

1. Autoren

Dr. Marcel Flemming, SKH GmbH, Leadpartner
Dr. Heidi Heuberger, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Christian Danner, Landwirt
Dr. Niklas Cordes, Zielpuls GmbH

2. Projekttitle (D/E)

Anbau und Veredelung von *Iris germanica* und *Iris pallida* in Bayern
Cultivation and refinement of *Iris germanica* and *Iris pallida* in Bavaria

3. Zuwendungsempfänger

Operationelle Gruppe Zweckgemeinschaft stoffliche Nutzung von Sonderkulturen in Bayern,
Königbacher Straße 17
94496 Ortenburg
Ansprechpartner: Dr. Marcel Flemming (Leadpartner)
+49-941-943-3999, +49-179 9497116
Marcel.flemming@ur.de

4. Leadpartner

SKH GmbH
Königbacher Straße 17
94496 Ortenburg
Ansprechpartner: Dr. Marcel Flemming (Leadpartner)
+49-941-943-3999, +49-179 9497116
Marcel.flemming@ur.de

5. Mitglieder der Operationellen Gruppe

SKH GmbH, Dr. Marcel Flemming
Landwirtschaft Danner, Christian Danner
Zielpuls GmbH, Dr. Niklas Cordes

Wissenschaftlicher Kooperationspartner der OG:

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dr. Heidi Heuberger

6. Kurzfassung

Ziel war es, eine neue Wertschöpfungskette vom Anbau, bis zur Verarbeitung und Veredelung von Schwertlilienrhizomen (*I. germanica* und *I. pallida*) für die Parfum- und Aromaindustrie in Bayern zu etablieren. In diesem Pionierprojekt wurden der feldmäßige Anbau von der Pflanzung, der Pflege sowie der Ernte, der Säuberung, der Trocknung bis hin zur anschließenden Oxidation erfolgreich teilmechanisiert, optimiert und vom Versuchsstadium in die Praxis transferiert. Zudem konnten potentielle Kunden und detaillierte wirtschaftliche und wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden. Außerdem wurde eine enge Kooperation verschiedener Akteure aus Wissenschaft und Praxis erprobt und umgesetzt. Der Erkenntnisgewinn und die positiven Ergebnisse erlauben eine wirtschaftliche Umsetzung und Entwicklung der Produktion.

7. Summary in English

The aim of this project was to establish a new value chain in Bavaria from the cultivation till the processing of orris rhizomes (*I. germanica* and *I. pallida*) for its use in the fragrance and aroma industry. Within the scope of this pioneer project the field cultivation, from the maintenance of the

plantation, the harvest, the cleaning, the drying till the subsequent oxidation were successfully partially mechanized, optimized and transferred from the experimental stage into practice. In addition, potential customers have been acquired and detailed economical and scientific knowledge were obtained. Furthermore, a close collaboration of different participants out of science and practice was tested and realized. The knowledge gained and the promising results support the continuation of the production of Bavarian orris.

8. Projektgebiet

Die praktische Umsetzung des Projekts (Anbau und Verarbeitung) wurde in der Region Niederbayern durchgeführt (Landkreise Dingolfing und Passau), die Laboruntersuchungen wurden in Regensburg durchgeführt.

9. Gesamtbudget

Die angeforderten Mittel (Brutto) betragen insgesamt: 452.049,08 €

10. Ausgangssituation und Bedarf

Die Rhizome der Schwertlilienarten *Iris germanica* und *Iris pallida* werden seit Jahrhunderten als Duft- und Aromapflanzen geschätzt. Bis heute spielen ihre Extrakte und Hydrodestillate (ätherisches Öl) eine wichtige Rolle in der Parfüm- und Aromaindustrie. Irisextrakte zählen neben Rosenöl, und Jasminabsolue zu den teuersten natürlichen Ingredienzien hochwertiger Parfüms, werden aber auch in nicht unerheblichem Maße von der Lebensmittelindustrie als Aromastoffe eingesetzt. Die hohen Preise der Extrakte sind vor allem bedingt durch die lange Kulturzeit der Pflanzen von drei Jahren, den dann trotzdem geringen Ernteerträgen und der sehr zeitaufwendigen Verarbeitung und dem langsamen Trocknungsprozess. Vor allem aber müssen die Rhizome nach der Trocknung mindestens zwei bis drei Jahre gelagert werden, bis durch einen natürlichen Oxidationsprozess ausreichend Duftstoffmoleküle, die sog. Irone, aus Vorläufermolekülen entstanden sind. Die Ausbeuten an Duftstoffen nach diesem jahrelangen Prozess sind dennoch sehr gering und liegen bei *I. germanica* bei ca. 150-200 ppm und bei *I. pallida* bei etwa 300-500 ppm. In beiden Iris-Arten findet man zwei Ironisomere, die maßgeblich, wenn auch nicht ausschließlich, den Duftcharakter der jeweiligen Art beeinflussen. Das alpha-Iron und das isomere gamma-Iron, die beide intensiv nach Veilchen duften, wobei letzteres das etwa zehnfach duft-stärkere und blumigere Isomer darstellt. Im Extrakt der *I. germanica* beträgt der Anteil an gamma-Iron etwa 35% im Extrakt von *I. pallida* etwa 65%. Neben diesen Hauptkomponenten beeinflussen aber auch einige andere Verbindungen den Duft, wie z.B. Fettsäuren, bestimmte Aldehyde oder die phenolische Verbindung Acetovanillon. Die anteilige Zusammensetzung der Inhaltsstoffe der Rhizome sind vor allem genetisch bestimmt. Zudem beeinflussen aber auch die Wachstumsbedingungen (Standort, Klima, usw...), ähnlich wie bei Wein oder Obst, die chemische Zusammensetzung und damit den Duft der Rhizome. Hinzu kommt die Art und Weise der Verarbeitung nach der Ernte und die Lagerbedingungen. Der Großteil der verarbeiteten Irisrhizome stammt heute aus Marokko oder China mit zum Teil erheblichen Qualitätsmängeln, zum geringen Teil auch aus Frankreich und Italien und dem Balkan. In Bayern wurde unseres Wissens nach Iris bisher nur zu ornamentalen Zwecken angebaut.

Iris germanica und *I. pallida* sind mehrjährige Stauden, die über zwei bis vier Jahre kultiviert werden. Die Pflanzen werden ausschließlich über Teilung vermehrt bzw. verjüngt. Über die Jahre vergrößern und verzweigen sich die Rhizome, wovon Teile zur Weiterverarbeitung geerntet werden. Die jungen Rhizome werden als Setzlinge neu gesteckt und bilden nach zwei bis drei Jahren wieder teilbare Rhizome aus. Für einen proof of concept wurden bereits vor Beginn des Projekts

kleine Versuchspflanzungen angelegt, um einerseits sicherzustellen, dass die Pflanzen in Bayern gedeihen und andererseits, um von kleinen verfügbaren Mengen geeigneten Ausgangsmaterials genug Pflanzmaterial zur Anlage einer ausreichend großen Kultur zu gewinnen, um das Projekt sinnvoll durchführen zu können. Da Irissetzlinge nur in geringer Zahl und entsprechend hochpreisig nur als Zierpflanze im Handel erhältlich sind, die speziellen Sorten aber in ausreichender Menge für den Feldanbau zur Verfügung stehen mussten, war diese Vorarbeit unabdingbar.

Wie schon erwähnt, sind die qualitätsbestimmenden Duftstoffe, die Irone, nicht von Beginn an im Rohstoff enthalten, sondern bilden sich erst nach einer traditionellerweise drei- bis vierjährigen Lagerung, wobei die Duftstoffe während der langwierigen Trocknung durch einen Oxidationsprozess aus Precursor-Molekülen. Die Irisbutter, ein festes ätherisches Öl, wird anschließend durch Hydrodestillation aus der pulverisierten, gealterten Droge gewonnen. Die Ausbeuten an Duftstoffen sind dabei sehr gering und bei der langen Lagerung bzw. Trocknung entstehen häufig hohe Verluste durch Schädlings- und Schimmelbefall wodurch zum Teil sehr gravierende Qualitätsmängeln entstehen.

Aufgrund der aktuell mangelhaften Qualität auf dem Weltmarkt, des langwierigen Prozesses der Alterung, der aber dennoch hohen Wertigkeit des Rohstoffs, hat die SKH GmbH, ein An-Institut der Universität Regensburg, im Rahmen eines 2017 erfolgreich abgeschlossenen Projekts des bayerischen Technologieförderprogramms (TP-1503-0004) und in Kooperation mit einem namhaften Parfümhersteller eine Methode zur beschleunigten Alterung von zuvor schonend getrockneten Irisrhizomen entwickelt und patentiert. Mit Hilfe dieses Verfahrens der beschleunigten Alterung kann innerhalb weniger Wochen mehr als der doppelte Gehalt an wertgebenden Ironen in den getrockneten Rhizomen erzeugt werden als in mehrgährig gelagerten Rhizomen enthalten ist. Diese hocheffiziente Methode, bestehend aus einer Niedrigtemperaturtrocknung und einer physikalischen Druckbehandlung, eröffnet neue Möglichkeiten für einen rentablen Anbau und der Veredelung von Irisrhizomen in Bayern. Der feldmäßige Anbau und die Verarbeitung von Iris war zu Beginn des Projekts jedoch absolutes Neuland und auch die beschleunigte Alterungsmethode musste ein up-scaling durchlaufen, da diese bisher nur im Pilotmaßstab erprobt wurde.

In einem weiteren vorangegangenen Förderprojekt („Stoffliche Nutzung von Kulturpflanzen für die Chemische Industrie“, TFZ Z 0272 Z267-16) wurde in Zusammenarbeit der Universität Regensburg, der Zielpuls GmbH, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) ein Tool (Plantaro) zur Abbildung der Einflussfaktoren und Risikobewertung in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten angestoßen. Das Fundament von Plantaro bildet dabei die Ermittlung der Einflussfaktoren für die Wertschöpfungskette aus der Literatur/Praxis, sowie deren Gewichtung durch Befragung von Experten. Beide Aspekte werden durch ein mathematisches Modell verknüpft und somit transparent und vergleichbar. Unter Verwendung der im Projekt erhobenen Daten und unter Einbeziehung dieses Werkzeugs sollte die in diesem Projekt angestrebte Etablierung der neuen „Wertschöpfungskette Iris“ übersichtlich und transparent abgebildet werden.

Der Fokus dieses Vorhabens lag v.a. auf der Mechanisierung und der Optimierung von Vermehrung, Pflanzung, Pflege und Ernte von Irisrhizomen und deren Nacherntebehandlung, also der Säuberung, Zerkleinerung, Trocknung und zusätzlich auf dem up-scaling der Alterung. Als Produkte stehen am Ende die hochqualitativen, schonend getrockneten Rhizomen und das erste Verarbeitungsprodukt, die gealterten, nun duftenden Rhizome. Alle Teilschritte wurden auch

ökonomisch betrachtet und einer Risikoanalyse mittels Plantaro unterzogen. Potentielle Kunden wurden in die Qualitätskontrolle miteinbezogen.

Ausschlaggebend für einen Markterfolg des Produkts ist hier v.a. die herausragende und konstante Qualität durch den Einsatz von Technologie. Eine schnelle aber schonende Trocknung trägt z.B. zum Erhalt der Duftstoff-Precursor bei, hält den Mikrobiellen Befall der stärkereichen Rhizome auf und sichert so eine optimale Qualität. Neben der durch die Anbaubedingungen in Bayern und durch die Trocknung verbesserte Qualität sichert auch die beschleunigte Alterung eine optimale und hohe Duftstoffkonzentration.

11. Projektziele

Folgende Ziele sollten erreicht werden:

- Aufbau einer vollständigen Produktionskette von der Vermehrung, dem Anbau, der Ernte und deren Verabietung bis zum Rohstoff gealterte Irisrhizome.
- Empirische Ermittlung der optimalen Vorgehensweisen bei Vermehrung, Pflanzung, Pflege, Ernte und der Verarbeitung von Irisrhizomen mittels datenbasierter, wissenschaftlicher Begleitung aller Prozessschritte.
- Ökonomische Betrachtung aller Prozessschritte.
- Evaluierung der Produktqualitäten seitens potentieller Kunden.
- Abschätzen von Risiken auf allen Prozess-Stufen und Erarbeitung von Maßnahmen zur Risikokontrolle mit Hilfe des Tools Plantaro.
- Erkennen und Nutzen der relativen Vorzüge von *I. germanica* und *I. pallida* mittels Datenvergleich aus den Erhebungen (s.o.)

12. Projektverlauf

12.1 Projektlaufzeit

Die Projektlaufzeit belief sich auf drei Jahre, vom 01.01.2019 - 31.12.2021.

12.2 Arbeitspakete

Das Projekt war in folgende Arbeitspakete gegliedert:

1. Auswahl der Untersuchungsparameter, Erstellen von Datenblättern und Planung der Arbeitsschritte

In diesem Arbeitspaket wurden zu Beginn und auch während des Projekts die nötigen Untersuchungsparameter, festgelegt und angepasst, um die aufkommenden Fragen zum Irisanbau und der Verarbeitung zu beantworten. Dazu gehörten Fragen zur Pflanzengesundheit, zur in-vitro Vermehrung, zum Einfluss von Pflanzabständen und des Unkrautmanagements auf Erträge und Pflanzengesundheit, zur Entfernung der Wurzeln, zur optimalen Reinigung der Rhizome, zur Zerkleinerungstechnik, zur optimalen Trocknung, zur Verbesserung des Alterungsverfahrens und den Einfluss all dieser Faktoren auf die olfaktorische Qualität der Rhizome (Irongehalt, Geruch, Geschmack).

Alle nötigen Arbeitsschritte und die zugehörige Datenerhebung wurden im Vorfeld geplant und über die Zeit angepasst und verbessert.

2. Irisernte und zugehörige Datenerhebung

In diesem Arbeitspaket wurden alle nötigen Arbeitsschritte zur Mechanisierung der Ernte von Irisrhizomen erprobt und die Erntemengen pro Fläche ermittelt. Da es hierzu keinerlei verfügbaren Daten gab, mussten alle Schritte eigenständig erarbeitet werden. Hierzu wurden Versuche zum Abschlegeln bzw. Abmähen des Laubs durchgeführt, Geräte zur Unterschneidung der Wurzeln entworfen und erprobt und Versuche mit Rodern und deren Anpassung geplant. Neben den Versuchen und der Datenerhebung wurde auch der Rohstoff zur Weiterverarbeitung und zur Vermehrung gewonnen. Auch der optimale Erntezeitpunkt für Setzlingsgewinnung und für die Gewinnung der Droge sollte ermittelt werden.

3. Irisverarbeitung und zugehörige Datenerhebung bis zur gesäuberten Rohware

In diesem Arbeitspaket wurde erprobt, wie die geernteten, noch stark mit Erde behafteten Rhizome sinnvoll gereinigt werden können. Hierzu wurde ein schonender, mehrstufiger Reinigungsprozess entwickelt und sukzessive verbessert. Beginnend mit einer Grobreinigung und leichten Fragmentierung der Rhizomhorste, über einen zweistufigen Waschprozess und einen Schälprozess. Außerdem wurde die Lagerfähigkeit der Rhizome nach jedem Schritt untersucht. Zudem wurden laufend die Gerätschaften zur Säuberung angepasst.

4. Irisverarbeitung und zugehörige Datenerhebung bis zur getrockneten Rhizomdroge

In diesem Arbeitspaket wurde erprobt, wie die schnell verderblichen, gesäuberten Rhizome optimal getrocknet werden können, ohne dabei zu viel Energie aufzuwenden und ohne den Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen zu verringern. Hierzu wurde ein Adsorptionstrockner installiert und der Prozess laufend angepasst. Außerdem wurden verschiedene Zerkleinerungsmethoden für die frischen Rhizome, ein natürlicher Vortrocknungsschritt und verschiedene Zwangstrocknungsmethoden erprobt. Begleitet wurden diese Versuche durch Restfeuchteanalysen und Analysen zu den jeweiligen Auswirkungen auf die Qualität des Endprodukts.

5. Irisverarbeitung, Optimierung und zugehörige Datenerhebung bis zur veredelten Rhizomdroge

In diesem Arbeitspaket wurden die im vorhergehenden AP getrockneten Rhizome verschiedener Irisvarietäten unterschiedlichen Parameterkombinationen des beschleunigten Alterungsverfahrens unterzogen. Dazu wurden die Parameter Druck, Temperatur, Dauer und Sauerstoffgehalt im Reaktor variiert. Zur Ironanalyse wurden sowohl Rhizome direkt analysiert als auch destilliert, um auch die Ausbeuten und Qualitäten des ätherischen Öls zu messen.

6. Vermehrung und Pflanzung der neuen Irisgenerationen und zugehörige Datenerhebung

In diesem Arbeitspaket wurden die durchschnittlichen Vermehrungsraten, die optimalen Pflanzabstände und eine Teilmechanisierung der Gewinnung der Setzlinge und der Pflanzung erprobt. Auch die Überwachung der Pflanzenentwicklung und die Abschätzung des optimalen Pflanztermins waren Gegenstand dieses Arbeitspakets. Außerdem wurden laufend die Gerätschaften zur Setzlingsgewinnung und zur Pflanzung angepasst. Außerdem wurde eine Methode zur in-vitro Vermehrung der Iris etabliert.

7. Mechanisierung der Pflege der Kultur, Bestandmonitoring und zugehörige Datenerhebung

In diesem Arbeitspaket wurde die mechanische Unkrautkontrolle erprobt. Da der Anbau ohne Herbizideinsatz geschieht, war nur eine mechanische Unkrautbekämpfung möglich. Verschiedene Hackgeräte wurden erprobt und laufend angepasst. Handhacke in den Reihen war über den gesamten Projektzeitraum nötig. Optimale Zeitpunkte und Intensitäten der Pflegemaßnahmen und

der entstehende Aufwand wurden ermittelt. Die Auswirkungen aller Managementmaßnahmen wurden über ein Bestandsmonitoring überwacht.

8. Auswertung der Daten mit Hilfe des Plantaro-Tools

Mit Hilfe der erhobenen Daten aus den Projektjahren 2019 – 2021 konnte das Plantaro-Tool weiterentwickelt werden. Das mathematische Modell wurde mit realen Daten aus den Feldversuchen kalibriert. Diese Daten stammen aus den anderen Arbeitspaketen. Hier seien vor allem die APs 2 (Irisernte), AP 3 (Irisverarbeitung bis zur gesäuberten Rohware), AP 4 (Irisverarbeitung bis zur getrockneten Rohware), AP 5 (Irisverarbeitung und Optimierung bis zur veredelten Rhizomdroge) sowie AP 7 (Mechanisierung der Pflege der Kultur und Bestandsmonitoring) genannt.

9. Ökonomische Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette einschließlich Risikobewertung, Identifizierung des Mehrwerts und Optimierung der Schnittstellen mit Hilfe Plantaro-Tools

Aus der Ermittlung der Kosten der einzelnen Arbeitsschritte sollte eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Wertschöpfungskette erfolgen und die wichtigsten Risikofaktoren ermittelt und wenn möglich Strategien zu deren Vermeidung entworfen werden (V.a. Trocknung, Arbeitskosten Hacken und Verarbeitung, Wettereinflüsse).

10. Evaluierung der Produktqualitäten seitens potentieller Handelspartner

In diesem Arbeitspaket wurde neben der eigenen Produktvalidierung eine Validierung seitens potentieller Kunden der Duft- und Aromaindustrie vorgenommen. Durch die Rückmeldung der Kunden konnte bereits früh im Projekt auf Wünsche und Kritik der Kunden eingegangen werden und die Weichen für die ökonomische Verwertung der Irisprodukte gestellt werden.

12.3 Zeitplan und eventuelle Abweichungen

Abgesehen von einigen wetterbedingten Verzögerungen vor allem bei der Ernte und Pflanzung 2021, gab es keine nennenswerten Abweichungen vom Zeitplan. Zwei 2019 angelegte Feldversuche sollten 2021 zu verschiedenen Erntezeitpunkten (Juni, Juli und August) geerntet werden, um den Einfluss des Erntezeitpunkts bzw. der Setzlingsgröße und des Pflanzabstands auf die Erntemenge und die Produktqualität zu ermitteln. Wegen des sehr nassen Sommers 2021 wäre nur eine Ernte im September möglich gewesen, was zu keinem Erkenntnisgewinn geführt hätte. So wurde entschieden, die Feldversuche erst 2022 nach dreijähriger Wachstumszeit, was ohnehin die repräsentativeren Daten liefern würde, zu ernten und auszuwerten. So können diese Daten aus den Exaktversuchen zum Erntezeitpunkt nicht mehr im Rahmen dieses Projekts verwertet werden, jedoch wurden auf dem Versuchsfeld Daten zur Bestandsentwicklung in Abhängigkeit vom Pflanzabstand und von der Setzlingsgröße gesammelt.

die Verweildauer und die Zusammensetzung entscheidend, um die Rhizomstücke nicht abzutöten, gleichzeitig aber eine hohe Keimfreiheit zu erreichen. Nach Dunkelinkubation der Explantate in festem Nährmedium erfolgte eine Kallusbildung. Die Kalli konnten weiter geteilt werden und wurden bei Licht und verändertem Medium weiter inkubiert, bis eine Ausdifferenzierung von Sprossgewebe begann. Die anschließende Überführung in Regenerationsmedium führte zur Ausdifferenzierung in Wurzel, Spross und Blatt. Beim Umsetzen der regenerierten Pflanzen mit ausreichender Wurzelbildung in Pikiererde war eine weitere Fragmentierung und damit ein weiterer Vermehrungsschritt möglich. Nach weiterem Wachstum konnten die Pflanzen in Töpfe überführt und im Gewächshaus weiter kultiviert werden. Im Laufe eines Jahres wurden so gesunde, normalgroße Pflanzen erhalten, die nicht mehr von natürlich Gewachsenen zu unterscheiden waren. Die Möglichkeit der Teilung der Calli und kleiner regenerierter Pflanzen und damit einer Erhöhung der Vermehrungsrate wurde damit erfolgreich demonstriert. Das Protokoll konnte im Nachgang auch erfolgreich auf eine andere Irisvariante übertragen werden.

Pflege der Kultur

Da die Unkrautkontrolle bei der Iriskultur rein mechanisch erfolgte und die Standzeit idealerweise drei Jahre beträgt, lag auf der Pflege der Kultur ein besonderer Fokus. Durch die dreijährige Kulturdauer ist außerdem ein großer Unterschied in der Größe der Pflanzen zu beachten. Das Hacken erfolgte bei neu angelegten Kulturen durch Hacken mit einem exakt zu führenden und Damm erhaltenden Schmotzer Hackgerät (Häufelhacke). So wurde ein Ausgraben der Setzlinge verhindert. Bei älteren und dann widerstandsfähigeren, besser verwurzelten Beständen wurde eine angepasste Rollhacke der Firma Hatzenbichler verwendet, wodurch ein Großteil des Unkrauts zwischen den Reihen entfernt werden konnte. In der Reihe war jedoch das wiederholte Hacken und Jäten per Hand unerlässlich. Im Jahr der Pflanzung ist mindestens fünfmaliges mechanisches Hacken anzuraten, im zweiten Jahr kann, je nach Etablierung der Kultur, auf drei bis vier Mal reduziert werden. Im dritten Standjahr ist nahezu nur noch Handhacke möglich, da ein Befahren der Kultur kaum noch möglich ist und durch die Größe der Pflanzen eine Verletzung der wertvollen Rhizome zu wahrscheinlich ist. Eine intensive Pflege der Kultur ist unerlässlich, da bei hohem Unkrautbestand mit sehr hohen Ernteeinbußen zu rechnen ist. Eine gewisse Restverunkrautung ist bei diesem Management jedoch unvermeidbar, was von einer ökologischen Warte heraus auch durchaus wünschenswert ist. So wurde in einer auf den Versuchsflächen durchgeführten Bachelorarbeit gezeigt, dass die mehrjährig und extensiv bewirtschafteten Iriskulturen eine hohe Biodiversität sowohl an blühenden Ackerunkräutern, als auch an Insekten aufweisen.

Ernte von Setzlingen

Da sich der optimale Zeitpunkt der Pflanzung vom optimalen Erntezeitpunkt der Rhizome zur Verarbeitung unterscheidet und außerdem verbleibendes Laub bei den Setzlingen erwünscht ist (im Gegensatz zu den Rhizomen, die zur Verarbeitung bestimmt sind), wurde beschlossen, die Ernte der Setzlinge von der Ernte der Rhizome zeitlich zu trennen. Im ersten Schritt wurde mit Hilfe eines Balkenmähers das Laub auf etwa 15 cm eingekürzt. Im zweiten Schritt wurden mit einem angepassten Hopfenschneidegerät mit Höhenführung (anfangs statische Klinge) die Dämme unterschritten, um die Rhizomhorste zu lockern und die Wurzeln bereits im Erdreich zu kappen. Danach wurden die Irishorste mit einem umgebauten Kartoffelvollernter mit Bunker vom Feld gebracht. Da, je nach Bodenfeuchte, noch erhebliche Mengen Ackerboden an den Rhizomen haften, erfolgte danach meist noch eine Trocknung durch Auslegen in der Sonne oder in einer offenen Halle. Eine grobe Vorreinigung durch eine eigens konstruierte Siebtrommel erfolgte nur kurz, um die empfindlichen Setzlinge möglichst wenig zu verletzen. Hier findet auch bereits eine leichte Fragmentierung der Horste statt, was das anschließende händische Zerbrechen erleichtert. Nach der Grobreinigung werden die Setzlinge von den Mutterrhizomen händisch abgebrochen. Die

Mutterrhizome können entweder ebenfalls wieder gepflanzt werden oder aber der Verarbeitung zur Droge zugeführt werden. Die so gewonnenen Setzlinge müssen großflächig ausgebreitet gelagert werden, um Fäulnis zu vermeiden.

Dieser Arbeitsschritt ist sehr zeitintensiv, allerdings konnte durch den Einsatz der Siebtrommel der Arbeitsaufwand um etwa 50 % verringert werden. Nach Abtrocknen der Setzlinge sind diese einige Wochen lagerfähig, wenn sie trocken und luftig gelagert werden.

Nach zweijähriger Standzeit ist mit einer Vermehrungsrate von etwa 10 Setzlingen je Mutterpflanze zu rechnen, nach drei Jahren mit etwa 15.

Ernte der Rhizome

Bei der Ernte der Rhizome, die zur Weiterverarbeitung bestimmt sind, wird ähnlich wie oben verfahren, allerdings liegt hier erfahrungsgemäß der optimale Erntezeitpunkt im Hochsommer. Voraussetzung zur Ernte ist ein maximal abgetrockneter Ackerboden, also nach mindestens einigen Tagen sonnigen Wetters vor Erntebeginn. Das Abschlegeln des Laubs erfolgt hier mit einem Mulchgerät bis zum Boden und idealerweise einige Tage vor Erntebeginn, damit der Boden gut abtrocknen kann. Durch Verwendung einer statischen Klinge zum Unterschneiden der Wurzeln im Damm ergaben sich Probleme durch Stauungen am Messer, weswegen später ein umgebautes Hopfenschneidegerät mit rotierenden Scheiben verwendet wurde. Hier musste eine möglichst genaue Höheführung konstruiert werden, um einerseits die Rhizome nicht zu verletzen, andererseits aber die bei der Verarbeitung und im Produkt störenden Wurzeln maximal einzukürzen. Erreicht wurde dies durch ein Höhenführungsrad vor dem Gerät, das über ein Parallelogramm die Höhe auf dem Dammscheitel abnimmt. Nach dem Unterschneiden empfiehlt sich ein weiteres Abtrocknen des Bodens. Als bisher erfolgreichste Technik zur Ernte erwies sich ein umgebaute Kartoffelvollernter mit Krautband und Bunker. Nach erheblichen Anpassungen am Krautband und an der Aufnahmevorrichtung konnten so etwa 90 % der Rhizomhorste von den Dämmen in den Bunker befördert werden. Ein Sortieren per Hand und eine Nachlese waren jedoch weiter nötig. Aufgrund permanenter Unterbrechungen und nötiger Anpassungen/Reparaturen während der Ernte, war eine Ermittlung des Arbeitsaufwands pro Fläche kaum möglich. Bei etablierten Abläufen sollte der Aufwand des Rodens jedoch mit dem einer Kartoffelernte vergleichbar werden.

Säuberung des Ernteguts

Als Grundvoraussetzung für eine unproblematische Weiterverarbeitung des Ernteguts erwies sich eine bestmögliche Abtrocknung der noch anhaftenden Erde. Gegebenenfalls mussten daher die Rhizomhorste vor der Säuberung noch großflächig verteilt werden (unter Dach, um vor Regen geschützt zu sein), was erheblichen Mehraufwand bedeutete. Gut abgetrocknete Rhizome konnten dann jedoch problemlos in einer eigens konstruierten Siebtrommel grob von anhaftender Erde befreit werden. Die Siebtrommel besteht aus einer Metallgittertrommel von etwa zwei Meter Durchmesser, einem radialen Antrieb, einem Einfülltrichter für einen Frontlader, einer verschließbaren Ausfuhröffnung und einer hydraulischen Kippvorrichtung zum Entleeren. Nach bereits wenigen Umdrehungen ist das Erntegut ausreichend grob gereinigt und kann über die Ausfuhröffnung z.B. in einen Hänger entleert werden. Bei ausreichender Vortrocknung können die Rhizome so direkt gewaschen bzw. geschält werden. Dazu wurde anfangs noch ein weiterer grober Waschschrift in Betonmischern vorgeschaltet. Dieser entfällt jedoch bei ausreichender Grobreinigung, was Arbeitszeit und erhebliche Mengen Wasser einspart. Gewaschen wurden die Rhizome in 20-30 Kg Portionen in einer Kartoffelschälmaschine mit Gummieinsatz bzw. gewaschen und teilweise geschält mittels Korundeinsatz. Innerhalb weniger Minuten und bei minimalem Wasserverbrauch werden so die Rhizome zum Großteil von der Schale, von Wurzelresten und von verbleibender Erde befreit. Die Reste werden kontinuierlich mit einem Wasserstrahl ausgefördert.

Die so erhaltenen Rhizome sind optimal sauber und es konnte ein Durchsatz von etwa 200 kg/h erreicht werden. Die nassen Rhizome wurden zum Abtropfen großflächig auf dem Boden verteilt.

Zerkleinerung des Ernteguts

Die gewaschenen Rhizome sind nur begrenzt lagerfähig und müssen zum Erhalt der Qualität schnellstmöglich weiterverarbeitet und getrocknet werden. Anfangs wurde eine Urschel Gemüseschneidemaschine mit Trommel verwendet, die sich jedoch aufgrund der noch verbleibenden, sehr zähen Wurzeln als nicht praktikabel erwies, da diese regelmäßig die Mechanik blockierten. Daher wurde eine Bandschneidemaschine mit rotierendem Messer verwendet, womit ein Durchsatz von etwa 300-400 kg/h erreicht werden konnte. Es wurden Muster von verschiedenen Scheibenstärken geschnitten, um ein Optimum zwischen Trocknungsgeschwindigkeit und dem Erhalt der an Luft entstehenden Duftstoffen zu ermitteln. Erst nach dem Schneiden wurde jeweils die geerntete Frischmasse bestimmt. Das Schnittgut ist sehr empfindlich gegenüber mikrobiellem Abbau und muss nun sehr zügig getrocknet werden, um die Qualität der Ware zu erhalten. In diesem Stadium kann eine längere Unterbrechung oder zu langsames Trocknen zum Totalverlust führen.

Trocknung

Eine der größten Herausforderungen stellte das Trocknen der zerkleinerten Rhizome dar. Bedingt durch den sehr langsamen Trocknungsvorgang bis zur Lagerfähigkeit der Rhizome, stellte sich das Trocknen als Flaschenhals des gesamten Verarbeitungsprozesses heraus. Die Rhizome bestehen zum Großteil aus Speicherstärke und Wasser und sind daher sehr anfällig für mikrobiellen Befall, vor allem auch wegen der großen Schnittflächen nach der Zerkleinerung. Bereits nach wenigen Stunden nicht sachgerechter Lagerung beginnt der Fäulnisprozess oder Schimmelbefall. Ein Trocknen in dicken Lagen im Hordentrockner war nur erfolgreich, wenn die Luftmenge erheblich war und die Luft stark entfeuchtet wurde. Geschah dies nicht, bildete sich selbst im Trockner Schimmel, was dann zum Totalverlust der ganzen Charge oder zumindest zu erheblichem Qualitätsverlust führte. Nach einigen Fehlversuchen bei der Zwangstrocknung ausschließlich mit den vorhandenen Adsorptions-Hordentrocknern, wurde eine natürliche Vortrocknung in dünnen Lagen auf mit Maschendraht bespannten Holzhorden durchgeführt. Bei geeigneter Wetterlage kann so innerhalb weniger Stunden ein erheblicher Teil des Wassergehalts nur durch Wind- und Sonneneinwirkung evaporiert werden. Dabei verschalt die Oberfläche der Rhizomscheiben und wird so unempfindlicher gegenüber mikrobiellem Befall. Allerdings verlangsamt sich dadurch auch der weitere Wassertransport aus dem Inneren der Scheiben nach außen. Die so vorgetrockneten Scheiben konnten nun aber auch in hoher Schichtung im Hordentrockner bis zur Lagerfähigkeit getrocknet werden, was den Durchsatz erheblich steigerte. Gleichzeitig wurde dadurch Flexibilität bei der Verarbeitung gewonnen. Da der Adsorptionstrockner elektrisch betrieben wurde und die Trocknungsdauer durchschnittlich bis zu 72 h betrug, war der Stromverbrauch immens. Durch die Vortrocknung konnte der Energieverbrauch zwar erheblich gesenkt werden, jedoch ist hier noch Nachbesserung nötig. Nach Erreichen der Lagerfähigkeit ab einer Restfeuchte von etwa 15-20 %, musste vor der beschleunigten Alterung noch eine Nachtrocknung vorgenommen werden, um die Restfeuchte auf den optimalen Wert zu senken. Das Drogengewicht betrug etwa 22-30 % der Frischmasse, je nach Jahr und Sorte.

Nachbehandlung des Trockenguts

Die noch anhaftenden Wurzelreste konnten durch trockenes, mechanisches Abreiben in der Kartoffelschälmaschine und anschließendes Windsichten nahezu vollständig entfernt werden. So konnte nahezu wurzelfreie Ware höherer Qualität erzeugt werden. Hier war aufgrund des hohen Staubaufkommens auf Atem- und Augenschutz zu achten.

Beschleunigte Alterung

Das bereits von der SKH GmbH patentierte Verfahren der beschleunigten Alterung wurde während des Projekts erstmalig auf größere Mengen bayerischer Iris angewandt und optimiert. Das Verfahren besteht hauptsächlich aus einer Druck- und Temperaturerhöhung über mehrere Wochen, wodurch die Precursor-Moleküle in die duftenden Irone gespalten werden. Dazu wurden sowohl mit kleinen Reaktoren Laborversuche durchgeführt, um die optimalen Parameterkombinationen, vornehmlich Druck, Temperatur und Dauer zu ermitteln. Diese wurden dann im großen Maßstab validiert. Damit wurden bei einigen Varietäten von *Iris germanica* und *Iris pallida* außergewöhnlich hohe Ironkonzentrationen von bis zu 1200 ppm erzielt werden (klassische Alterung: 200-500 ppm). Lediglich die klassische *Iris germanica* erzielte nur mäßige Ausbeuten von z.T. unter 200 ppm. Durch Verlängerung der Prozessdauer konnte die Duftstoffkonzentration leicht erhöht werden. Zur Ermittlung der Irisbutterausbeuten wurden Probedestillationen durchgeführt und es konnten dabei Ausbeuten von 0,15-0,45 % ermittelt werden (klassisch: 0,15-0,25%). Auch der Einfluss der Korngröße des getrockneten Rohmaterials auf die beschleunigte Alterung wurde untersucht, außerdem wurden das Schüttvolumen und die Lagerfähigkeit ermittelt. Bezüglich der Qualität der Rhizome konnten über die Jahre leichte Schwankungen festgestellt werden. Allerdings waren der Beobachtungszeitraum zu kurz und die Erntebedingungen zu unterschiedlich, um hier klare Zusammenhänge zu erkennen.

Plantaro und Risikobewertung

Mit Hilfe des Plantaro Tools wurde ein holistischer Ansatz der Datenerhebung vom Anbau bis zum Endprodukt gewählt, der eine Gesamtschau von hoher Detailliertheit schafft. Über zielgerichtete Interviews mit den OG-Mitgliedern und Methoden zur Erhebung der erforderlichen Daten konnten die Einflussfaktoren auf die wichtigsten Zielgrößen der vollständigen Produktion der gealterten Rohdroge ermittelt und die so gewonnenen Daten in das Plantaro-Tool-System eingepflegt werden. Bei den Einflussfaktoren wurden Eintrittswahrscheinlichkeit, Gewichtung und Normierung festgelegt. Die Einflussfaktoren der verschiedenen Bereiche werden als unabhängige Variablen behandelt. Eine neue vereinfachte Darstellung führt zu einer Unterteilung der Module in Anbau und Ernte, Verarbeitung, Veredelung und Formulierung sowie die letztliche Vermarktung. Dies verbessert die Übersichtlichkeit der Datenerhebung -und Verarbeitung des Plantaro-Tools. Die immer weiter steigenden Anforderungen an das Tool während der Durchführung führten zum Anstieg der Komplexität. Deshalb wurden die Qualität des Quellcodes und der Datenhaltung weiter verbessert. Um auch den Projektpartnerinnen und Projektpartnern eine weiterhin gute Nutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, wurden die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse direkt mit den Akteuren überarbeitet. Dabei handelt es sich um teils einfache Anpassungen bei der Darstellung, sowie um die komplexe Anpassung der Berechnungen von Risikofaktoren und die daraus folgende Darstellung der Daten im Tool. Das Plantaro-Tool stellt mit Hilfe der Datenerhebung aus den letzten Projektjahren ein wichtiges Instrument dar. Die erhobenen und gewonnenen Daten können übersichtlich und leicht verständlich aufbereitet und grafisch dargestellt werden. Die darauffolgende Analyse der Daten erfolgt mit Algorithmen, die aufzeigen, welcher Parameter das größte positive bzw. negative Potential auf die Ernte und die daraus folgende Qualität und Quantität des Produktes hat. Durch die nachhaltige Pflege des Tools können theoretische Vorhersagen evidenzbasiert getroffen werden. Der Erhalt der zukünftigen Daten der Ernten in den Folgejahren nach 2021 stellt eine Herausforderung dar, da das Projekt ausläuft. Diese Daten wären hilfreich, da die theoretische Voraussage dadurch bewiesen oder widerlegt werden könnte.

Wirtschaftlichkeit

Über den gesamten Projektzeitraum wurden Daten zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Arbeitsschritte der Irisproduktion in Bayern erhoben. Aufgrund des Pioniercharakters des Projekts und vieler unvorhergesehener Verzögerungen und Hindernisse und der oft während der Arbeiten durchgeführten Optimierungen, war nur eine Abschätzung des Aufwands und der Kosten möglich. Es konnten während der Projektlaufzeit Kosteneinsparungen bei den einzelnen Arbeitsschritten von etwa 50 % erreicht werden, was vor allem durch (Teil-)Mechanisierung und räumlich und zeitliche Optimierung der Abläufe erreicht wurde. Entscheidend für eine Deckungsbeitragsrechnung war auch die zu erwartende Erntemenge, welche über die drei Jahre Projektlaufzeit abgeschätzt werden konnte und natürlich auch der zu erwartende Erlös aus dem Verkauf der gealterten Rhizome. Da Iris ein Nischenprodukt darstellt und die entsprechenden Kunden sehr diskret agieren, war es sehr schwierig im Zeitraum des Projekts konkrete Verkaufspreise zu ermitteln. Zumal diese auch stark von der Qualität der Ware abhängen, die über einen längeren Zeitraum validiert werden muss. Dennoch ist es gelungen die Rentabilität abzuschätzen. Die hier produzierte klassische *I. germanica* ist bei gegebener Qualität nur schwer konkurrenzfähig, zwei andere *I. germanica* Sorten mit höherem Irongehalt und speziellem Duftprofil und die *Iris pallida* sind aber rentabel zu produzieren.

Evaluation durch Kunden

Wichtiger Bestandteil des Projekts war die Bereitstellung von Mustern (Irisbutter und Extrakte, aber auch als Irispulver) für potentielle Kunden und die Evaluation der Qualität der Rohware. Die klassische *I. germanica* wurde bezüglich des Duftprofils als sehr positiv bewertet, jedoch waren die Irongehalte und damit die Ausbeuten an Irisbutter zu gering, um momentan konkurrenzfähig zu sein. Anders verhält es sich bei zwei *I. germanica* Sorten mit sehr hohen Irongehalten und abweichender Isomerenzusammensetzung. Diese beiden Sorten wurden bezüglich ihres Duftprofils als sehr positiv bewertet und sollen in den Rohstoffkatalog eines Kunden aufgenommen werden. Die Irongehalte liegen mit dem etwa doppelten Gehalt weit über dem Durchschnitt und die Ausbeuten sind daher sehr hoch. Die bayerische *Iris pallida* wurde ebenfalls sehr positiv bewertet und ist mit dem etwa dreifachen Irongehalt preislich konkurrenzfähig.

Zusammenarbeit als OG

Die Zusammenführung verschiedener Sektoren für ein Landwirtschaftsprojekt erwies sich als sehr fruchtbar. So konnten alle Akteure ihren Wissenshorizont erweitern und Synergien sowie die zusammengeführten Netzwerke konnten und können weiter genutzt werden.

13.2 Diskussion der Ergebnisse

Pflanzung

Durch die Teilmechanisierung der vorher rein händischen Pflanzung konnten bereits eine Kosteneinsparung von mindestens 50% erreicht werden. Eine weitere Mechanisierung der Pflanzung ist denkbar und könnte zu weiterer Kosteneinsparung führen. Allerdings wäre dies mit zusätzlichem Aufwand beim Sortieren des sehr heterogenen Pflanzguts und einer kostenintensiven Nachrüstung des Pflanzgeräts verbunden. Bei deutlicher Erweiterung der Anbaufläche wird diese Möglichkeit aber in Betracht gezogen.

Problematisch bei der Pflanzung ist außerdem die Wetterabhängigkeit, vor allem auch deswegen, weil das Pflanzgut ja vorerst ebenfalls bei trockenem Wetter gewonnen werden muss. Einen gewissen zeitlichen Puffer könnte hier das großflächige Ausbreiten des Pflanzguts bzw. des zur Pflanzgutgewinnung dienenden Ernteguts erbringen. Dazu wird allerdings viel überdachte Fläche

benötigt oder es müssen Horden dafür zur Verfügung gestellt werden. Diese Strategien konnten im Rahmen des Vorhabens erdacht und bereits getestet werden.

In-vitro Vermehrung von Iris

Die Entwicklung einer in-vitro Vermehrungsmethode für Iris war sehr erfolgreich. Besonders positiv dabei ist die Übertragbarkeit auf andere Varietäten, da wir uns von diesen den größten Erfolg versprechen, gleichzeitig aber die verfügbare Pflanzenanzahl noch sehr gering ist. Da ein natürlicher Vermehrungszyklus mindestens zwei Jahre beträgt und der Vermehrungsfaktor etwa bei 10 liegt, könnten wir mit Hilfe von in-vitro Vermehrung den Aufbau der Kultur mit diesen speziellen Sorten signifikant beschleunigen. Außerdem böte sich mit der in-vitro Methode auch die Möglichkeit einen eventuellen Krankheitsbefall der Kultur, etwa durch Viren, zu beheben. Die in-vitro Vermehrung der Iris gilt auch in der bereits vorhandenen Literatur als schwierig, was unseren Erfolg hierbei umso erfreulicher macht.

Pflege der Kultur

Als langsam wachsende Pflanze ist die Iris besonders im ersten Standjahr nicht besonders konkurrenzstark, daher ist vor allem im ersten Standjahr und am Beginn des zweiten Jahres möglichst viel und exakt zu Hacken, auch bis in den frühen Winter hinein, falls möglich, um einen möglichst unkrautfreien Start im Frühjahr zu ermöglichen. Da Iris einen vergleichsweise geringen Nährstoffbedarf hat, könnte auch eine gewisse Abmagerung des Ackers zu weniger Unkrautdruck führen. Als größter Kostentreiber beim Anbau der Iris wurde das Handhacken in den Reihen identifiziert. Bisher ist es nicht gelungen, dieses durch mechanische oder anbautechnische Verfahren zu ersetzen oder zumindest zu verringern. Eine Möglichkeit bestünde in der Verringerung der Pflanzabstände und in bodendeckender Untersaat. Beides wurde rein empirisch versucht, jedoch steht eine Bewertung noch aus. Hier gilt es weitere Optimierungen vorzunehmen, um die Anbaukosten zu verringern. Bei einem Überhandnehmen des Unkrauts, etwa durch zu feuchte Witterung im Sommer und der damit einhergehenden Unmöglichkeit des Befahrens des Ackers, erwies sich das Abschlegeln der gesamten Fläche als Möglichkeit. Die Iris erholt sich schnell nach dem Abschlegeln und die Unkrautstoppeln können nun wieder leicht durch Hacken entfernt werden.

Ernte von Setzlingen

Grundvoraussetzung für das effektive Produzieren von Pflanzgut ist maximal abgetrockneter Boden. Nur so lassen sich die Irishorste gut reinigen und anschließend zerbrechen. Ist die Erde zu feucht, ist weder die Benutzung der Siebtrommel noch händisches Säubern und Zerbrechen mit vertretbarem Aufwand möglich. Sandiger Boden ist hier klar von Vorteil. Es konnte zwar durch die Verwendung der Siebtrommel erheblicher Arbeitsaufwand eingespart werden, jedoch kommt es dabei zu Verletzungen des Pflanzguts und es konnte noch nicht ermittelt werden, wie stark sich dies auf die Ausfallrate nach der Pflanzung auswirkt. Eine Möglichkeit wäre z.B. die Siebtrommel zur Gewinnung von Pflanzgut mit weichen Matten auszukleiden, um Verletzungen der Rhizome zu reduzieren. Beim anschließenden Zerbrechen der Rhizomhorste könnte ein Vorsortieren der Setzlinge nach Größe vorgenommen werden, um homogeneres Pflanzgut zu erhalten. Eine optimale Lagerung der Setzlinge entzerrt den zeitlichen Ablauf zwischen Ernte und Pflanzung und ist dringend geboten.

Ernte der Rhizome

Entscheidend für eine erfolgreiche Ernte ist die Bodenfeuchte. Maximal trockener Boden ist optimal. Diese starke Wetterabhängigkeit stellte das größte Problem der Ernte dar, da durch stark anhaftende Erde sowohl das Unterschneiden der Wurzeln, als auch die Aufnahme durch den Roder

erschwert oder unmöglich wird. Gute Planung ist daher von Nöten, um bei geeigneter Wetterlage sofort ernten zu können. Außerdem wäre ein noch genaueres Unterschneiden der Rhizome erstrebenswert, um die störenden Wurzeln maximal zu entfernen. Die an den Wurzeln anhaftende Erde stört beim Ernten, erschwert das Abtrocknen, das Abbrechen der Setzlinge, das Reinigen und später das Waschen und Schneiden. Außerdem mindern zu viele Wurzeln die Qualität des Rohstoffs. Ein optimales Entfernen auf dem Acker ist daher sinnvoll. Da aber weder die Dämme noch die Pflanzen selbst homogen wachsen und ein Verletzen der Rhizome durch das Messer unbedingt zu vermeiden ist, gestaltet sich die weitere Optimierung als schwierig. Zudem wachsen die Rhizomhorste im dritten Standjahr am Damm leicht herab, was zu einer Biegung des sonst horizontalen Irishorstes führt. Abhilfe könnte hier ein größerer und abgeflachter Damm schaffen und eine noch genauere Höhenführung des Schneidegeräts.

Bei der Ernte durch den Roder gab es vor allem Probleme durch die hohe Masse und die Größe der Rhizomhorste v.a. aufgrund der anhaftenden Erde. Ein anderes Prinzip ohne Krautband wurde versucht, jedoch müsste dann ein Ladewagen zum Umladen des Ernteguts nebenherfahren, was den Aufwand erheblich erhöht. So ist vorerst angedacht sowohl die Aufnahme als auch die Transport- und Sortierbänder des Vollernters weiter zu optimieren.

Säuberung des Ernteguts

Die Säuberung des Ernteguts konnte durch Einführung der Siebtrommel immens verbessert werden. So konnten dadurch etwa 90 % Wasser eingespart und die Arbeitszeit erheblich verkürzt werden. Optimal wäre die Verwendung der Siebtrommel direkt auf dem Acker, wodurch ein Rücktransport der abfallenden Erde entfallen würde. Allerdings wäre dafür sehr trockene Witterung erforderlich. Eine weitere Einsparung an Handarbeit wäre durch die Verwendung von Transportbändern und eine bessere Aufstellung der Geräte möglich. Bisher erfolgten die Transportschritte von Station zu Station teils manuell. Insgesamt ist aber die verwendete Technik zufriedenstellend und kann durch deren Modularität auch einfach erweitert werden.

Zerkleinerung des Ernteguts

An die Reinigung schließt sich das Zerkleinern der Rhizome für die anschließende Trocknung an. Wie schon erwähnt sind hier die verbleibenden Wurzeln sehr störend, da sie beim Schneiden bewegliche Teile der Maschine blockieren können. Ein maximales Entfernen der Wurzeln ist also auch für diesen Schritt wichtig. Auch das optimale Abwaschen verbleibender Erde ist entscheidend für eine erhöhte Lebensdauer der Messer.

Schwierig ist es, ein Optimum der Scheibendicke und/oder der Schnittform (Stifte, Würfel, Spiralen,...) zu ermitteln. Zu dünne Scheiben erleichtern zwar das Trocknen immens, jedoch ist der Verlust an Duftstoffen dann inakzeptabel hoch. Dickere Scheiben, Stücke oder gar ganze Rhizome trocknen so langsam, dass dadurch die Qualität negativ beeinflusst wird und auch der Arbeitsfluss stockt. Es konnte zwar ein vorläufiger Kompromiss gefunden werden, jedoch bedarf es noch weiterer Experimente zur Optimierung. Auch bei der Zerkleinerung wird der Einsatz von Transportbändern zur Verringerung von Handarbeit angestrebt.

Trocknung

Wie schon erwähnt stellte die Trocknung der Rhizomscheiben den Flaschenhals des gesamten Prozesses dar. Aufgrund der Empfindlichkeit der geschnittenen Rhizome gegenüber mikrobiellem Abbau, glich das Trocknen einem Wettlauf gegen die Zeit, vor allem deswegen, weil der Trocknungsprozess langsamer als erwartet verlief, was auf die Beschaffenheit der Rhizome zurückzuführen ist. Diese geben Anfangs relativ schnell oberflächliche Feuchtigkeit ab, was den Trockner überfordern kann und halten dann aber nach dem Verschalen der Oberfläche die restliche Feuchtigkeit lange zurück. Hier musste und muss auch in Zukunft mit mehr Trocknerkapazität

gearbeitet werden, um Staus am Trockner zu vermeiden. Dazu ist eine zweite, große Trockenkammer mit großer Fläche (Horden) unerlässlich. Außerdem war der Energieverbrauch durch die vorerst ausschließlich angewandte Zwangstrocknung zu hoch. Dem konnte durch zusätzliche Horden und einer natürlichen Vortrocknung im Freien entgegengewirkt werden. So konnten bei klarem Wetter knapp 50 % des Gewebewassers auf nachhaltige Weise verdunstet werden. Allerdings ist diese Methode stark wetterabhängig und bedarf großer Hordenflächen. Durch Überdachung und stapelbare Horden soll diesem Problem in Zukunft begegnet werden. Auch eine Optimierung der Zerkleinerungsart (siehe oben) kann weiterhelfen, den Trocknungsprozess zu optimieren.

Beschleunigte Alterung

Das Optimum der Parameterkombination der beschleunigten Alterung musste für jede Irissorte gesondert ermittelt werden. Dies gelang weitgehend, außer für die klassische *Iris germanica*, deren Irongehalt und Irisbutterausbeuten unter den Erwartungen lag. Durch Anpassungen an den Reaktionsparametern konnte nur eine gewisse Verbesserung erzielt werden. Vermutlich hatten im Fall der *I. germanica* die Anbaubedingungen bzw. der Erntezeitpunkt, welcher vor allem durch die Wetterlage bestimmt wurde und nicht frei wählbar war oder die Nacherntebehandlung großen Einfluss auf die Menge an Ironprecursoren in den Rhizomen. Hierzu müssen noch weitere Untersuchungen unternommen werden, um diese Frage abschließend zu klären. Es ist jedoch festzuhalten, dass über die Jahre klare Unterschiede in den Qualitäten bei gleichen Reaktionsbedingungen feststellbar sind, was auf einen erheblichen Einfluss der Wachstumsbedingungen und der Nacherntebehandlung auf den Irongehalt schließen lässt. Lediglich die Isomerenverhältnisse erwiesen sich als konstant und damit als wahrscheinlich genetisch fixiert.

Plantaro und Risikobewertung

Die zukünftige Weiterentwicklung des Plantaro-Tools wird zeigen, ob die Anzahl der Datenpunkte ausreichend ist, um gezielte Annahmen und Voraussagen treffen zu können. Außerdem können die Erfahrungswerte mit den erhobenen Daten der zukünftigen Ernten in den nächsten Jahren abgeglichen werden und eine Gap-Analyse durchgeführt werden, um das Plantaro-Tool noch weiter zu verbessern und verlässlichere Aussagen treffen zu können.

Ein Ziel war es, die Risikoparameter im Plantaro-Tool besser zu verstehen und einordnen zu können. Ein echter Risikoparameter ist ein Parameter, welcher nicht aktiv beeinflusst werden kann. Die Bodenfeuchtigkeit ist ein Beispiel für einen solchen Parameter. Dem gegenüber steht der scheinbare Risikoparameter, welcher *noch* nicht beeinflusst werden kann und deshalb ein Risiko darstellt. Der Erntezeitpunkt ist ein Beispiel für einen scheinbaren Risikoparameter. Die scheinbaren Risikoparameter sollen sogenannte Use Case Parameter werden, die wir bereits aktiv beeinflussen können. Beispiele hierfür sind die Standweiten der Pflanzen.

Ein generelles Problem ist, dass Daten aus dem Feld erhoben werden, die zum Teil nicht sehr exakt sind und nur geschätzt werden können. Die Qualität der Daten beeinflusst jedoch die Auswertung und die Ergebnisse im Plantaro-Tool, wobei eine Schätzung oder Gruppierung per Augenmaß prinzipiell zu weniger aussagekräftigen Ergebnissen führt. Die Tatsache, dass in dem Jahr 2021 witterungsbedingt nur teilweise Daten erhoben werden konnten, führte zum Fehlen wichtiger Datengrößen.

Bestandteil des Projekts war es, die erhobenen Daten selbst während der Feldarbeit zu ermitteln und hier direkt dabei zu sein. Dadurch konnte ein besseres Verständnis der Daten und der damit zusammenhängenden Probleme auf dem Feld geschaffen werden. Dies wurde direkt in das Plantaro-Tool implementiert.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass:

A) Die systematische Überprüfung einer erheblichen Menge an Einflussfaktoren auf ihre Relevanz (v.a. Auswirkung, aber auch die Eintrittswahrscheinlichkeit) für wichtige Zielgrößen wie Ertrag, Arbeitsaufwand oder Qualitätsparameter für die Produktion von Iris sehr hilfreich war, um die richtigen Fragen für die Datenerhebungen im Rahmen der Produktion zu stellen und um drohende Bottlenecks und risikoreiche Verfahrensschritte in der Produktion aufzudecken.

B) Die Befüllung der Datenmatrix mit allen erforderlichen Daten sich als äußerst komplex gestaltete, da viele Einflussfaktoren nicht voneinander unabhängig waren, was aber die Voraussetzung für die rechnerische Risikobewertung ist.

C) Die Datenmatrix nicht mehr auf 100% Füllstand gebracht werden konnte, da die im Feld angelegten Exaktversuche 2021 nicht geerntet und damit nicht ausgewertet werden konnten.

D) eine weitere Verfeinerung der Programmierung z.B. in einer anderen Programmiersprache denkbar wäre, Vorschläge seitens der Nutzer und aus den Erfahrungen mit der Modellkultur Iris liegen vor.

E) Die Auswertemöglichkeiten mit dem Tool sehr gut sind. Allerdings hängt die Aussagekraft wesentlich vom Dateninput ab. Dieser basiert bei einer neuen Feldkultur wie der Iris, mit der erst mal Erfahrungen gesammelt werden müssen, vorwiegend auf Schätzdaten. Das schmälert den Nutzen des Tools wie unter A) beschrieben keineswegs, aber eine aufwändige Weiterentwicklung des Tools für die Anwendung in der Beratung würde sich nur für etablierte Kulturen mit entsprechend sicherer Datenbasis lohnen.

Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der häufig nötigen Unterbrechungen und Änderungen an Prozessen, war nur eine Abschätzung der Kosten der einzelnen Arbeitsschritte möglich. Dennoch konnte bereits während der Projektlaufzeit eine geschätzte Kosteneinsparung von etwa 50 % erzielt werden. Durch weitere Mechanisierung der Prozesse, verbesserte räumliche und zeitliche Staffelung der Verarbeitungsschritte und optimierte Geräte, kann eine weitere erhebliche Kosteneinsparung möglich sein. Dies ist jedoch mit weiteren Investitionskosten verbunden und kann nur bei klaren Abnahmegarantien durch Kunden angegangen werden. Gelingt es die Kosten weiter zu senken, wird der Anbau und die Verarbeitung von Iris in Bayern wirtschaftlich, vor allem, wenn man sich auf spezielle Sorten mit Alleinstellungsmerkmal fokussiert. Um zukünftig die Gewinnmargen zu erhöhen ist langfristig auch eine eigene Weiterverarbeitung des Rohstoffs zu Extrakten bis hin zu einer eigenen Parfümcreation denkbar.

Evaluation durch Kunden/ Marketing

Die Ergebnisse der Evaluation der bayerischen Iris durch Kunden war durchweg positiv und die *Iris pallida* und zwei spezielle Sorten *Iris germanica* wurden besonders positiv bewertet. Lediglich bei der klassischen *Iris germanica* wurde die geringe Ausbeute an Irisbutter kritisiert. Hier wird bereits nach Lösungen gesucht, die Produktionskosten zu verringern und die Qualität zu verbessern.

Da für einen großen Player auf dem Duft- und Aromasektor ein Austausch eines etablierten Rohstoffs durch einen anderen sehr aufwendig ist, dauern die Evaluation und die Entscheidungsfindung sehr lange. Jedoch ist bei einer positiven Entscheidung mit langjährigen Lieferverträgen zu rechnen. Eine Sorte wurde sogar als für den Lebensmittelaromabereich interessant eingestuft. Im Projektzeitraum wurden außerdem unterschiedliche Marketing Vorhaben durchgeführt. Es wurden mehrere Einträge auf sozialen Medien (u.a. Facebook, Instagram, LinkedIn, Xing) erstellt. Die typischen sozialen Netzwerke Xing, LinkedIn, Facebook und Instagram wurden einerseits dafür genutzt die Reichweite und Bekanntheit des Projektes und der Projektpartner zu erhöhen und andererseits sollte eine Grundlage für mögliche Diskussionen mit Interessierten geschaffen werden. Zusätzlich wurde ein Podcast mit dem Thema *Wertschöpfungsketten in der Landwirtschaft* aufgenommen und veröffentlicht. Dieser wurde auf

Spotify, Apple Music und Deezer für interessierte Nutzerinnen und Nutzer zur Verfügung gestellt. Die Fördergeber wurden genannt und schriftlich unter den jeweiligen Posts und dem Podcast erwähnt. (siehe Link: <https://zielpuls.com/de/cases/wir-machen-wertschoepfung-von-nutzpflanzen-berechenbar>)

13.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurde der Anbau und die Verarbeitung verschiedener Sorten von *Iris germanica* und *Iris pallida* in Bayern erfolgreich erprobt. Dazu wurden Feldversuche angelegt, um optimale Pflanzabstände, Unkrautmanagement und die optimale Ernte- und Pflanzzeitpunkte zu ermitteln. Es wurden über drei Jahre hinweg die Erntemengen in Frisch- und Trockenmasse je Fläche und Pflanze sowie die Vermehrungsrate der allein durch Stockteilung zu vermehrenden Iris ermittelt. Um die Zahl an Setzlingen zu erhöhen, konnte ein Verfahren zur in-vitro Vermehrung von *Iris germanica* etabliert werden und so aus Kalluskultur erfolgreich gesunde Pflanzen regeneriert werden. Es wurden Geräte zur teilmechanisierten Pflanzung der Setzlinge, zur Pflege der Dammkultur, zum Unterschneiden der Wurzeln, zu Ernte der Rhizome selbst und zu deren Säuberung entwickelt und alle Arbeitsschritte evaluiert. Die Weiterverarbeitung der geernteten Rhizome wurde erfolgreich erprobt und laufend weiter optimiert. Dazu wurden die gewaschenen Rhizome zerkleinert und dann einem mehrstufigen Trocknungsprozess unterzogen. Die Trocknung der Rhizome stellte sich als größte Herausforderung dar und bedarf weiterer Optimierung, um die Qualität auf dem höchstmöglichen Niveau zu halten. Jedoch konnten hierzu wichtige Erfahrungen und Daten gesammelt und eine Strategie entwickelt werden. Die getrockneten Rhizome wurden dann nach Restfeuchteermittlung dem Verfahren der beschleunigten Alterung zugeführt, um bei erheblicher Zeitersparnis eine möglichst hohe Duftstoffkonzentration und ein optimales Duftprofil zu erhalten. Dazu wurden alle Sorten bei verschiedenen, individuellen Prozessparametern gealtert und anschließend analysiert. Die Analyse bestand vor allem aus Probedestillationen, um die Ausbeute und Qualität der erhaltenen Irisbutter zu ermitteln und aus der Ironanalytik und der Analyse weiterer Inhaltsstoffe. Außerdem wurden die Proben durch einen führenden Parfumkonzern evaluiert und dabei mehrheitlich als sehr vielversprechend und einzigartig befunden. Alle Prozessschritte und der Gesamtprozess von der Pflanzung bis zum gealterten Rohstoff wurden auf Wirtschaftlichkeit hin geprüft und wenn möglich optimiert. Eine Risikoanalyse und eine Gesamtschau der Schritte wurde in einem mathematischen Modell (Plantaro) veranschaulicht. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse und der positiven Rückmeldung aus der Industrie, ist eine Fortführung und eine Ausweitung des Anbaus geplant.

14. Verwertung der Ergebnisse

14.1 Zielerreichung

Dem Hauptziel der Etablierung eines Irisanbaus und der Verarbeitung von Schwertlilien in Bayern konnte sehr nahegekommen werden. Die nötigen Erkenntnisse zur Mechanisierung des Anbaus, der Ernte und auch Grundlagen der Verarbeitungstechnik wurden gewonnen, um eine Produktion von gealterten Irisrhizomen in Bayern weiter voranzutreiben. Die Wirtschaftlichkeit einer Produktion in Bayern konnte gezeigt werden, jedoch bedarf es weiterer Optimierung, um die Herstellungskosten des sehr aufwendigen Verfahrens vom Anbau bis zum Produkt weiter zu senken. Aufgrund der Komplexität des Verfahrens vom Anbau bis zur Herstellung gealterter Rhizome, der wechselnden Wetterbedingungen und der Einführung neuer, z.T. umgebauter Geräte, konnten nicht alle Arbeitsschritte erschöpfend bewertet werden. Die Evaluation der Produktqualitäten verlief sehr positiv, wenn auch auf Kundenseite verzögert. Es ergaben sich Grenzen bei der mathematischen Darstellung des Gesamtprozesses, weil durch die Laufzeit von nur drei Jahren eine zu große Unschärfe und Fluktuation der Daten auftrat. Jedoch konnten die wichtigsten Risikofaktoren ermittelt werden, welche schon im Projektverlauf und auch in Zukunft

durch Einsatz von Technik und weiterer Optimierung der Arbeitsschritte weiter eingegrenzt werden können. Eine Fokussierung auf spezielle Sorten von *Iris germanica* und *Iris pallida* mit besonderen Qualitätseigenschaften stellte sich als zielführend heraus. Die Produktion von klassischer *Iris germanica* ist nach derzeitigem Wissensstand wenig konkurrenzfähig. Dadurch kam es zu der Erkenntnis, mittelfristig auch auf eine Weiterverarbeitung der Iris zu Extrakten zu setzen, um noch einen weiteren Teil der Wertschöpfung abzudecken. Ein weiteres, unerwartet positives Ergebnis war die erfolgreiche Etablierung eines in-vitro Protokolls zur Vermehrung der Pflanzen. So können in Zukunft seltene Variationen mit herausragendem Duftprofil schnell vermehrt und in Nutzung gebracht werden.

Abschließend ist das Projekt als sehr erfolgreich zu bewerten, da mit wenigen Einschränkungen alle gesteckten Ziele und einige darüber hinaus erreicht werden konnten.

14.2 Nutzen für die Praxis und (geplante Verwertung)

Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass ein rentabler Anbau von Iris und die Herstellung hochwertiger Irisrhizome für die Duft- und Aromaindustrie möglich ist. Nach mittelfristig umsetzbaren, weiteren Optimierungen und Reduzierung der Kosten bei der Herstellung kann so ein qualitativ herausragender Rohstoff produziert und vermarktet werden. Der beteiligte Landwirt plant den Anbau spezieller Sorten auszuweiten, die SKH GmbH plant den Rohstoff zu prozessieren und an führende Duft- und Aromakonzerne zu vermarkten. Vertragsverhandlungen mit einem Konzern laufen bereits und sind vielversprechend. Die Zusammenarbeit zwischen Landwirt und SKH GmbH ist dabei eng verzahnt und vertrauensvoll und die gesamte Produktion wird in Bayern erfolgen. Mittelfristig ist neben der Herstellung des Rohstoffs gealterte Irisrhizome auch eine Weiterverarbeitung zu Extrakten bzw. Destillaten geplant, was aber erhebliche Investitions- und Entwicklungskosten mit sich bringt. Ein weiteres, langfristiges Ziel sollte sein, die wertvollen Irisextrakte aus heimischer Produktion ins Zentrum eigener Parfüm- und Kosmetikkreationen zu stellen, um damit auch den letzten Schritt zu einem eigenen Endprodukt zu gehen, um noch höhere Wertschöpfung zu generieren.

14.3 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Durch dieses Projekt wurde der Anbau und die Veredelung wertvoller Irisrhizome in Bayern einen wesentlichen Schritt vorangetrieben. Im Rahmen dieses Projekts wurde eine komplette, neue Wertschöpfungskette in Bayern aufgebaut, an deren Ende international gehandelte, wertvolle Produkte stehen. Der lokale Charakter und die hohe Qualität der bayerischen Ware stellt ein Alleinstellungsmerkmal dar und kann sich außerdem als vorteilhafte Marketingstrategie erweisen, ebenso wie die Rückverfolgbarkeit der Endprodukte bis zum Hersteller, was derzeit zu den großen Themen in der Phytoextraktbranche gehört (transparency and traceability). Das generierte Wissen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und die strukturierte Prüfung der Chancen und Wechselwirkungen zwischen den Prozessschritten in dem Konsortium aus Landwirt, Wissenschaft und produzierendem Gewerbe befördert Innovation und kann somit zu einer allgemeinen Diversifizierung der Landwirtschaft beitragen. So werden neues Wissen, neue Kontakte und gleichzeitig neue, hochwertige Produkte aus der Landwirtschaft generiert, was die Wertschöpfung im ländlichen Raum stärkt, die Agrarbioidiversität erhöht und die Kulturlandschaft bereichert. Durch die arbeitsintensive Herstellung bei gleichzeitiger hoher Wertschöpfung werden Arbeitsplätze in allen Sektoren geschaffen. Der Anbau erfolgt umweltfreundlich ohne Verwendung von Mineraldünger und Herbiziden.

In den nächsten Jahren wird eine Ausweitung der Irisproduktion angestrebt. Bei erfolgreicher Kundenakquise besteht Aussicht auf weiteres Wachstum und Produktdiversifizierung.

15. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Wie üblich ergaben sich im Laufe des Projekts neue Fragestellungen, die in Zukunft geklärt werden sollen. So war es wegen der schlechten Wetterbedingungen im Sommer 2021 nicht möglich eine zeitlich gestaffelte Ernte durchzuführen und damit einen datenbasierten und nicht nur erfahrungsbasierten, optimalen Erntezeitpunkt zu bestimmen. Dies wird nun nach Ablauf des Projekts im Sommer 2022 geschehen. Hier sollen die im Projekt gepflanzten Plots nun nach drei Jahren (nicht nach zwei, wie geplant), mit je einem Monat Verzögerung geerntet werden, um den Einfluss des Erntezeitpunktes auf Erntemenge und Qualität zu bestimmen. Außerdem sollen über die Jahre noch mehr statistisch verwertbare Daten zu Erntemengen und der Qualität der Ware gesammelt und der Einfluss verschiedener Parameter wie Wetterlage, Bodenbeschaffenheit, Unkrautdruck, Trocknungsmethode usw... auf den Duftstoffgehalt gemessen werden. Wie schon erwähnt, ist außerdem eine Effizienzsteigerung und Kostenreduktion aller Arbeitsschritte und damit eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit geplant. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Kostenreduktion beim Hacken und auf eine Effizienzsteigerung und Energieeinsparung bei der Trocknung gelegt werden. Ein wichtiger Aspekt ist auch die Evaluation der Möglichkeit einer Weiterverarbeitung der Rohware zu Extrakten und eventuell zu eigenen Endprodukten wie Parfüm oder Kosmetika.

16. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Alle Erkenntnisse zu Anbau und Verarbeitung der Iris wurden bei der Durchführung in der Praxis erworben und direkt getestet und optimiert. Eine weitere Verbreitung der Erkenntnisse und auch die Vorteile einer Zusammenarbeit verschiedener Akteure aus Landwirtschaft, Wissenschaft und Gewerbe wurden im Rahmen eines zweiteiligen Workshops am 25.03.2022 verbreitet. Adressaten sind hierbei Vertreter aus der Wirtschaft, Behörden, verarbeitendem Gewerbe und Schüler der Landwirtschaftsschule. Über das Projekt wurde und wird weiterhin auf der LfL-Seite <https://www.lfl.bayern.de/ipz/forschung/221682/index.php> informiert. Außerdem wurden die oben erwähnten Einträge in sozialen Medien getätigt und ein Podcast veröffentlicht.

17. Anhang

Keine Einträge.

