleintraktor (25 kW) zum Einsatz. Der jährliche Dieselbedarf beläuft sich bei wöchentlicher Mahd auf etwa 344 Liter, wodurch rund 902 kg CO₂ freigesetzt werden. Insgesamt ist der Kraftstoffverbrauch im Betrieb Weggun als sehr gering einzustufen. Inklusiv Lohnarbeit (Mähdrusch) wurden im Wirtschaftsjahr 2019/20 lediglich 1.541 Liter verbraucht (exkl. Betriebs-Pkw). Die Einsparung an Kraftstoff würde sich durch die Fahrgassenmahd mit elektrischem Antrieb demnach auf etwa 22 % des betrieblichen Gesamtverbrauchs belaufen. Durch den Einsatz des SunBot in weiteren Produktionsverfahren könnte die Einsparquote auf schätzungsweise rund 60 % gesteigert werden (siehe Tabelle 5). Bei einer Mahdfrequenz von 6 Mal pro Saison auf einer Fläche von 35 ha in Frankfurt (Oder) könnten jährlich etwa 1.827 Liter Diesel durch den Einsatz des SunBot eingespart werden, was einer CO₂-Emission von 4.627 kg entspricht (Traktor mit

56 kW). Im Wirtschaftsjahr 2019/20 ergab sich für den Betrieb in Frankfurt (Oder) ein Gesamt-Dieserverbrauch von etwa 7.000 Liter. Durch die Fahrgassenmahd mit E-Antrieb könnte der betriebliche Dieserverbrauch etwa bis zu 26 % gemindert werden. Auf einer Strauchbeerengesamtfläche von 326 ha (Schöneiche, Traktor mit 77 kW) erfordert eine Häufigkeit der Fahrgassenmahd von 6 Mal je Saison etwa 33.023 Liter Diesel, wodurch eine Menge von ca. 83.992 kg CO₂ freigesetzt wird. Der geschätzte Dieselbedarf für die Fahrgassenpflege lag im Wirtschaftsjahr 2019/20 jedoch darunter, da insgesamt im Betrieb in Schöneiche etwa 33.700 Liter verbraucht wurden. Der Grund liegt an der geringeren Pflegefrequenz in einigen Strauchbeerenkulturen, der trockenen Witterung und den teils erwarteten Ertragsausfällen infolge von Spätfrost im genannten Jahr, wodurch nicht die gesamte Fläche 6 Mal gemäht wurde. Schätzungsweise liegt das Deseleinsparpotenzial durch die Fahrgassenmahd mit elektrisch angetriebenem Traktor(en) bei etwa 30 % des gesamtbetrieblichen Verbrauchs.

Der Verbrauch von 1 kWh PV-Strom entspricht in etwa einer Emission von 0,067 kg CO₂. Unter der Annahme, dass beim Einsatz des SunBot bei der Fahrgassenmahd 100 % der Energie durch die PV-Anlagen zur Verfügung gestellt werden kann, ergibt sich ein CO₂-Reduktionspotenzial von 93 % (Weggun) bzw. 95 % (Frankfurt Oder) bzw. 97 % (Schöneiche) im Vergleich zum Referenzszenario.

Tabelle 5: Deseleinsparpotenzial und Vergleich der CO₂-Emission in den Betrieben Weggun, Frankfurt (Oder) und Schöneiche bei der Fahrgassenmahd

	Weggun		FFO		Schöneiche	
Leistung Traktor	25 kW		56 kW		77 kW	
Deseleinsparpotenzial	l/ha	l/a	l/ha	l/a	l/ha	l/a
Fahrgassenmahd Dieseltraktor	4,78	344,16	8,57	1.826,53	16,88	33.023,49
CO₂-Emission	kg CO ₂ e/ha	kg CO ₂ e/a	kg CO ₂ e/ha	kg CO ₂ e/a	kg CO ₂ e/ha	kg CO ₂ e/a
Fahrgassenmahd Dieseltraktor	12,54	902,11	21,70	4.626,75	42,93	83.991,65
Fahrgassenmahd SunBot	0,23	61,02	1,11	236,08	1,32	2.584,68
Emissionsreduktionspotenzial	%		%		%	
Emissionsreduktion durch SunBot	-93,24		-94,90		-96,92	

Tabelle 6: Deseleinsparpotenzial bei der Strauchbeerenproduktion und sonstigen für den Einsatz des SunBot geeigneten Produktionsverfahren

	Strauchbeerenproduktion		weitere Produktionsverfahren	
	Arbeitsgänge	Dieselbedarf [l/a]	Arbeitsgänge	Dieselbedarf [l/a]
Weggun	Fahrgassenmahd	334,16	Mähweide, Ackerfutter, Futtergetreide Striegeln, Mähen, Weidezaunbetrieb	225,93
			Gemüdeproduktion Mulchen, Transportarbeiten, Kalken	8,39
			Tierproduktion Füttern, Einstreuen, Entmisten	378,50
Frankfurt (Oder)	Fahrgassenmahd (inkl. in Kern- und Steinobstplantagen)	1.826,53	Kern- und Steinobst Schnittholz häckseln, Pflanzenschutz, Düngung, Transportarbeiten	4.860,89
Schöneiche	Fahrgassenmahd	33.023,49	-	-

Energiebilanz, -autarkie, -verfügbarkeit und -bereitstellungskosten

Zur Bereitstellung von Energie für den Sunbot verfügen die drei Partnerbetriebe über PV-Anlagen mit einer Leistung von 29,7 kWp (Weggun) und 16,5 kWp (Frankfurt (Oder)). Am Standort Schöneiche sind mehrere PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 700 kWp installiert. Eine 100-kWp-Anlage soll zur Versorgung des autonomen E-Traktors zur Verfügung gestellt werden. Die Tabelle 7 zeigt eine Übersicht über das betriebliche Nutzungsverhalten des Stroms und die abgeleiteten Erlöse und Kosten aus Stromerzeugung bzw. -beschaffung für 2020 (Status Quo) und 2030 (Referenzszenario). Die Bewertung beruht auf folgenden Gegebenheiten bzw. der Annahme folgender Entwicklungen:

- Die Inbetriebnahme der PV-Anlagen der Partnerbetriebe erfolgte 2009 (Schöneiche), 2010 (Weggun) bzw. 2013 (Frankfurt-Oder). Im Rahmen der EEG-Förderung erhalten die Betriebe für 20 Jahre eine Einspeisevergütung von 39 ct (Weggun, Frankfurt (Oder)) bzw. 40 ct (Schöneiche) je eingespeiste kWh. Anlagen, welche zwischen dem 01.01.2009 und 30.06.2010 in Betrieb gegangen sind und deren Leistung 30 kWp nicht überschreitet, erhalten je selbstverbraucher kWh ebenfalls eine Vergütung. Dies trifft auf die Anlage in Weggun zu. Die Eigenverbrauchsvergütung liegt bei 22 ct je selbstverbraucher kWh. Solange die Einspeisevergütung über dem Preis für Netzstrom (32 ct je kWh in 2020) liegt, ist es für die Betriebe wirtschaftlicher, den PV-Strom einzuspeisen und Netz-Strom für den Eigenbedarf einzukaufen. Aus diesem Grund ergeben sich die aktuell geringen Eigenverbrauchsquoten (Verhältnis aus Eigenstromverbrauch und Eigenstromproduktion) von 0 % (Schöneiche), 24 % (Frankfurt (Oder)) und 41 % (Weggun) (Stand 2020). Der Autarkiegrad (Verhältnis aus Eigenstrom- und Gesamtstromverbrauch) lag in 2020 in Schöneiche und Weggun ebenfalls bei etwa 0 % bzw. 41 %. Ab 2029 laufen die ersten Förderungen aus. Nach derzeitigem Stand soll es zunächst befristet bis 2027 automatisch nach Ende der Einspeisevergütungsdauer eine Vergütung zum Jahresmarktwert durch den bestehenden Netzbetreiber geben. Diese richtet sich nach dem Börsenstrompreis und wird voraussichtlich deutlich unter 10 ct je gelieferte kWh liegen (laut Stand 2021: 3 bis 5 ct/kWh). Eine weitere Möglichkeit bietet der Absatz über die sog. sonstigen Direktvermarktungen (Solar Cluster Baden-Württemberg e. V. 2021). Die aktuelle politische Lage und die starke Volatilität des Strompreises an der Börse erschweren eine genauere Vorhersage bis 2030.
- Aus diesem Grund soll für die Beschaffung von Netzstrom von einem Preis von 36 ct je kWh für das Referenzszenario ausgegangen werden (Stand Strompreis 04/2022).
- In 2020 lag die Umlage zur Finanzierung und Förderung erneuerbarer Energien (EEG-Umlage) bei 6,76 ct je kWh (Bundesnetzagentur 2019). Anlagenbetreiber mit einer Anlagenleistung von über 30 kWp müssen je eigenverbraucher kWh eine anteilige EEG-Umlage (40 %) zahlen. Da die Anlagen in Weggun und Frankfurt (Oder) unter der Leistungsgrenze liegen, fallen keine Kosten für die Eigenverbrauchsumlage an. Aufgrund der stark gestiegenen Energiekosten soll die Umlage bereits ab 01.07.2022 wegfallen und nicht wie geplant erst zum 01.01.2023 (Bundesregierung 2022).

In Weggun entspricht der jährliche PV-Stromertrag mit 24.733 kWh (2020) in etwa dem Gesamtstrombedarf mit 24.408 (betrieblich und privat). Es ergibt sich eine positive Energiebilanz von +325 kWh je Jahr (Tabelle 8). Durch die Einspeisung zu einem Anteil von knapp 60 % des eigenproduzierten Stroms und durch die zusätzliche Vergütung für eigenverbrauchten Strom entstand für 2020 ein Überschuss über den Kosten für den Bezug von Netzstrom in Höhe von etwa 4.260 € (netto). Durch den Wegfall der Förderungen und den Anstieg der Strompreise ist für das Referenzszenario 2030 bei gleichbleibendem Nutzungsverhalten von einem Saldo von etwa -3.933 € auszugehen (Tabelle 7). In Schöneiche wird der gesamte PV-Stromertrag in Höhe von 92.857 kWh (2020) eingespeist. Der Strombedarf liegt bei etwa 10 % der produzierten Strommenge je Anlage und wird zu 100 % aus dem öffentlichen Netz bezogen. Es ergibt sich eine Energiebilanz von ca. +83.571 kWh (Tabelle 8) und ein Jahresüberschuss von etwa 34.766 € über den Bezugskosten. Im Referenzszenario 2030 würden die Erlöse aus der Einspeisung des PV-Stroms bei gleichem Nutzungsverhalten die Kosten der Strombeschaffung aus dem öffentlichen Netz nicht mehr decken (-38,07 €, s. Tabelle 7).

Aus diesem Grund wird es von zunehmendem wirtschaftlichem Interesse für die Betriebe sein, den Strom aus den ausgeführten PV-Anlagen weitestgehend selbst zu nutzen. Die Lebensdauer von PV-Anlagen wird auf etwa 30 Jahre geschätzt (Eon 2022). Somit lassen sich die in der Regel finanziell vollständig abgeschrieben Altanlagen nach einem erfolgreichen Anlagencheck mindestens weitere 10 Jahre nutzen. Vor allem in geeigneten Produktionsverfahren, die unter Verwendung von Dieselkraftstoff mit einem hohen Energieverbrauch und steigenden Energiekosten einhergehen, soll die Sonnenenergie genutzt werden. Um den Eigenverbrauch der Anlagen zu steigern und den SunBot auch außerhalb der Sonnenstunden schnell mit Sonnenenergie zu versorgen, muss in entsprechende Speicher- und Energiemanagementlösungen investiert werden.

Tabelle 7: Nutzungsverhalten des PV-Stroms der betriebseigenen Anlagen in Weggun, Frankfurt (Oder) und Schöneiche in 2020 (Status Quo) und 2030 (Referenzszenario)

		Weggun	Frankfurt (Oder)	Schöneiche
Leistung PV-Anlage	kWp	29,7	16,5	100
2020 Status Quo				
Stromproduktion	kWh/a	24.733	14.850	92.857
Gesamtstromverbrauch (auf die geg. PV-Anlage)	kWh/a	24.408	?	9.286
davon privat	kWh/a	8.199	0	0
davon betrieblich	kWh/a	16.209	?	9.286
Stromzukauf	kWh/a	14.383	?	9.286
Stromverkauf	kWh/a	14.708	11.244	92.857
Eigenverbrauch	kWh/a	10.025	3.606	0
<i>Eigenverbrauchsquote</i>	%	40,53	24,28	0,00
<i>Verkauf von produziertem Strom</i>	%	59,47	75,72	100,00
<i>Autarkiegrad</i>	%	41,07	?	0,00
Erlös aus Einspeisung (Einspeisevergütung)	€/a	5.736,12	4.497,60	37.142,80
Erlös aus Eigenverbrauchsvergütung	€/a	2.205,50	0,00	0,00
EEG-Umlage auf Eigenverbrauch	€/a	0,00	0,00	0,00
Kosten Stromzukauf	€/a	3.682,05	?	2.377,14
Saldo	€/a	4.259,57	?	34.765,66
2030 Referenzszenario				
Erlös aus Einspeisung (Marktpreis)	€/a	441,24	337,32	2.785,71
Erlös aus Eigenverbrauchsvergütung	€/a	0,00	0,00	0,00
EEG-Umlage auf Eigenverbrauch	€/a	0,00	0,00	0,00
Kosten Stromzukauf	€/a	4.373,87	?	2.823,78
Saldo	€/a	-3.932,63	?	-38,07

Der Einsatz eines elektrischen Traktors würde, trotz des Anstiegs des (PV-)Strombedarfs, durch die Einsparung von fossilem Kraftstoff zu einer bedeutenden Verbesserung der Energiebilanz führen. Für den Betrieb in Weggun mit einer Strauchbeerenfläche von 3,27 ha würde sich durch den Einsatz des SunBot bei wöchentlicher Fahrgassenmähd ein jährlicher Energiebedarf von etwa 910 kWh ergeben. Dies entspricht einem Mehrbedarf an Strom von rund 3 %. Der jährliche Gesamtstromverbrauch läge dadurch über dem PV-Stromertrag, wodurch sich beim Prozess der Fahrgassenpflege eine negative Energiebilanz von -581 kWh ergeben würde (Tabelle 8). Der Einsatz des Dieseltraktors bei der Fahrgassenmähd führt im Vergleich zu einer Energiebilanz von -3.066 kWh. In Frankfurt (Oder) bzw. Schöneiche mit Flächen von 35,5 ha bzw. 326,1 ha beläuft sich der Mehrbedarf an Strom für eine Mähdfrequenz von 6 Mal pro Jahr auf etwa 3.500 kWh bzw. 38.400 kWh. Für Schöneiche würde dies einen zusätzlichen Bedarf an Strom von etwa 410 % entsprechen. Mit dem SunBot würde es in Schöneiche zu einer deutlichen Verbesserung der Energiebilanz der Fahrgassenmähd mit +45.178 kWh im Vergleich zum Dieseleinsatz (-21.656 kWh) führen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Energiebilanz Stromnutzung Partnerbetriebe

		Weggun		Frankfurt (Oder)		Schöneiche	
		Referenz	SunBot	Referenz	SunBot	Referenz	SunBot
PV-Stromproduktion	kWh/a	24.733		14.850		92.857	
Energiebedarf Strom	kWh/a	24.408	25.314	?	?	9.286	47.679
Energiebedarf Diesel Fahrgassenmähd	kWh/a	3.391	-	17.390	-	105.227	-
Energiebilanz	kWh/a	-3.066	-581	?	?	-21.656	45.178

Konzept ideale Infrastruktur

Die optimale Ladeinfrastruktur ist abhängig von der bestehenden PV-Anlagenleistung und vom Energiebedarf der Betriebe. Das Aufladen des Pufferspeichers sollte in Abhängigkeit der Anlagenleistung erfolgen. Bei hoher Sonneneinstrahlung soll mittels eines smarten Energiemanagements die Ladeleistung des Puffers entsprechend angepasst bzw. erhöht werden und umgekehrt. Dadurch ließe sich gegebenenfalls auch eine mögliche Drosselung der Anlagenleistung durch den Netzbetreiber im Rahmen des Einspeisemanagements vermeiden. Für die Betriebe in Weggun und Schöneiche wurden exemplarisch die Leistungsflüsse, unter der Berücksichtigung des Einsatzes unterschiedlicher Pufferspeicherkapazitäten, ermittelt und jeweils die potenziell zur Verfügung stehende Energiemenge abgeleitet. Anhand des betrieblichen Gesamtstromverbrauchs pro Jahr wurde für die Betriebe auf Basis des Standardlastprofils L2 (BDEW 2017) ein betriebsindividuelles Lastprofil erstellt. Mithilfe der Leistungsparameter der PV-Anlagen wurde jeweils ein Einspeiseprofil je Betrieb unter Nutzung eines Standardeinspeiseprofiles (SEP 1701 EPV, Avacon Netz GmbH) angefertigt. Die Differenz beider Profile ergibt dem PV-Überschuss, der eingespeist oder gespeichert werden kann.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Leistungsflüsse eines durchschnittlichen Julitages auf den Betrieben in Weggun und Schöneiche (Abbildung exemplarisch 8 a-b, Anhang 8.12.). Ohne Speicher wird der gesamte PV-Energieüberschuss ins öffentliche Netz eingespeist. In Weggun (30 kWp-Anlage) sinkt mit zunehmender zu Verfügung stehender Pufferspeicherkapazität die durchschnittliche Ladeleistung, was zu verlängerten Ladezeiten führt. Ein Speicher mit einer Kapazität von 20 kWh kann, unter den in Weggun gegebenen Bedingungen, bei einer mittleren Ladeleistung von etwa 10,5 kW in etwa 2 Stunden aufgeladen werden. Die erzielbare Eigenverbrauchsquote würde von ca. 44 % (ohne Speicher) auf ca. 65 % (20 kWh Speicher) steigen. Das Verhältnis aus Eigenstromverbrauch und Gesamtstromverbrauch (betriebsüblicher Verbrauch plus Verbrauch für die Fahrgassenpflege mit dem SunBot) erhöht sich von ca. 45 % auf 63 % (Autarkiegrad, Abbildung 9). Da der jährliche Gesamtstrombedarf für Weggun mit ca. 25.314 kWh knapp über dem jährlichen PV-Stromertrag mit etwa 24.733 kWh liegt, kann ein Autarkiegrad von maximal 97,7 % erreicht werden. Dies kann mit einer Pufferspeicherkapazität von 72,5 kWh realisiert werden. Die Eigenverbrauchsquote läge dann bei 100 %. Jede zusätzliche kWh Speicherkapazität kann nicht mehr mit PV-Energie beladen werden. Das Aufladen des 72,5 kWh Speichers mit PV-Energie würde bei einer mittleren Ladeleistung von 6,3 kW etwa 11,5 Stunden dauern.

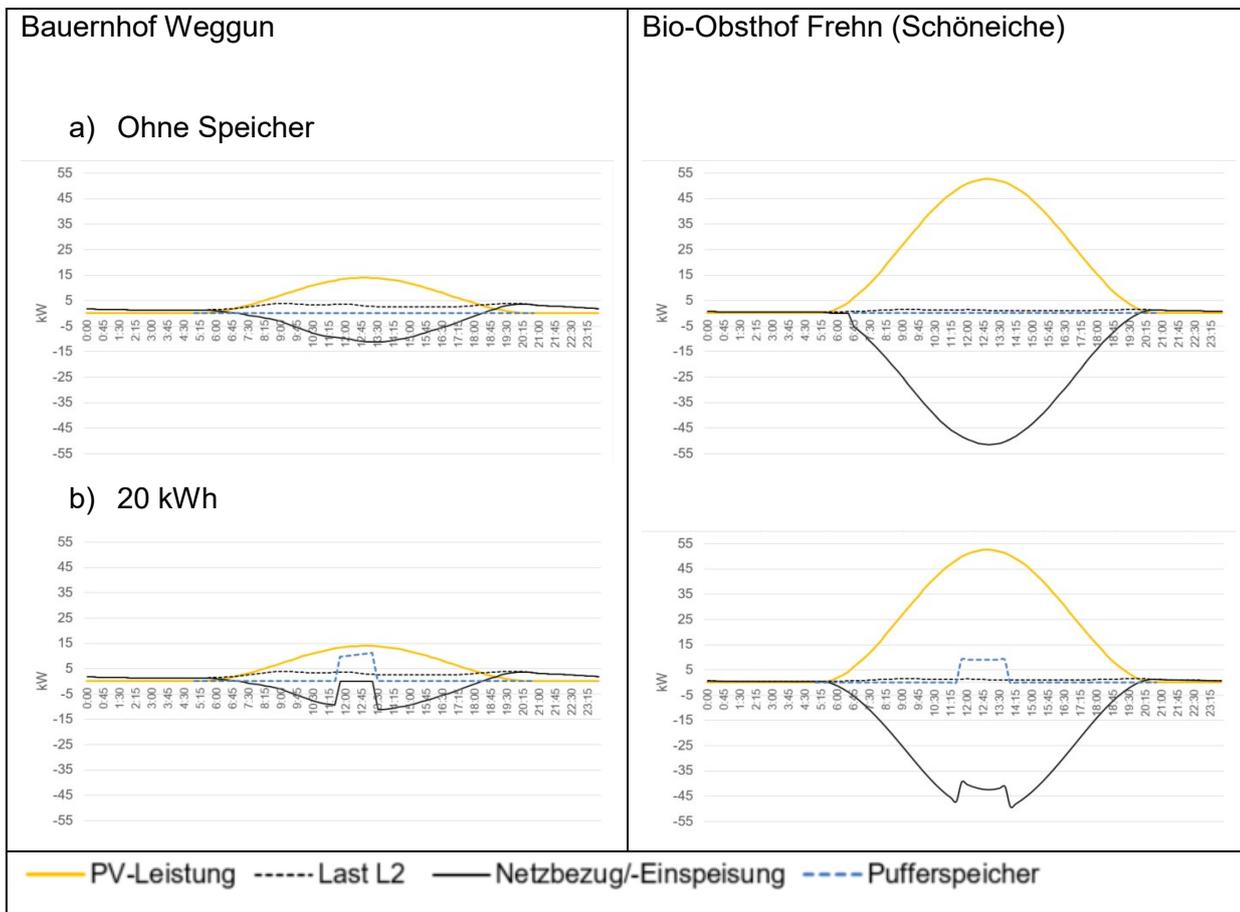


Abbildung 8: Leistungsflüsse in Abhängigkeit der Pufferspeicherkapazität an einem mittleren Julitag für die Betriebe in Weggun und Schöneiche. Im Anhang 8 sind die Leistungsflüsse bis 160 kWh dargestellt.

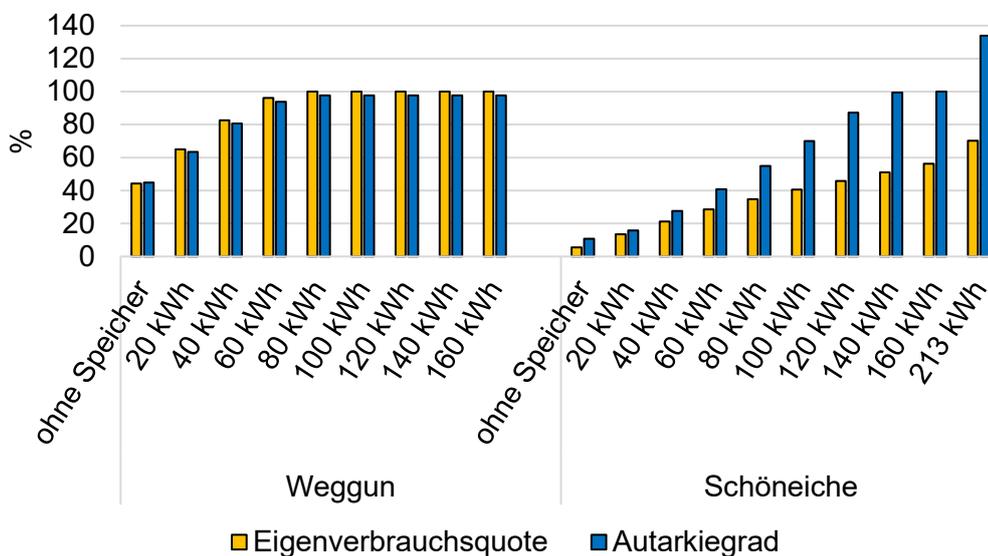


Abbildung 9: Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad der PV-Anlagen in Abhängigkeit der Pufferspeicherkapazität auf den Partnerbetrieben in Weggun und Schöneiche

Die 100 kWp-Anlage in Schöneiche erreicht an einem mittleren Julitag eine Leistung bis zu 53 kW (Abbildung 8 a rechts). Dadurch sind entsprechend höhere Ladeleistungen möglich, was zu einer kürzeren relativen Ladedauer führt. Bei einem Gesamtstromverbrauch von ca. 47.679 kWh im Jahr kann eine

vollständige Autarkie mit einer Speicherkapazität von etwa 140 kWh erzielt werden. Die Eigenverbrauchsquote liegt dann bei etwa 50 % (Abbildung 9). Da 38.393 kWh des Gesamtstrombedarfs für die Fahrgassenpflege jedoch während der Strauchbeerensaison benötigt werden, müssen in dieser Zeit pro Tag mindestens 213 kWh Strom zur Verfügung stehen. Um zu gewährleisten, dass der Traktor zu 100 % mit eigenem PV-Strom versorgt wird, ist ein Pufferspeicher mit einer Mindestkapazität von 213 kWh nötig. Ein entsprechender 213 kWh-Speicher würde zu einer theoretischen Erhöhung des Autarkiegrads auf etwa 134 % führen (Abbildung 9). Die überschüssige bevorratete Menge an Energie außerhalb der Saison kann zu geeigneter Zeit eingespeist oder direktvermarktet werden. Anstatt in den größeren Pufferspeicher zu investieren, ist es für den Betrieb in Schöneiche sinnvoller, die Ladestrategie des E-Traktors dahingehend anzupassen, dass das Aufladen eines 140 kWh Puffers während der Zeit hoher PV-Leistung (Mittagszeit) unterbrochen wird, um die Traktorbatterie mit einer nutzbaren Kapazität von 64 kWh direkt durch die PV-Anlage zu laden. Die Ladeleistung wird temporär, wie beim Aufladen des Puffers, entsprechend der PV-Leistung mithilfe eines Energiemanagementsystems optimiert (Abbildung 10).

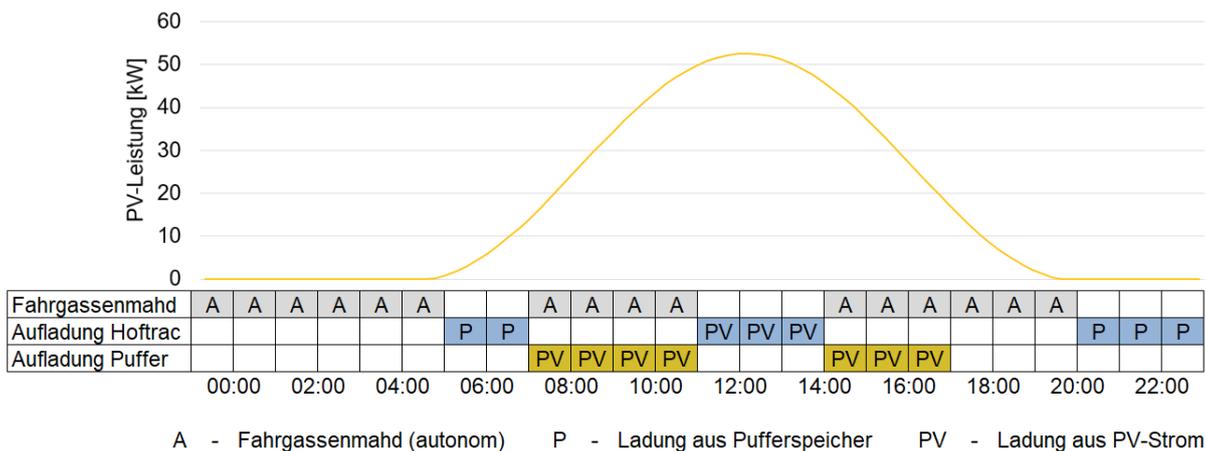


Abbildung 10: Exemplarische Darstellung einer Ladestrategie für den Standort Schöneiche unter der Annahme des Einsatzes eines E-Traktors mit einer Kapazität von 80 kWh, eines Pufferspeichers mit einer Kapazität von 140 kWh und einer mittleren Ladeleistung des Pufferspeichers bzw. der E-Traktorbatterie von 22 kW

Das Laden der Traktorbatterie über den Pufferspeicher sollte mit möglichst hoher Ladeleistung erfolgen, um lange Stand- bzw. Ladezeiten des E-Traktors zu vermeiden. Für eine CO₂-neutrale wöchentliche Fahrgassenpflege müssen in Weggun pro Saison 907 kWh PV-Strom zur Verfügung stehen. Dies entspricht einem täglichen Bedarf von etwa 5 kWh. Aus dem als gering einzustufenden Energiebedarf ergeben sich für die Fahrgassenmähd zunächst minimale Anforderungen an die Ladestrategie des E-Traktors.

Praxisversuche - Leistungsfähigkeit des SunBot (Ladeleistung und Ladegeschwindigkeit)

Das Batteriesystem des Weidemann E-Hoftracs konnte durch den Umbau verbessert und somit erfolgreich ein geeigneter Demonstrator für die Praxisversuche in den Strauchbeerenplantagen geschaffen werden.

Der Praxistest zum Ladeverhalten vor dem Umbau des Hoftracs ergab eine Ladedauer der 14,4 kWh Blei-Säure-Batterie von über 10 Stunden bei einer durchschnittlichen Ladeleistung von 0,97 kW. Der Test wurde bei einer Ladestandanzeige von unter 20 % (*State of Charge*, SoC) gestartet, was einer Restenergiemenge von maximal 2,88 kWh entspricht. Bis zu einem SoC von etwa 80 %, nach einer Ladedauer von knapp 5 Stunden, wurde die Batterie mit einer mittleren Ladeleistung von 1,69 kW geladen. Bei den restlichen 20 % verringerte sich die Ladeleistung stark auf durchschnittlich 0,41 kW, was zusätzlich eine Dauer von über 5 Stunden erforderte (Abbildung 11). Ein Grund für die starke Drosselung der Ladeleistung ab einem SoC von 80 % liegt im Überladungsschutz der Batterie.

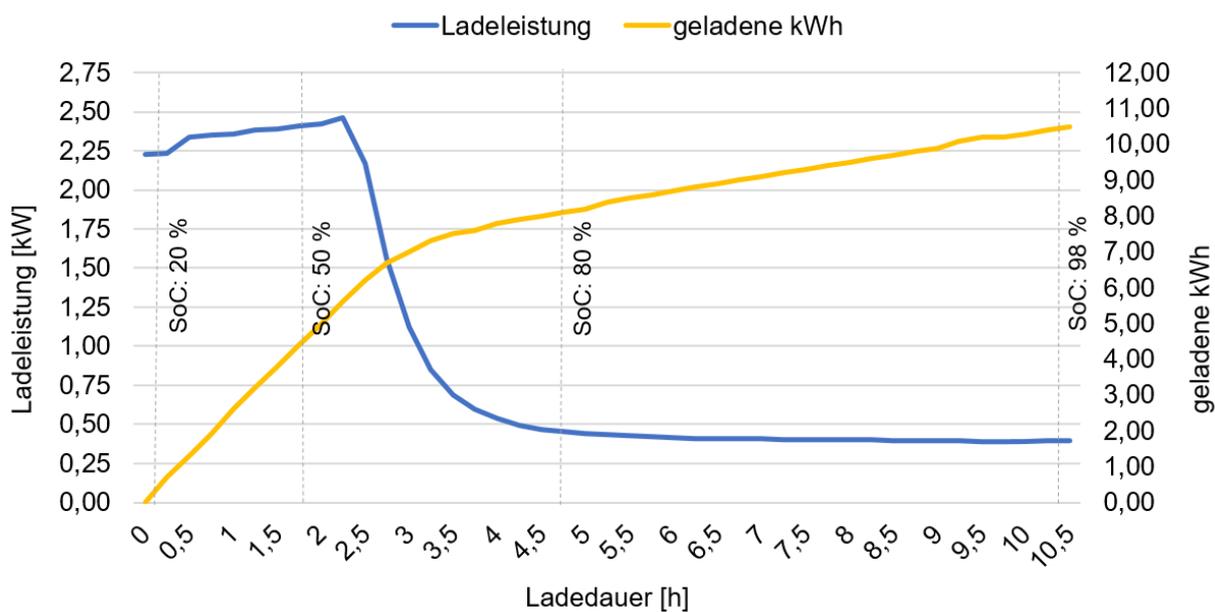


Abbildung 11: Ladeleistung und -dauer des Weidemann E-Hoftrac mit werkseitigem Batteriesystem

Durch den Umbau konnte die durchschnittliche Ladeleistung auf 7,5 kW gesteigert werden. Nach einer Ladezeit von ca. 2 Stunden war der LiFePo₄-Akku vollständig geladen (siehe Abbildung 11). Zu Demonstrationszwecken des SunBot an der Energiemanagementstation und im Einsatz auf der Plantage bildet dies im Rahmen weiterer Forschung eine einfache Basis. Neue marktverfügbare E-Traktoren wie der SKE50 der Firma Rigitrac können mit Ladeleistungen von 22 kW AC (Wechselstrom) geladen werden.

Praxisversuche - Praktikabilität des Energiekonzepts (reale Einsatzdauer, Energieverbrauch, Akkumulatorkapazität, Ladezyklen)

Im 24-Stunden-Test wurde die effektive tägliche Einsatzzeit des SunBot ermittelt. Vor dem Umbau des E-Hoftracs lag diese bei 18 %. Bei 2,4 Vollladezyklen war der E-Hoftrac 4,2 Stunden am Tag auf der Plantage einsatzbereit. 19,8 Stunden mussten zum Laden eingeplant werden. Durch den Umbau wurde die effektive Einsatzzeit auf 54 % gesteigert. Dies entspricht einer möglichen täglichen Gesamteinsatzdauer von 13 Stunden. Dafür sind pro Tag 4,6 Vollladezyklen notwendig. Der Einsatz größerer Akkumulatoren und

leistungsstärkerer Ladesysteme erfordern weniger Ladezyklen am Tag, was nicht zuletzt auch die Lebensdauer der Akkus positiv beeinflusst. Damit die Einsatzmöglichkeiten des SunBot mit diesen Batterien ausreichend getestet werden konnten, wurde der SunBot von Dezember bis März auf die Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung (LVAT) e. V. gebracht. Es musste dieser alternative Hof genutzt werden, da die Obstbaubetriebe in der Winterruhe waren. Dort wurde der SunBot im laufenden Betrieb getestet. Zum Beispiel wurde analysiert, wo man den SunBot noch einsetzen könnte, wie lange der SunBot bestimmte Arbeitsschritte machen kann und wie praktikabel der SunBot für den Landwirt ist. Die Auswertung dieser Betrachtungen ergab, dass die LVAT von den Einsatzmöglichkeiten des SunBot begeistert ist. Die kleine Bauweise ermöglicht auch einen Einsatz an engen Ställen, wo große Maschinen keine Chance haben. Darüber hinaus konnte der SunBot ohne zwischenzeitliche Ladegänge einen ganzen Arbeitstag benutzt werden, jedoch nicht im kontinuierlich Betrieb. Der Ablauf war wie folgt: Fahrweg, maschineller Arbeitsgang, Pause, Fahrweg, maschineller Arbeitsgang, Pause, etc.

5.3 Projektergebnisse Ziel 4 regionale Wertschöpfungsketten

Frank van der Hulst und seine Frau Majorlein van der Hulst betreiben seit 2019 den Bauernhof Weggun in der Uckermark in Brandenburg. Es ist ein sehr kleiner Betrieb mit 22 ha, der im Vollerwerb bewirtschaftet wird. Der Bauernhof Weggun somit zu der hohen Zahl kleiner Agrarbetriebe, die 50 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands bewirtschaften (Pliening, Hüttl 2006). Nach Demeter-Richtlinien werden vier Hektar Beerenobst angebaut, Grünland und Futterbau betrieben sowie ca. 500 Legehennen, 250 Masthühner und 180 Mutterschafe gehalten. Die Familie van der Hulst lebt von ihrem Betrieb, setzt auf autonome Hofkreisläufe und sucht konsequent nach Nischen im Absatzmarkt, die noch nicht besetzt sind (eigene Daten und Rocha 2017). Der Betrieb ist Partner- und Versuchsbetrieb des Projektes SunBot. Im Forschungsprojekt wird ergründet, wie ein autonom fahrender Traktor kleine Betriebe unterstützen kann.

Gerade für kleine Betriebe mit Strauchbeerenproduktion kann sich eine Umstellung auf einen elektrischen, autonom fahrenden Traktor lohnen: Häufig stellen im Obst- und Beerenanbau die Anzahl der notwendigen Pflegemaßnahmen eine Herausforderung dar, die negative Auswirkungen auf Ertrag, Qualität und Wettbewerbsfähigkeit haben. Durch die häufigen Pflegemaßnahmen kommt es zu zeitlichen Überschneidungen von Pflege und Ernte und das führt zu personellen Engpässen bei Arbeitsspitzen. Mithilfe des autonom fahrenden Traktors ließen sich Pflegearbeiten autonom ausführen, wann immer es zu personellen Engpässen kommt, oder die Pflegearbeiten werden nachts durchgeführt. Im Idealfall kann sich aus der vermehrten Schnittfrequenz eine Ertragssteigerung bis zu 10 % ergeben (ATB Potsdam 2021).

Durch den Elektroantrieb des Traktors kann selbst produzierter Strom aus PV-Anlagen genutzt werden. Damit können Emissionen als auch Energiekosten eingespart werden. In der Strauchbeerenproduktion ist es von Vorteil, 4-6 Mal im Jahr zu mähen, um den Unterwuchs unter den Sträuchern kurz zu halten und somit für eine verbesserte Pflanzenqualität zu sorgen. Wenn der elektrisch betriebene SunBot diese Arbeit

in Weggun übernimmt, dann lassen sich pro Jahr je nach Mahdfrequenz (4-6 Mahten pro Jahr) 315-470 Liter Diesel einsparen. Das sind 120-189 kg CO₂ pro Jahr und 378-564 Euro pro Jahr auf einem Hof wie Weggun (ATB Potsdam 2021, eigene Daten).

Die Landwirtschaft ist der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgasen in Deutschland. Neben CO₂ kann mithilfe des Sunbots auch Methan eingespart werden. Methan wird bei der Lagerung von Wirtschaftsdünger ausgestoßen und Lachgas wird durch mikrobielle Abbauprozesse im Boden verursacht und durch landwirtschaftliche Stickstoffdüngung verstärkt (Haß et al. 2020). Durch eine regelmäßige Mahd und die Verbesserung der Wuchsbedingungen der Strauchbeeren kann die Düngemittelgabe verringert werden und Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Auf dem Betrieb Weggun könnte der SunBot nachts autonom Schnitтарbeiten sowie die Fahrgassenmahd in den Strauchbeeren übernehmen. Tagsüber kann er als normaler Traktor mit Fahrer eingesetzt werden und z. B. zu den Tieren Futtermittel und Wasser transportieren, Transportarbeiten im Gemüseanbau übernehmen und auf der Weide mähen, mulchen und nachsähen. Das alles mit einem verringerten Geräuschpegel und selbst produzierten Strom aus der PV-Anlage. In Verbindung mit einem Siegel „Emissionsfrei produziert“ für die Marktprodukte können die Konsumenten auf das klimafreundlichere Produkt hingewiesen werden.

KSNL

Schwierigkeiten ergaben sich daraus, dass der SunBot Demonstrator erst spät im Projekt ausgereift genug war um für Feldversuche eingesetzt zu werden. Hierdurch entfiel der Vergleichszeitraum. Als Alternative Lösung wurden die Vergleiche durch konstruierte Szenarien berechnet. Die KUL (Umweltfaktoren) der Betriebe Weggun und Schöneiche wurde demzufolge nur einmalig erhoben. Beim Betrieb 3 (Neumann) fehlte bis zuletzt weiterhin die KUL. Auch aufgrund mehrerer Nachfragen beim Dienstleister erfolgte keine Lösung hierzu. Eine Erkenntnis der Bewertung ist, dass der Einsatz des SunBot die Umweltfaktoren der vorgegeben KSNL-Kriterien aus dem Antrag nicht maßgeblich (oder nicht messbar) beeinflusst. Die Bewertung der KWL (Wirtschaftsindikatoren) konnten nicht vollständig abgeschlossen werden. Und wie beschrieben wurde die KSL (Soziales) nicht erhoben, da der SunBot keinen zu erwartenden Einfluss auf diese Indikatoren ausübt. Es zeigt sich die reale Problematik, eine Praxisbewertung bereits parallel zu einer Neuentwicklung durchzuführen. Es wird dringend empfohlen die KSNL Bewertung zu einem späteren Zeitpunkt, bei einer längeren Testphase des SunBots, nochmal zu untersuchen.

Die KSNL Bewertung hat ergeben, dass sich der nächtliche, autonome Betrieb des SunBot auf sehr kleinen Betrieben aktuell nicht lohnt. Hier sollte der Traktor nur für die Strauchbeeren und auch nur tagsüber eingesetzt werden. Der Einsatz am Tage wäre vorteilhaft, da auf dem Beispielhof sehr viel Strom produziert wird und durch den Wegfall der EEG-Umlage sich die Eigennutzung deutlich mehr lohnt als einzuspeisen. Alternative Nutzungen wären zum Beispiel auch für Wetterstationen oder Bewässerungssteuerung.

Zu erwartende Veränderungen durch SunBot im ökonomischen und ökologischen Bereich bei der Nutzung des Gesamtkonzepts:

- Kostensenkung/Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Nutzung des Gesamtkonzepts (Ausnahme: sehr kleine Betriebe)
- 10 % mehr Ertrag im Strauchbeerenanbau sowie verbesserte Ertragsqualität
- Einsparung von Arbeitskosten bei der Mahd
- Ausgaben für Investitionen für Anschaffung/Reparaturen für SunBot, die PV-Anlage und des Mähwerkes
- Reduzierung von Arbeitskraft (autonom, Tag/Nacht-Nutzung)
- Sinkende Kosten in der Strauchbeerenproduktion durch kurzen Unterwuchs und sinkenden Bedarf an Pflanzenschutzmitteln und Wegfall von Diesel – Beispielbetrieb: Einsparung von ~390 Liter Diesel bei Mahd pro Jahr möglich → 500 € gespart ~150 kg CO₂ → Verbesserung der Klimabilanz
- Reduktion von Abgas-Emissionen und Verbesserung der Energiebilanz
- Konzepte zur hofautarken Versorgung mit regenerativer Energie und Validierung von Brückentechnologien für deren Praxiseinführung vorhanden
- Verbesserung in Richtung Nachhaltigkeit und dadurch Vorteile gegenüber der Konkurrenz bzw. Präferenzen beim Konsumenten
- Weniger Konflikte bei der Arbeitsorganisation während Arbeitsspitzen, da SunBot nachts arbeitet, hierdurch entsteht zusätzlich eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität

Neben den nicht vorhandenen Emissionen (während der Nutzung), dem erhöhten Wirkungsgrad des Antriebsstrangs, der Drehmomentreserve, der erhöhten Regelbarkeit und optimalen hofeigenen Nutzung erneuerbarer Energien ist durch den Krieg in der Ukraine durch solche Innovationen die geringere Abhängigkeit von Kraftstoffimporten von höchster Priorität bei vielen Akteuren.

E-Antriebe wie beim SunBot zeichnen sich demzufolge durch einen hohen Wirkungsgrad und geringe Betriebskosten aus. Bei Dieselmotoren gehen bis zu 80 Prozent der im Diesel enthaltenen Energie als nutzlose Abwärme verloren. Im Gegensatz dazu werden bei Elektromotoren 80 Prozent der zugeführten Energie als Antriebsenergie genutzt. Auf diese Weise kann überschüssiger Strom aus der Photovoltaik genutzt werden und Batterien können als Stromspeicher dienen. Am E-Traktor bzw. am SunBot müssen auch in Zukunft Wartungs- und Instandhaltungskosten durchgeführt werden, jedoch sind diese sehr viel geringer als bei einem herkömmlichen Dieselmotor.

Die Technik entwickelt sich rasant weiter, sodass Aufladezyklen enorm verkürzt werden, was wiederum eine hohe Auslastung der Elektrofahrzeuge sichert. Viele Betriebe besitzen bereits Photovoltaikanlagen, und in Verbindung mit der weggefallenen EEG-Umlage ist der Eigenverbrauch innerhalb eines Betriebs ökonomisch und ökologisch sinnvoll. Ebenso verbessern sich die Speichertechnologien rasant, sodass die Stromversorgung und Teile der Betriebsmittel in Zukunft autark und somit zu 100 % energieunabhängig

gewirtschaftet werden können. Hinzu kommen Vorteile in Bezug auf eine emissionsfreie Nutzung und der geräuschlose Gebrauch der Motoren, was eine Nutzung auch innerhalb von Ställen vorteilhaft macht. Zeitunabhängige Arbeiten, wie die Mahd (oder auch Mulchen, Reihenputzen), können teilweise bereits durch den SunBot übernommen werden. 30 Prozent der steirischen Landwirtinnen und Landwirte in Österreich haben bereits Erfahrung mit E-Mobilität. 55 Prozent besitzen eine Stromerzeugungsanlage (davon 91 Prozent Photovoltaik), 55 Prozent planen die Anschaffung eines E-Fahrzeugs in den nächsten fünf Jahren und 84 Prozent sind der Meinung, dass E-Mobilität in der Landwirtschaft ein fixer Bestandteil sein wird (landwirtschaft.at).

Nutzungskonzepte

Die hohen Investitionen für die Anschaffung des SunBots, welche gleichzeitig eine zu große Hürde für sehr kleine Betriebe darstellen wird, einen SunBot zu nutzen, verlangen neue bzw. weitere Nutzungskonzepte: Möglich wäre für sehr kleine und kleine Betriebe eine gemeinsame Anschaffung sowie die Aufnahme in einen regionalen Maschinenring zur gemeinsamen Nutzung. Der Vorteil beim SunBot liegt ebenso bei der Möglichkeit, den Traktor manuell und auch autonom zu nutzen, was wiederum die Nutzung bei Tag und Nacht ermöglicht, was zu einer Steigerung der Auslastung und Effizienz führt. In Betrieben, in denen bereits jetzt mehr Strom erzeugt wird, als der SunBot benötigt, können entsprechender „überschüssiger“ Strom selbst genutzt werden für weitere Anwendungen, wie für die Bewässerungssteuerung oder auch für Wetterstationen. Ebenso sind Zukunftskonzepte und Geschäftsmodelle für dezentrale regenerative Energiebereitstellung nötig und möglich, so z. B. die Hoftankstelle als öffentliche Elektrotankstelle innerhalb der Region, woraus sich wiederum Kunden für hofeigene Läden neu gewinnen lassen und bestehende binden lassen würden, da sie nachhaltige Produkte erwerben und gleichzeitig grünen Strom tanken können. Die Nutzung für Wein- und Gemüsebaubetriebe ist genauso ein Zielmarkt wie die Mahd bei kommunalen Flächen, um so die Reduzierung der Emissionen in diesen Sektoren voranzubringen. Zu den Märkten gehören neben dem brandenburgischen und deutschen, vor allem skandinavische Länder sowie Kalifornien in den USA. Zusätzlich werden natürlich Apps und Trainings für die Bauern erstellt werden müssen, um den SunBot und die PV-Anlagen mit entsprechenden Nutzungskonzepten je nach Hofsituation zu kombinieren und entsprechende Trade-offs zu reduzieren und Synergien zu nutzen.

Marktpotenzialanalysen: Eine Befragung von Landwirten und weiteren Fachexperten hat ergeben, dass ein eigenes Zertifikat gewünscht wäre. Bestehende Zertifikate beinhalten oftmals nur die Produktion bzw. der (Nicht-)Einsatz von Pestiziden. Hierbei fehlen jedoch weitere Arbeitsprozesse bspw. der Energiezeugung, Einsatz von erneuerbaren Energien (EE) oder auch weiteren nachhaltigen Innovationen wie dem SunBot in der gesamten Wertschöpfungskette von landwirtschaftlichen Produkten und Dienstleistungen. Bei Konsumenten/Verbrauchern können durch ein solches Zertifikat Informationsasymmetrien abgebaut und somit die Verbrauchersouveränität gestärkt werden. Durch das Zertifikat können brandenburgische Produkte in Verbindung mit dem SunBot und erneuerbaren Energien demzufolge optimaler ihre Leistungen und Potenziale der regionalen Landwirtschaft und der Beitrag für eine nachhaltigere Wirtschaftsweise bzw. Wertschöpfungskette kommunizieren.

Neben dem Bio-Siegel könnte demzufolge ein „200 % Bio-Siegel“ als Input bestimmte Diskurse und Prozesse in Gang setzen, um auch hier von Seiten der Betriebe, der Politik und entsprechenden Plattformanbietern im Landwirtschaftsbereich zu weiteren Innovationen und auch Fördermöglichkeiten zu animieren. Über 89 % der Befragten (siehe Tabelle „PatchCropWorkshop“) würden ein solches Zertifikat nutzen wollen, wobei wiederum 42 % zwischen 5-10 % und 32 % der Befragten zwischen 10-15 % sowie 12 % sogar mehr als 15 % hierfür bezahlen würden. Wichtig ist hierbei die klare und verständliche Kommunikation der Mehrleistung durch das Zertifikat bzw. Siegel. Eine Transparenz für Qualität- und Prozesseigenschaften ist hier entscheidend und muss entsprechend bei der Erstellung eines solchen Siegels geprüft werden, auch wie es am Ende in Deutschland bzw. Europa eingesetzt werden kann und den Verbraucher nicht noch mehr im Siegel-Dschungel verunsichert.

Auf dem frei verfügbaren Markt gibt es bereits (teil)autonom fahrende Fahrzeuge (bspw. Tesla) oder vollelektrisch-betriebene Hoflader, Futtermischwägen sowie Traktoren (bspw. Fendt E-Traktor e100Vario oder Modelle von John Deere), jedoch keine vergleichbaren Angebote zum SunBot innerhalb Deutschlands, welcher die erste Stufe seiner Entwicklung erfolgreich überwunden hat. Nur die Entwicklung des autonomen Traktors von Monarch kam diesem Ziel innerhalb der Projektlaufzeit nahe. Wichtig für den SunBot und dessen Weiterentwicklung ist es demzufolge, auf der jetzt erreichten Entwicklungsstufe intensiv nach Kooperationen mit Wirtschaftspartnern zu suchen. Während des Projekts gab es bisher keine positiven Rückmeldungen auf Kooperationsanfragen bei großen Traktorherstellern, Fendt und Deutz sowie weiteren führenden Unternehmen der Branche. Dies ist umso erstaunlicher da die aktuellen Entwicklungen, gerade bei Monarch zeigen, dass einen Markt gibt. Monarch (und New Holland) planen ab 2023 autonom fahrende Traktoren in Serie in den USA zu produzieren. Bei Fendt ist aktuell nur ein vollelektrisch fahrender Traktor ab 2024 in Serie geplant und alle kontaktierten Unternehmen haben (wohl) eigene in-house-Projektentwicklungen in diesem Bereich die wenigsten jedoch im Nischensegment Beerenobstbau.

Um die Entwicklung autonomer Traktoren (auch in Nischensegmenten) voran zu treiben sind die politischen Rahmenbedingungen mitentscheidend. Zielgerichtete politische Anreize können in den nächsten Jahren eine Planungssicherheit für Forschung und Entwicklung geben. Hierauf kann sich die Landtechnikindustrie einstellen, um sowohl die Entwicklung als auch die Nutzung dieser Innovationen voranzutreiben. Vor allem im direkten Vergleich mit Ländern wie USA, China, Indien, Russland, Belarus oder Südkorea, welche bereits (teilweise autonom fahrende) E-Traktoren entwickeln (Beltrami et al. 2021) haben europäische und insbesondere deutsche Landtechnikhersteller Nachholbedarf. Denn zwischen einer Konzeptstudie wie dem SunBot und einem marktfähigen Serienprodukt vergeht noch viel Zeit. Aktuell läuft Deutschland bzw. Europa bei autonomen Landmaschinen hinterher, obwohl sie mit ihren starken Firmen und deren Innovationskraft das Thema (mit) anführen könnten. Aktuelle Entwicklungen wie zum Beispiel der Monarch und die hohe Bereitschaft von Landwirten zu Kooperationen bestätigen wiederum ein großes Interesse und Potential für autonome Anwendungen in der Landwirtschaft. Dies belegen sowohl eigene Umfragen als auch weitere wissenschaftliche Studien ([Rübcke von Veltheim und Heise 2021](#)) – trotz einer gewissen Grundskepsis –

zeigen sich deutsche Landwirte offen für die Nutzung innovativer Technologien, vor allem im Bereich EE und autonomer Feldroboter.

Limitierung

Traktoren werden für die unterschiedlichsten Dinge eingesetzt, was auch die sehr unterschiedlichen Größenklassen erklärt. Allerdings bewegen sie sich dabei anders als Personenfahrzeuge. „Traktoren sind nur etwa 300 bis 500 Stunden pro Jahr im Einsatz, allerdings dann während mindestens 3 bis 4 Stunden bei hoher Intensität“, erklärt Nathanaël Gobat, Co-Geschäftsführer von AgroCleanTech: „Rechnet man mit 40 kW Leistung während 4 Stunden, kommt man auf eine Batterie mit 160 kWh Kapazität.“ Das sei beim aktuellen Stand der Technik nicht sinnvoll. Zudem sei die Betriebstemperatur ein Problem. Ein Traktor müsse auch im Winter bei minus 10 Grad sehr hohe Leistungen bringen. Zudem funktioniert das Prinzip der Rekuperation, bei dem Bremsenergie die Batterie wieder lädt, bei Zugmaschinen wenig bis gar nicht.

Die Ökonomie spricht (noch) für Diesel: Bei Elektrofahrzeugen macht die Batterie einen großen Anteil der Produktionskosten aus. Leistungsstarke Batterien, wie sie für Großtraktoren benötigt würden, bedeuten entsprechend hohe Fahrzeugkosten. Dr. Roman Engeler, Direktor des SVLT, bilanziert deshalb: „Der Treibstoff Diesel ist aufgrund seiner Energiedichte und seines Preises pro Energiedichte bis heute unerreicht.“ Bei leistungstärkeren Traktoren würde ein elektrischer Antrieb unter dem Strich unwirtschaftlich. „Das kann sich alles ändern“, so Engeler, „wenn sich das preisliche Gefüge ändert und die Batterieforschung Fortschritte macht.“ Vor allem mit Letzterem rechne er fest.

Diese Einschätzungen von Branchenkennern sind Einzelmeinungen und stellen keine wissenschaftlichen Ergebnisse dar. Sie zeigen aber deutlich das sehr viele, ganz unterschiedliche Hemmnisse im Bereich der Feldroboterentwicklung noch zu überwinden sind.

5.4 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Zusammenfassend konnte eine Beeinflussung von häufigeren Pflegearbeiten auf bodennahe Luftschichten nachgewiesen werden. Insbesondere für Strauchbeerenplantagen mit geringen Reihenabstand hat sich ein kontinuierliches Kurzhalten der Fahrgassen als vorteilhaft gezeigt. Durch die Kontaktminderung von stark hängenden Trieben mit feuchtem hohem Gras wird die Abtrocknung der Früchte verbessert, die Fäulnisgefahr der Beeren verringert und die Qualität der Früchte sowie der Ertrag gesteigert. Für die Biodiversität hat sich, durch den fehlenden Blühstand und die daraus resultierende geringere Insektenaktivität in den Fahrgassen mit häufigerer Mahdfrequenz, eine Einhaltung der Schnitthöhe von mind. 10 cm als geeignet herausgestellt.

Durch den Einsatz eines autonomen E-Traktors können die Arbeitsspitzen gemindert werden. Das größte Einsparpotenzial bei der Fahrgassenpflege liegt durch den autonomen Einsatz bei den Lohnkosten. Diese ließen sich um bis zu 90 % (Frankfurt (Oder), Schöneiche) bzw. 95 % (Weggun) reduzieren.

Unter der Annahme eines prognostizierten Agrardieselpreises von 1,75 € je Liter (a.d. Maur und Trachsel 2021, abgeleitet aus Szenario „CO₂-Pfad“) und Energieversorgung des E-Traktors mit 100 % PV-Strom könnten die Arbeitserledigungskosten insgesamt um ca. 29 % (Weggun) und um etwa 37 % (Schöneiche) reduziert werden. Vor allem bei großen Flächen erhöht sich das Einsparpotenzial durch die konstant bleibenden Kosten beim E-Traktor-System deutlich mit zunehmenden Dieselpreis (Anhang 8.13).

Durch die erhöhten Anschaffungskosten eines autonomen E-Traktors würden, trotz der Einsparungen bei den variablen Maschinenkosten und Lohnkosten, für den Betrieb Neumann Mehrkosten von ca. 36 % entstehen. Die Investition in die neue Technik dürfte für diesen Betrieb bei nicht mehr als 120.000,00 € liegen.

Um zu gewährleisten, dass die benötigte Energie weitestgehend aus eigenerzeugtem PV-Strom zur Verfügung steht, kommt es auf eine auf den Verbrauch abgestimmte Speicherlösung an. Durch einen PV-Stromspeicher mit einer Kapazität von 40 kWh könnten der Anteil an Eigenverbrauch und die Autarkie von ca. 40 % (ohne Speicher) auf etwa 80 % gesteigert werden.

Wichtig ist eine Förderung solcher Projekte und Innovationen, da sie zeigen, dass eine zumindest teilweise Automatisierung mehrere Vorteile mit sich bringt – für den Betrieb und die Umwelt. Ein Faktor, welcher die Automatisierung von Landwirtschaft stark vorantreiben könnte, ist der Arbeitskräftemangel: Je nach Betriebsgröße sowie Verfügbarkeit von familiären Arbeitskräften ist die Landwirtschaft auf die Versorgung mit ausländischen Arbeitskräften angewiesen. Da die Landwirtschaft als Niedriglohnssektor unattraktiv ist für Arbeitskräfte und der Arbeitskräftemangel durch Corona noch einmal verschärft wurde, könnten diese Faktoren eine zunehmende Technisierung und Automatisierung der Landwirtschaft vorantreiben (Ollier et al 2020).

Weitere Faktoren, welche die Automatisierung fördern könnten, sind technologische Fortschritte in der Sensortechnik und der Datenkommunikation und -verarbeitung, der Ausbau vom Mobilfunknetz sowie Entwicklungen in der Elektromobilität. Abseits der Technik sind es sinkende Lohnkosten für Arbeitskräfte, sich verändernde gesetzliche Rahmenbedingungen hin zu einer klimaneutraleren Landwirtschaft sowie Restriktionen bzgl. Pflanzenschutzmitteln und Dünger, die einen Wandel in der Landwirtschaft vorantreiben. (Schattenberg, Schramm, Frerichs 2019; BMEL 2021)

5.5 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Das förderpolitische Ziel der Europäischen Innovationspartnerschaften (EIP-AGRI) besteht in der Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität und Nachhaltigkeit im Land Brandenburg, um die Weiterentwicklung der Landwirtschaft unter dem Aspekt eines verbesserten Umwelt- und Ressourcenschutzes zu fördern. Im Rahmen des Projekts „SunBot“ konnte mit dem Aufbau eines autonomen vollelektronischen Demonstrators und der Entwicklung eines entsprechenden Energiemanagementkonzeptes gezeigt werden, wie eine Steigerung der Arbeitsproduktivität erreicht und

eine Stärkung der regionalen Obstanbauern zukünftig aussehen könnte. Da die Wirksamkeit einer häufigeren Pflegemaßnahme insbesondere für Plantagen mit einer geringeren Fahrgassenbreite aufgezeigt werden konnte, wäre der Einsatz des kleineren SunBots insbesondere für regionale Frischwareproduzenten mit schmalen Reihenabständen eine Möglichkeit, um zukünftig mit vorteilhafteren Anbauregionen (Lohn, Klima, Böden) konkurrenzfähig zu bleiben.

5.6 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Durch die Breite der im SunBot Projekt durchgeführten Arbeiten, die sowohl die Feldversuche und ökonomischen Betrachtungen umfassten, als auch den spezifischen Aufbau des Demonstrators, des Mähwerks und der entsprechenden Ladeinfrastruktur konnte für die Praxis des regionalen Strauchbeerenanbaues ein breites Erfahrungsprofil im Hinblick auf den Einsatz von autonomen Plantagenfahrzeugen erarbeitet werden.

Ein Teil der Ergebnisse aus den Feldversuchen deuten bei einer häufigeren Pflegemaßnahme auf einen positiven Effekt hin, der mit Qualitäts- und Ertragssteigerungen einhergeht. Für die Praxis bedeuten diese Erkenntnisse eine Handlungsempfehlung zur Durchführung einer regelmäßigen Mahd insbesondere in feuchten Vegetationsperioden.

Zudem stehen den Praktikern die Projektergebnisse aus AP1 zur Biodiversität als Praxisblatt mit entsprechenden Handlungsempfehlungen zur Verfügung (siehe Anhang 8.13). Für die obstbauliche Praxis wurden die wirtschaftlichen Vorteile wie auch Nachteile durch den Vergleich der beiden Plantagenfahrzeuge mittels Verfahrensbewertung transparent gemacht. Dadurch wird sicherlich die Akzeptanz gegenüber neuwertigen autonomen Fahrzeugen mit alternativen Antriebsystemen bei den Obsterzeugern gefördert.

Um Stärken und Schwächen eines landwirtschaftlichen Betriebs zu erkennen und entsprechend zu reagieren, werden Bewertungssysteme wie das *Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft* (KSNL), empfohlen. In Zeiten des Klimawandels ist es wichtig u. a. Treibhausgasemissionen einzusparen. Durch die Nutzung von SunBot und die Verwendung von erneuerbaren Energien kann Diesel und somit können Treibhausgase eingespart werden. Der Betrieb kann durch die selbst erzeugte Energie eine emissionsärmere Wirtschaftsweise anstreben und diesen Mehraufwand z. B. durch ein Label vermarkten und evtl. neue (zahlungskräftigere) Kunden gewinnen. Bei einem längeren Einsatz des SunBot würde dann auch KSNL unterstützend wirken. Für die teilnehmenden Betriebe sind die Ergebnisse aus der KSNL nutzbar, um zu sehen, wo in ihren Betrieben eine Verbesserung möglich ist und was sie dafür tun müssen.

5.7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Gegenüberstellung erfolgt anhand der im Projektantrag formulierten zu erwartenden Arbeitsziele.

Arbeitspaket 1	
Ursprüngliche Planung	Tatsächlich erreicht
<p>Nachweise positiver Tendenzen durch Feldversuche, dass aufgrund der häufigeren Pflegemaßnahmen die Plantagenhygiene und Pflanzengesundheit verbessert und dadurch eine insgesamt höhere Qualität und höhere Erträge erreicht werden.</p>	<p>Der Punkt wurde in Zusammenarbeit mit den Praxisbetrieben untersucht und eine Beeinflussung der bodennahen Luftschichten durch häufigere Pflegemaßnahmen nachgewiesen. Die On-Farm-Experimente waren an unterschiedlichen Stellen, durch Witterung, Distanz der Versuchsfelder, technische Probleme sowie durch die pandemische Lage besonderen Herausforderungen ausgesetzt. Dennoch zeigten die Ergebnisse vom Demonstrationsfeld Weggun einen tendenziell positiven Effekt auf Qualität und Ertrag.</p>
<p>Berechnung der Kosteneinsparpotenziale von Kraftstoff- und Arbeitskosten unter Berücksichtigung der Investitionskosten durch das SunBot-System</p>	<p>Für die betriebswirtschaftliche Perspektive wurden die Maschinenkosten bezüglich des Verfahrens der Fahrgassenmahd vom autonomen, batterieelektrischen SunBot mit einem verbrennungsmotorischen Traktor verglichen. Damit wurden die Einsparpotenziale der Arbeits- und Kraftstoffkosten durch das SunBot-System transparent gemacht.</p>
<p>Bewertung von Finanzierungsmodellen für beteiligte Betriebsarten zum SunBot-Konzept</p>	<p>Mit dem Maschinenkostenvergleich für die betriebseigenen Dieseltraktoren mit dem SunBot wurde eine erste Bewertung zum Investitionsrisiko für die beteiligten Betriebsarten analysiert. Nach Internetrecherchen (Stand: Feb. 2022) ist der Monarch MK-V der einzig angebotene vollelektronische und autonom fahrende Traktor. Eine erste Lieferung dieses Modells fand im Jahr 2021 jedoch nur an ausgewählte Pilotkunden statt. Dieses Ergebnis zeigt, dass es bisher keine marktverfügbaren autonomen E-Schlepper gibt.</p> <p>Damit ist eine wirtschaftliche Nutzung bzw. realistische Darstellung von Finanzierungsmodellen für Obstbaubetriebe noch nicht möglich. Die zusätzliche Ermittlung von Förderprogrammen von Bund, Länder und EU ergab mit dem Bundesprogramm „Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau-Teil A/Teil B“ nur einen Treffer für die Förderung von alternativen Antriebssystemen für Landmaschinen im Gartenbau/Obstbau. Dies verdeutlicht, dass eine voranschreitende Elektrifizierung von Plantagenfahrzeugen auch von politischer Seite unterstützt werden muss</p>

5.8 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Eine wirtschaftliche Anschlussfähigkeit bietet v. a. die weitere Automatisierung von Arbeitsschritten wie Spritzungen bzw. Ausbringungen von Düngern oder festgelegten Transportwegen, die von den Obsterzeugern momentan mit den Traktoren noch manuell durchgeführt werden müssen. Als weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen haben wir identifiziert:

- Neben den bisher erfassten Einflüssen einer tagsüber ausgeführten Pflegemaßnahme könnte insbesondere die Frage der nächtlichen Auswirkungen durch autonome Plantagenfahrzeuge auf Tier und Umwelt bearbeitet werden. Dabei wäre von großer Bedeutung, wie eine autonome nächtliche Unterwuchsregulierung die Biodiversität auf Obstplantagen beeinflusst.
- Erste Untersuchungen zur Plantagenhygiene konnten einen Einfluss auf die bodennahen Luftschichten nachweisen. Die Untersuchungen zur Pflanzengesundheit sind auf Versuchsstationen zu wiederholen, um die schlechtere Kontrolle von Einflussfaktoren wie beispielsweise Boden- oder räumliche Trends des Standorts von On-Farm-Experimenten zu vernachlässigen und eine regelmäßige Bonitur zu gewährleisten.

Die KSNL ist eine mehrwertbringende Methode, um betriebliche Veränderungen festzustellen. Jedoch ist sie zur Darstellung von Veränderungen durch Innovationen aktuell nur bedingt geeignet und könnte durch methodische Anpassungen hierzu erweitert werden. Es besteht weiterer Forschungsbedarf bei der Frage, ob alle Annahmen aus den Ergebnissen in der Realität auf den Betrieben auch entsprechende Auswirkungen haben. Mit einem längerfristigen Test des SunBot würde sich dann auch zeigen, ob der SunBot praxistauglich ist und die gewünschten Veränderungen wie z. B. höhere Ernteerträge und weniger Pflanzenschäden durch Krankheiten möglich machen kann.

6. Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

In regelmäßigen 2-wöchigen Telefonkonferenzen wird mit allen OG-Partnern der aktuelle Stand sowie das weitere Vorgehen innerhalb der Arbeitspakete besprochen sowie projektübergreifende relevante Informationen ausgetauscht. Die OG informiert sich so gegenseitig über aktuelle Entwicklungen bei den laufenden Arbeiten und interessante Zwischenergebnisse. Hier hat jeder Teilnehmer die Möglichkeit, Vorschläge zur Umsetzung von Messungen, Anwendung von Modellen etc. einzubringen. Während der Telefonkonferenz werden Probleme angesprochen und Lösungen diskutiert. Zur Nachverfolgbarkeit wird eine Liste der offenen Punkte geführt. Darin wird die Lösung der offenen Punkte als Aufgabe festgelegt und verantwortliche Personen gemäß der Zuordnung zu den Arbeitspaketen benannt. Im Anschluss an die Telefonkonferenz wird ein Update der offenen-Punkte-Liste erstellt und durch die Projektkoordination an die gesamte OG versendet; sie dient damit als fortlaufendes Ergebnisprotokoll.

Bedarfsgesteuert treffen sich die Mitarbeiter der einzelnen Arbeitspakete zu Detailbesprechungen und teilen die Ergebnisse der gesamten OG im Nachhinein mit. Im Rhythmus von 6 Monaten erfolgen physische

Projekttreffen zur direkten Diskussion, Berichterstattung und Auswertung aktueller Ergebnisse und zur Planung des weiteren Vorgehens.

Der besondere Mehrwert des Formates einer OG besteht in der direkten Zusammenarbeit von Wissenschaftler*innen und praktischen Landwirten*innen. Der gegenseitige Austausch war sowohl für die Definition der Fragestellungen als auch bei der Durchführung und Auswertung der Versuche ein wichtiger Erfolgsfaktor.

Eine weitere Zusammenarbeit von einzelnen Mitgliedern der OG mit weiteren Industriepartnern wird angestrebt und ist aktuell Gegenstand von Planung und Verhandlungen. Hierbei ist das Ziel aus dem Demonstrator ein marktfähiges Produkt zu entwickeln. Es wird neben potentiellen Partnern noch nach Finanzierungsmöglichkeiten gesucht.

Die Koordination der OG SunBot nahm am bundesweiten Online-Workshop für operationelle Gruppen teil. Des Weiteren besteht der Erfahrungsaustausch zwischen den EIP-Projekten pH-BB, NewSoil21 und BeetleSoundTube. Außerdem erfolgte eine Vernetzung mit anderen laufenden Projekten am ATB wie foodChain oder dem Leibniz Innohof, um weitere potenzielle Nutzungen für den SunBot zu entwickeln.

7. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Für die interne OG Kommunikation wurde ein OwnCloud-Datenaustauschordner und die Website www.sunbot.de eingerichtet (Meilenstein). Für die Außenkommunikation wurden Poster und ein einheitliches Projektdesign entwickelt. Seit Projektstart wurde an einer Vielzahl von Veranstaltungen teilgenommen, um das Projekt bekannt zu machen. Auf der BraLa und dem ATB-Feldtag wurde der jeweils aktuelle Projektstand vorgestellt. Im Januar 2020 wurde zusammen mit dem VKR und dem ATB eine Vorlesung an der Beuth Hochschule für Technik Berlin durchgeführt. Dort wurden unter anderem das Projekt SunBot und Möglichkeiten zur beruflichen Entfaltung im Obstbau vorgestellt. Außerdem hielt der Anbauer Frank van der Hulst einen Vortrag über den ökologischen Beerenobstanbau aus Sicht eines Produzenten beim Beerenobstseminar (Meilenstein). Die aktuellen Daten bzgl. des Projekts (z. B. Nachweis der Veröffentlichung und Kontaktdaten) wurden an die EIP-Datenbank durch die Gsub übermittelt (Meilenstein). Die Ergebnisse wurden mithilfe von Praxisblättern, Tagen der offenen Tür und Workshops verbreitet. Die detaillierte Liste aller Veröffentlichungen ist im Anhang 8.3 dargestellt.

Quellen

ADAC (2022): „So haben sich die Spritpreise seit 1950 entwickelt“ <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/deutschland/kraftstoffpreisentwicklung/> ; eingesehen am 07.07.2022

August, K. (2020): „Wie viel CO₂ steckt in einem Liter Benzin?“; <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/wie-viel-co2-steckt-in-einem-liter-benzin/>

Avacon Netz GmbH (2022): Standardlastprofile (SLP); <https://www.avacon-netz.de/de/energie-anschiessen/netznutzung/lastprofilverfahren.html>, eingesehen am 14.02.2022

Bundesnetzagentur (2019): EEG-Umlage 2020 beträgt 6,756 ct/kWh; https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191015_EEG.html

BDEW (2017): Standardlastprofile Strom; <https://www.bdew.de/energie/standardlastprofile-strom/>, eingesehen am 20.01.2022

Enders G (1980) Die Siedlung als klimatisch differenzierter Lebensraum. Berichte der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) 4:104–110. https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Bayer-Akad-f-Natursch-u-Landschaftspfl_4_1980_0104-0110.pdf. Zugegriffen: 30. Nov. 2021

EON (2022): „Lebensdauer einer Solarzelle“; <https://www.eon.de/de/pk/solar/lebensdauer-solarzelle.html>, eingesehen am 15.06.2022

Gorjian, S.; Minaei, S.; MalehMirchegini, L.; Trommsdorff, M.; Shamshiri, R. R. (2020): Applications of solar PV systems in agricultural automation and robotics. *Photovoltaic Solar Energy Conversion* (pp. 191-235). Academic Press.

Häckel H (2021) *Meteorologie*, 9. Aufl. UTB, Stuttgart

Holb, IJ, Scherm, H (2007) Temporal dynamics of brown rot in different apple management systems and importance of dropped fruit for disease development. *Phytopathology* 97(9):1104–1111. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-9-1104>

Käthner, J.; Jahr, A.; Jende, A.; Alex, J.; Frehn, C.; Kramer, E.; Cywinski, E.; van der Hulst, F.; Schwefler, J.; Nagler, L.; Pietras, M.; Powalla, K.; Neumann, R.; Shamshiri, R.; Oehler, W.; Weltzien, C. (2021): SunBot: Emissionsfreie Strauchbeeren-Produktion in Brandenburg. In: Dirksmeyer, W.; Menrad, K.(eds.): 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau. Thünen Report, Braunschweig, (ISSN 2196-2324, ISBN 978-3-86576-234-4), p. 145-156.

Köstner B (2021) Gelände- und Mikroklima im Weinberg. https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-biowissenschaften-10447/ag_bilogie/BIODIVINA/BM1/biodivina_gelaende-_und_mikroklima_im_weinberg.pdf. Zugegriffen: 14. Dez. 2021

Kost, C.; Shammunam, S.; Fluri, V.; Peper, D.; D. Memar, A.; Schlegl, T. 2021: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien Juni 2021; Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Str omgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf

a.d. Maur, A.; Trachsel, T. (2021), Zielpfade Verkehr; https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/10/Prognos_10-2021_Zielpfade_Verkehr_final_26-10-2021.pdf

Metzger, J.; Kelm, T. (2021): Weiterbetrieb von Ü20-Photovoltaikanlagen; https://www.photovoltaik-bw.de/fileadmin/Bilder-Dateien_Koordinierung/Informationsblaetter_aus_den_Regionen/PV-Netzwerk_BW_Faktenpapier_UE20-PV-Anlagen_01_2021.pdf

Nagler, L.; Schwefler, J.; Käthner, J.; Giebel, A.; Kramer, E. (2022): Der Einfluss der Fahrgassenpflege auf das Mikroklima in Schwarzen Johannisbeeren (*Ribes nigrum* L.). *Erwerbs-Obstbau*. : p. 1-12. Online: <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00771-x>

Ollier, M., Talle, V., Brisset, AL. et al. (2020) QTL mapping and successful introgression of the spring wheat-derived QTL Fhb1 for Fusarium head blight resistance in three European triticale populations. *Theor Appl Genet* 133, 457–477 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03476-0>

Parlow E, Kleiber T, Vogt R (2011) Verbesserung des Stadtklimas durch Stadtbegrünung? *Regio Basiliensis* 52:17–27. https://www.researchgate.net/publication/236271601_Verbesserung_des_Stadtklimas_durch_Stadtbegrunung/link/569cf1e808ae2e9667ec4e52/download. Zugegriffen: 14. Dez. 2021

Rübcke von Veltheim, F. & Heise, H. (2021), German Farmers' Attitudes on Adopting Autonomous Field Robots: An Empirical Survey. *Agriculture*, 11(3) pp. 216. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11030216>

Santoiemma, G.; Tonina, L.; Marini, L.; Duso, C.; Mori, N. (2020) Integrated management of *Drosophila suzukii* in sweet cherry orchards. *Entomol Gen* 40(3):297–305. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0947>

Schattenberg, J.; Schramm, F.; Frerichs, L. (2019). Entwicklungsszenarien einer automatisierten Pflanzenproduktion. *Journal für Kulturpflanzen*. 71. 10.5073/JfK.2019.04.05.

Schuetz, T.; Dworak, V.; Weltzien, C. (2022). Deriving precise orchard maps for unmanned ground vehicles from UAV images. 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft.

Shamshiri, R.; Weltzien, C.; Schütte, T. (2022): Multi-Sensor Data Fusion with Fuzzy Knowledge-based Controller for Collision Avoidance of a Mobile Robot. In: VDI Wissensforum (eds.): *Land.Technik 2022. The forum for Agricultural Engineering Innovations. International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik 2022*. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, (0083-5560/978-3-18-092395-6), p. 349-358.

Shamshiri, R.; Weltzien, C. (2021): Development and field evaluation of a multichannel LoRa sensor for IoT monitoring in berry orchards. In: Meyer-Aurich, A.; Gandorfer, M.; Hoffmann, C.; Weltzien, C.; Bellingrath-Kimura, S.; Floto, H.(eds.): *Referate der 41. GIL-Jahrestagung*. 41. GIL-Jahrestagung. Gesellschaft für Informatik, Bonn, (978-3-88579-703-6), p. 289-294.

Shamshiri, R.; Bojic, I.; van Henten, E.; Balasundram, S.; Dworak, V.; Sultan, M.; Weltzien, C. (2020): Model-based Evaluation of Greenhouse Microclimate using IoT-Sensor Data Fusion for Energy Efficient Crop Production. *Journal of Cleaner Production*. (263): p. 1-17.

Solectrac Specifications; <https://solectrac.com/eutility-electric-tractor>; eingesehen am 03.05.2022

Trattig U (1992) Raupen Bestandsanalyse (Insecta, Lepidoptera) in einschürigen und ungemähten Wiesen unter Berücksichtigung der Mikroklimata. *Nota lepidopterologica* 4: 86–96. https://www.zobodat.at/pdf/Nota-lepidopterologica_Supp_4_0086-0096.pdf.

Weltzien, C.; Shamshiri, R. (2019): SunBot: Autonomous Nursing Assistant for Emission-Free Berry Production, General Concepts and Framework. In: 77th International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik AgEng 2019. 77th International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik AgEng 2019. VDI Verlag, Düsseldorf, (0083-5560/978-3-18-092361-1), p. 463-470.

Yu, L.; Tao, S.; Ren, Y.; Gao, W.; Liu, X.; Hu, Y.; Shamshiri, R.R. (2021): Comprehensive Evaluation of Soil Moisture Sensing Technology Applications Based on Analytic Hierarchy Process and Delphi. Agriculture. 2021; 11(11):1116.