

1. Autoren

Dr.-Ing. Kemal Aganovic, Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.
Hanna Harmeling, Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.
Lars Engel, ZweiZehn GmbH & Co. KG, Leadpartner
Gerhard Adam, Landwirt
Jürgen Zant, Volksbank Raiffeisenbank Nordoberpfalz eG

2. Projekttitel (DE/EN)

„Erhaltung des ursprünglichen, natürlichen CBD-Gehalts der Hanfpflanze zur dauerhaften Lagerung durch Bewertung und Optimierung verschiedener Verfahren der produkt- und ressourcenschonenden Hanftrocknung“

“Preservation of the original, natural CBD content of the hemp plant for long-term storage by evaluating and optimizing various methods of product and resource-saving hemp drying”

3. Zuwendungsempfänger

Operationelle Gruppe ADVZ
Kotzenbach 2
92715 Püchersreuth

Ansprechpartner: Lars Engel, –Leadpartner
+(49) 9602-9440066, +(49) 171-762 24 44

4. Leadpartner

ZweiZehn GmbH Co. KG
Kotzenbach 2
92715 Püchersreuth

Ansprechpartner: Lars Engel
+(49) 9602-9440066, +(49) 171-762 24 44
Lars.engel@zwei-zehn.com

5. Mitglieder der Operationellen Gruppe (OG)

Landwirtschaft Adam, Adam, Gerhard
DIL Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e. V., Dr.-Ing. Heinz, Volker
Volksbank Raiffeisenbank Nordoberpfalz eG, Wolf Bernhard, Jürgen Zant
ZweiZehn GmbH Co. KG, Lars Engel

6. Kurzfassung

Um das Projektziel zu erreichen, wurden die Trocknungstechnologien Band-, Trockenschrank-, Klimaschrank-, Radiofrequenz- und Gefriertrocknung, mit und ohne Einfluss der Elektroporation (PEF)-Vorbehandlung zur Erhaltung des natürlichen CBD-Gehalts des Nutzhanfs untereinander verglichen. Zur Feststellung des natürlichen CBD-Gehalts wurden die Hanfsorten Féдора 17, Férimon und Futura 75 analysiert, mit den optimalen Trocknungsprozessbedingungen evaluiert und die Lagerstabilität ermittelt. Das etablierte Bandtrocknungsverfahren und die anschaffungskostenintensive Radiofrequenz- und Gefriertrocknung

erreichten die besten Ergebnisse. Die PEF-Vorbehandlung führte teilweise zu einer Prozessoptimierung hinsichtlich der Trocknungszeit. Die Langzeitlagerung von getrocknetem Hanf in versiegelten Big Bags unmittelbar nach der Trocknung gewährleistet einen stabilen a_w -Wert und den Erhalt des CBD-Gehalts. Dadurch ist eine ganzjährige Vermarktung ohne Qualitätsverlust gegeben.

7. Summary

In order to achieve the project goals, the drying technologies belt-, cabinet-, climatic cabinet, radio frequency and freeze drying, with and without the influence of electroporation (PEF)-pre-treatment to preserve the natural CBD content of the commercial hemp were compared with each other. To determine the natural CBD content, the hemp varieties Fédera 17, Férimon and Futura 75 were analysed, evaluated with the optimal drying process conditions and the storage stability was determined. The established belt drying process and the radio frequency drying, which is cost-intensive to purchase, achieved the best results. PEF pre-treatment partly optimised the process in relation to the drying time. Long-term storage of dried hemp in closed big bags immediately after drying provides a stable a_w -value and conservation of the CBD content. This makes it possible to market the product all year round without any loss of quality.

8. Projektgebiet

Die praktische Umsetzung des Projekts erfolgte für Anbau, Trocknungsverfahren und Laboranalytik bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG im Landkreis Neustadt a. d. Waldnaab, Region nördliche Oberpfalz/Bayern. Die Volksbank Raiffeisenbank Nordoberpfalz eG Geschäftsbereich Ware, ebenfalls aus der Region, war regional und überregional für die Erschließung von Absatzmärkten und Vertriebsmöglichkeiten tätig. Die Lagerungs- und Qualitätsbewertung zur Langzeitstabilität der Ernteprodukte fand mit der VR und ZweiZehn bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG statt. Bei dem Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V. aus Quakenbrück in Niedersachsen erfolgte der Einsatz weiterer Trocknungsverfahren des Nutzhanfes, sowie die Laboranalytik der Cannabinoide und der Mikrobiologie.

9. Gesamtbudget

Die angeforderten Mittel (Brutto) betragen insgesamt: € 456.720,76

10. Ausgangssituation und Bedarf

• Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

Die Hanfpflanze gehört zu den ältesten Nutzpflanzen, die als Quelle für die Nahrungsmittel, Textilfasern und Medizin bekannt ist. Taxonomisch wird Hanf (*Cannabis*) zu der Familie der Hanfgewächse (*Cannabaceae*) zugeordnet. In Rahmen dieser Familie bekommt die Kulturpflanze *Cannabis sativa L.* ein zunehmendes wirtschaftliches Interesse. Dies ist auf den Gehalt der Cannabinoide wie Cannabidiolsäure (CBDA) sowie Cannabidiol (CBD) und den geringen Gehalt an psychoaktiven Substanzen wie Delta-9-Tetrahydrocannabinol (9-THC) in der *Cannabis sativa L.* zurückzuführen. Mit zunehmender Reife entsteht mehr CBDA in der Hanfpflanze und es ist eine Vorstufe für CBD. Die beiden Substanzen werden gewöhnlich zusammen als CBD bezeichnet und sind für ihre unterstützende Wirkung auf den menschlichen Organismus bekannt. Damit die Pflanze zu diesem Zweck im Bayern großflächig angebaut werden kann, entsteht der Bedarf nach mehr wissenschaftlichen und praxisorientierten landwirtschaftlichen Erkenntnissen in Bezug auf den regionalen Anbau, die Ernte, der Weiterverarbeitung und Haltbarmachung der Erzeugnisse aus dieser Pflanzenkultur. Da die Cannabispflanze nach der Ernte und während der Lagerung aufgrund von Oxidationsprozessen, Temperatureinflüssen und enzymatischer Aktivität ihre Wirkstoffe

und Substanzen verlieren kann, besteht Bedarf zur Verbesserung der Erhaltung des natürlichen CBD-Gehaltes. Auf Grundlage der vorliegenden Erkenntnisse zur Durchführung von Trocknungsverfahren wurden aktuell hohe Verluste an CBD durch thermische und mechanische Einflüsse verzeichnet. Daher wurde ein geeignetes Herstellungs-, Trocknungs- und Lagerungsverfahren entwickelt und optimiert.

- **Problembeschreibung**

Für die Entwicklung der Herstellungsverfahren sind die Kenntnisse der Einflussfaktoren wie Sorte, Vegetationszeit, Keimfähigkeit der Samen, Standort, Wetterbedingungen und Aussaatstärke auf die CBD-Produktion während des Anbaus, der Reifung und Erntezeit in der Hanfpflanze von Bedeutung. Die Cannabinoidentstehung in der Cannabispflanze ist ein natürlicher Abwehrmechanismus gegen Sonneneinstrahlung, feindliche Insekten und Mikroorganismen. Die Cannabissorten, die in Deutschland angebaut werden, stammen aus Frankreich/Le Mans Region. Daher entspricht das vegetative Wachstum (Reifezeit) dieser milderen Klimazone/Gebiet. Es fehlt an Wissen über die Übertragbarkeit der Wachstumsbedingungen für die Region Bayern/Oberpfalz. Das Hanf-Ernteprodukt ist für die Gärungsprozesse sowie Schimmelbefall anfällig und muss sofort verarbeitet oder durch Trocknung haltbar gemacht werden. Die derzeit angewandten Trocknungsverfahren eignen sich nicht zur Gewinnung eines qualitativ hochfertigen, vermarktungsfähigen Nutzhanfs.

Die thermische Instabilität von CBDA und CBD lässt jedoch nicht jedes Trocknungsverfahren verwenden. Durch die mechanischen Einflüsse und die Temperatur sind hohe Verluste an CBDA und CBD zu verzeichnen. Darüber hinaus können die hohen Temperaturen zur Bildung von psychoaktiven Substanzen wie THC beitragen. Die Trocknung bei niedrigen Temperaturen hingegen kann die Enzyme (Proteine, die für die Umwandlung der Cannabinoide ineinander verantwortlich sind) nicht inaktivieren. Bleiben diese Proteine während der Lagerung aktiv, können diese zum Verlust von CBD führen. Die Neigung der Cannabinoide zur Oxidation durch den Sauerstoff wie auch die hygroskopische Beschaffenheit des getrockneten Hanf-Prozessproduktes stellen die Lagerfähigkeit der Trocknungserzeugnisse für die CBD-Gewinnung dieser Pflanzenkultur vor eine Herausforderung.

- **Was war das (praktische) Problem bzw. die „Innovationslücke“, die zum Zusammenschluss der OG und zur Durchführung des Innovationsprojektes anregten?**

Geernteter Hanf fängt in kürzester Zeit an zu gären und muss daher unmittelbar verarbeitet werden. Daher wird er häufig getrocknet. Die angewandten, handelsüblichen Hanftrocknungsverfahren mit Temperaturen von ca. 60 °C bis 80 °C führen allerdings zu einem hohen CBD-Verlust im Endprodukt.

Die OG hatte es sich zur Aufgabe gemacht, verschiedene Trocknungstechnologien miteinander zu vergleichen und ein innovatives Verfahren mit Prozessparametern zu entwickeln, um ein hoch-qualitatives, lagerstabiles Trocknungsprodukt zu erhalten, bei dem der natürliche CBD-Gehalt bestmöglich erhalten bleibt. Ein zusätzlicher Einsatz der PEF-Technologie sollte die Trocknungszeit weiter verkürzen. So können hochwertige Agrarprodukte und Lebensmittel mit hoher Qualität vermarktet werden und wirtschaftlichen Zugewinn der Landwirtschaft ermöglichen.

- **Wissenschaftlicher und/oder technischer Stand, an den angeknüpft wurde?**

Die Trocknung von Hanf bei niedrigen Temperaturen wirkt sich positiv auf die CBD-Erhaltung aus, so dass die Entwicklung und Optimierung des Trocknungsprozesses sowie die Wahl der Referenztrochnungsmethoden auf dieser Wissensbasis erfolgten. Die Kombination aus der Kaltlufttrocknung und Fördertrocknungsanlagen diente als technischer Anhaltspunkt. Die ressourcenschonenden Ziele begleiteten auch die wissenschaftliche Recherche bei der Auswahl moderner Technologien wie PEF oder Radiofrequenztrochnung.

- Die drei Fortschrittsberichte sind auf der Homepage von ZweiZehn GmbH Co. KG veröffentlicht: <https://www.zwei-zehn.com/veroeffentlichung-der-ergebnisse/>

Das Projekt war in folgende Arbeitspakete (nachfolgend AP) gegliedert.

AP 1 Optimierung des Ernteproduktes und Etablierung der Referenz-Trocknung (Fortschrittsberichte 1. Projektjahr, 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

AP 1.1 Evaluierung der Referenz-trocknung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG (Fortschrittsbericht 1. Projektjahr)

AP 1.2 Wiederholbarkeit der Hanftrocknung bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG, Optimierung, Adaption (Fortschrittsberichte 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

AP 2 Untersuchung verschiedener Trocknungsverfahren und Einfluss einer Elektroporation-Vorbehandlung (Fortschrittsberichte 1. Projektjahr, 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

AP 2.1 Evaluierung weiterer Trocknungsverfahren und Prozessierungen (Fortschrittsbericht 1. Projektjahr)

AP 2.2 Wiederholbarkeit etablierter Verfahren, Optimierung, Adaption (Fortschrittsberichte 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

AP 3 Langzeitlagerung und Produkt-Evaluierung (Fortschrittsberichte 1. Projektjahr, 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

AP 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Fortschrittsberichte 1. Projektjahr, 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

- Kostenrechnung
- Scale-Up-Strategie
- Übertragbarkeit der erarbeiteten Technologien auf weitere Pflanzen

AP 5 Projektkoordination, Projektmanagement, Projekttreffen und Öffentlichkeitsarbeit (Fortschrittsberichte 1. Projektjahr, 2. Projektjahr, 3. Projektjahr)

- **Gab es Abweichungen zwischen Projektplan und Verlauf?**

Zeitlich gab es in dem Projekt keine zeitlichen Abweichungen.

13. Projektergebnisse

13.1 Darstellung der Ergebnisse

Vor-/ Nachfeldanalysen

Im Projekt wurden die Cannabissorten, wie Féadora 17, Férimon und Futura 75, die aus Frankreich/Le Mans Region stammen, verwendet. Für die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes dieser Sorten für Region Bayern/Oberpfalz wurden die Vor-/ Nachfeldanalysen durch Landwirtschaft Adam und der ZweiZehn GmbH & Co. KG durchgeführt. Dazu gehörte nicht nur die Bewertung des CBDA- und CBD-Gehalts während der Vegetationsperiode, sondern auch eine visuelle Beurteilung des Reifeprozesses der Cannabispflanze direkt auf dem Feld und eine Untersuchung der Cannabisblütenentwicklung mit einer Spezialkamera unter Laborbedingungen. Der Reifeprozess zeigt sich mit der

farblichen Änderung der gestielten Trichome der unbefruchteten weiblichen Blütenstände von weiß zu bernsteinfarbig. Diese haarähnlichen Strukturen mit kleinen Kugeln aus Cannabisharz auf der Oberfläche von Pflanzen sind für die Produktion der Cannabinoide zuständig. Bei der Probenahme vom Feld wurden die repräsentativen Proben des oberen Drittels der Pflanzen vor Feld entnommen. Ein Bestandteil davon neben den Blättern und Blüten waren auch die Stiele, die einen geringen Anteil an CBDA und CBD im Vergleich zu den Blättern haben. Im ersten Projektjahr wurden die Erntezeiten in die Erntezyklen aufgeteilt, um bessere Vergleichbarkeit zu erreichen. Dabei wurde festgestellt, dass ab Ende der 2ten Erntezyklus bis in den 3ten Erntezyklus hinaus die CBDA und CBD-Gehalte höher werden. Das entsprach der Vegetationszeit zwischen 129 und 143 Tagen. Die Analyse des dritten Erntezyklus ergaben die höchsten Gehalte für die Sorte Futura 75 und Féдора 17. Die Proben der Sorte Férimon hatten einen höheren Stielanteil und dadurch einen geringen Gehalt an CBDA und CBD.

Die Vorfeldanalysen der Hanfpflanzensorte Futura 75 am 114ten Vegetationstag in dem zweiten Projektjahr zeigten einen Abfall des gesamten CBDA- und CBD-Gehalts, deswegen wurde an den darauffolgenden Tagen geerntet. Im dritten Projektjahr wurden die höchsten CBDA- und CBD-Gehalte zwischen 129-132ten Vegetationstagen erreicht. Dabei wurde festgestellt, dass in diesem Zeitraum die Pflanzen aller Sorten bereits mehr CBD und THC gebildet haben. Dieser Trend setzte sich in der Nachfeldanalyse fort und lässt sich durch den Alterungsprozess der Pflanzen erklären. Die Wetterbedingungen wie die Luftfeuchtigkeit und Lufttemperaturmessung wurden während der Vorfeldanalysen und in der Erntezeit dokumentiert. Es konnte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Wetteränderungen und Cannabinoidbildung festgestellt werden. Die Sorte Futura 75 hat sich in Bezug auf die CBDA- und CBD-Gehalte als die produktivste Hanfsorte etabliert. Somit wurde bestätigt, dass solche Faktoren wie die genetische Veranlagung einer Hanfsorte zur CBD-Produktion und die Vegetationszeit eine viel größere Rolle für den Hanfanbau spielen als das Wetter und Standort. Mit diesem Wissen ist davon auszugehen, dass der Erntezeitraum für die untersuchten Sorten je nach den Wetterverhältnissen in der Reifezeit zwischen 120ten und 140ten Tag liegt.

Trocknung mittels Container-2-Band-Trocknungsanlage von ZweiZehn GmbH & Co. KG mit PEF und ohne PEF-Vorbehandlung

Es handelt sich um einen Container-2-Bandtrockner mit einem integrierten Fördersystem. Diese besteht aus dem kürzeren, höher liegenden Band 1 und dem längerem Band 2, die nacheinander angebracht sind. Die Trocknung des Ernteprodukts erfolgt durch Kontakt mit Warmluft. Als Wärmequelle dienen handelsübliche Flüssiggasbrenner. Die auf max. 40 °C erwärmte Trocknungsluft wird mit den Warmluftgebläsen in die Zonen von Band 1 und Band 2 eingeleitet, durchströmt die Hanfschicht, dabei nimmt sie die Feuchtigkeit auf und kühlt ab. Die abgekühlte feuchte Luft wird aus der Zone von Band 1 mittels eines Abluftventilators aus dem Trockner gesaugt und in ca. 4 m Höhe senkrecht oder waagrecht über einen Rohrbogen in die Umgebungsluft ausgeleitet. Aus dem Bereich des Band 2 landet die feuchte Luft in den Entfeuchter. Dort kondensiert es durch weiteres Abkühlen. Band 1 und Band 2 transportieren den Hanf kontinuierlich durch die Trocknungszone. Hier durchströmt die Warmluft den Hanf und mit zunehmender Verweilzeit wird es trockener. Am Ende des Trocknerbandes erreicht das Produkt seine Ziel-trocknungsstufe und wird weiter direkt in die Sortieranlage, die aus Trommelsieben unterschiedlicher Siebgrößen besteht, gefördert. Da die Sortierstufen des getrockneten Produkts größenabhängig sind, unterscheiden sie sich in der Zusammensetzung und in dem Gehalt an Cannabinoiden. Je Größe die Stufe ist, desto mehr Stiele und somit weniger CBD sind enthalten. In der Stufe 1 wird der getrocknete Hanf bis zu einer Größe von 2 mm gesammelt. In Stufe 3 werden Bestandteile mit einer Größe von 4-10 mm aufgefangen. Hanfbestandteile einschließlich Stängel, die größer als 10 mm sind, entsprechen der Stufe 4. Die Stufe 2 enthält Blätter und Hanfsamen, die in einem weiterem Prozessschritt mittels einer Körnerreinigungsanlage voneinander getrennt werden. So entstehen die Stufe 2a (Hanfsamen) und Stufe 2b mit einer Größe 2-4 mm. Im ersten Jahr wurden solche

Trocknungsprozessparameter wie Temperatur und Trocknungszeit bewertet und in den folgenden Projektjahren optimiert. Ziel der Untersuchung war es, das Produkt im Bandrockner der ZweiZehn GmbH & Co. KG so weit zu trocknen, dass das mikrobielle Wachstum eingeschränkt wird und gleichzeitig der Cannabinoidgehalt erhalten bleibt. Durch das Erreichen von a_w -Werten bis 0,65 im Produkt wird das mikrobielle Wachstum vermindert. Die Hanfprodukte wurden auf ihren Feuchtigkeitsgehalt bzw. die Wasseraktivität (a_w -Wert) untersucht. Zusätzlich erfolgte eine Elektroporation durch die Vorbehandlung mittels Pulsed Electric Fields (PEF). Durch Anlegen einer externen Spannung, wird eine Ladungsakkumulation an den pflanzlichen Zellmembranen und Erhöhung des elektrischen Potentials induziert. Diese resultiert in der Bildung einer Pore in der Zellmembran. Der dadurch entstandene Zellaufschluss führt zu erhöhtem Massentransport innerhalb des Produktes und einem höheren Diffusionskoeffizienten und damit zu einer Optimierung des Trocknungsprozesses hinsichtlich Temperatur und Zeit. Im ersten Projektjahr erfolgte die PEF-Vorbehandlung mit Hilfe von PEF PilotTM Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbH (Batch Pulsed Electric Field System) und im zweiten Projektjahr mittels der PEF Advantage B 1 Anlage Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbH. Die gewählten spezifischen Energieeinträge im ersten Jahr waren 1kJ/kg und 3 kJ/kg, im zweiten Jahr 0,5 kJ/kg und 1 kJ/kg.

Die Ergebnisse der Trocknungsevaluierung zeigten, dass die optimalen Trocknungseinstellungen für den Bandrockner von ZweiZehn GmbH & Co. KG, mit denen der angestrebte a_w -Wert von 0,65 erreicht wird, folgende sind: Trocknungstemperatur 40°C, Luftfeuchtigkeit 30%, Trocknungszeit 18-22 Std. Der dritte Erntezyklus sollte der vorteilhafteste für die Trocknung sein. Nach dem kontinuierlichen Trocknungsprozess erreichten PEF-vorbehandelte Proben a_w -Werte zwischen 0,54 und 0,60, aber dieses Ergebnis wurde auch bei den Proben ohne PEF-Vorbehandlung erzielt. Somit zeigte die PEF-Vorbehandlung keinen eindeutigen Vorteil gegenüber der Trocknung ohne PEF. Die Trocknung bei 50°C, die bei der Sorte Futura 75 angewendet wurde, zeigte keine Verbesserung in den Ergebnissen, wobei zusätzlich die Umwandlung von CBDA in CBD bei höheren Temperaturen mitbedacht werden muss.

Trocknungsmethoden bei DIL e. V. mit und ohne PEF-Vorbehandlung

Über die Projektlaufzeit hinweg wurden fünf weitere Trocknungstechnologien zum Vergleich des Trocknungsprozesses von Hanf eingesetzt. Verwendet wurde ein Mischertrockner (Eigenbau DIL e.V.), ein Wärmeschrank (FP 240, BINDER GmbH), ein Klimaschrank (MFK 240, BINDER GmbH), eine Gefriertrocknungs-Laboranlage (PMI317, Fa. CHRIST) und ein Radiofrequenzrockner (NutraREV 10 kW, Fa. ENWAVE). Die Proben erfuhren zum Teil eine vorgelagerte Elektroporation-Behandlung (PEF-Cellcrack II Batch-System, Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbH).

In den Trocknungsverfahren wurden als Ernteprodukte in Jahr 1 alle drei Hanfsorten prozessiert, in Jahr 2 und 3 wurde ausschließlich die Hanfsorte Futura 75 eingesetzt. Teilweise wurden ganze Pflanzen (oberes Drittel) in ihre Bestandteile (Stiele, Blüten&Blätter) zerteilt und bei der Probenerstellung wieder in gleichem Verhältnis zusammengesetzt. Dieser „Handmix“ sollte die natürliche Streuung in der Zusammensetzung der maschinell geernteten Hanf-Ernteprodukte minimieren, damit die Ergebnisse der Trocknungsanalytik, sowie der Cannabinoidanalytik deutlicheren Aufschluss zum Einfluss der eingesetzten Trocknungstechnologie geben.

Temperaturen während der Trocknungsverläufe waren 40 °C, 50 °C, 60 °C und 80 °C, der Ziel- a_w -Wert war 0,65. Trocknungskinetiken wurden erstellt und die Prozessprodukte in der Cannabinoidanalytik untersucht.

Mischertrockner: Der Mischertrockner hat einen temperierbaren Doppelmantel. In der Innenkammer befindet sich das Produkt, welches durch ebenfalls temperierte Luft vertikal durchströmt wird. Im ersten Erntejahr wurde maschinell geernteter Hanf getrocknet. Der Ziel-

a_w -Wert von 0,65 war bei 60°C nach ca. 5 Std. erreichbar, bei 40 °C waren 17 Std. notwendig.

Wärmeschrank: Der Wärmeschrank ist temperierbar auf die gewünschte Trocknungstemperatur. Bei moderater Temperatur von 40 °C ging die Trocknung deutlich langsamer vonstatten als bei höheren Temperaturen. Die Behandlung bei 50 °C und 60 °C zeigte wenig Unterschiede. Bei 40 °C waren 7 Std. nicht genügend zur Erreichung des Ziel- a_w -Wertes, da die Feuchtigkeit im Schrank kondensierte und nicht optimal abgeführt wurde. Bei 50 °C und 60 °C war der angestrebte a_w -Wert bereits unter 4 Std. zu unterbieten.

Klimaschrank: Bei dem Klimaschrank wurde zusätzlich zur gewünschten Trocknungstemperatur eine relative Luftfeuchte von 0,3 eingestellt. Die Trocknungszeit im Klimaschrank war bei 40 °C nach bereits 5 Std. ausreichend, um den angestrebten a_w -Wert von ca. 0,65 zu erreichen.

Gefriertrocknung: Die Gefriertrocknungsanlage gilt als schonende Trocknungsmethode und trocknete die Proben 16, 24, 48 und 72 Std. bei Raumtemperatur und einem Druck von 0,09 mbar. Die Proben zeigten auch nach 72 h keinen Feuchteverlust. Aufgrund zu hoher Produkteinwaagen war die Anlage für diese Zwecke zu klein dimensioniert.

Radiofrequenz Trocknung: Für die Radiofrequenz Trocknung stand als Anlage ein trommelbasierter Radiofrequenz (RF)-Trockner zur Verfügung. Die Anlage schafft 9,1 kg Wasserentnahme pro Stunde. Ein Behandlungszyklus ist standardmäßig 45 Minuten. Bei kürzeren Behandlungszeiten wird der Prozess entsprechend abgebrochen. Die Temperatur stieg von ca. 30 °C zu Beginn auf ca. 50 °C am Ende. In 35 min konnte der angestrebte Ziel- a_w -Wert von 0,65 erreicht werden.

PEF: Das PEF-Cellcrack II Batch-System lieferte exponentielle Hochspannungsentladungen, monopolare Impulse mit einem Intervall von 0,5 s (2 Hz) und einer Pulsdauer von 40 μ s. Die Impulse wurden in einer Batch-Behandlungskammer, bestehend aus zwei parallelen Edelstahlelektroden mit einem Abstand von 28 cm, auf das Produkt aufgebracht. Die Anwendung von PEF als Vorbehandlung bei der konvektiven Lufttrocknung (Wärmeschrank) von Hanf führte zu niedrigeren a_w -Werten bei gleicher Trocknungszeit und verkürzte die Trocknungszeit im Vergleich zur Kontrolle. Bei einem höheren Gehalt an Stielen in der Mischung war der Effekt größer. Eine mit 1 kJ/kg behandelte Probe zeigte eine deutlich schnellere Trocknung als eine unbehandelte Probe. Auch eine Behandlung mit 0,5 kJ/kg zeigte einen zeitlichen Vorteil. Der PEF-Vorteil bei 1 kJ/kg wurde besonders bei niedrigeren Temperaturen wie 40 °C – 50 °C deutlich. Trotz des bedingten Nassmachens war Hanf mit PEF-Behandlung schneller zu trocknen als Hanf ohne eine PEF-Behandlung.

Cannabinoidanalytik bei DIL e. V.

Mittels der durchgeführten Cannabinoid-Analytik wurden stets CBDV-, CBDA-, CBGA-, CBG-, CBD-, THCV-, CBN-, 9-THC-, 8-THC- und CBC-Gehalte der Proben gemessen. Zur Auswertung wurden die Gehalte an CBDA, CBD und 9-THC als Hauptcannabinoide der untersuchten Proben näher betrachtet.

Zunächst wurde eine Labor-Methoden etablierung durchgeführt, um die Cannabinoide mittels HPLC-DAD bestimmen zu können. Abschließend zur Methoden etablierung/Validierung wurden Referenzmessungen von einigen der untersuchten Proben durch ein externes Labor durchgeführt. Der Laborvergleich ergab eine um bis zu 5% höhere Extraktionsausbeute gegenüber dem externen Labor, ansonsten aber nahezu identische Cannabinoidgehalte und -profile bei schonenderen Extraktionsbedingungen. Vor der Extraktion wurde die Probe gefriergetrocknet, um eine Wasserverschleppung und damit eine Beeinflussung der Extraktionsbedingungen durch unterschiedliche Wassergehalte der Proben und damit eine

Beeinflussung der Polaritäten im Extraktionsmittel zu verhindern. Eine Beeinflussung bzw. ein Verlust der Cannabinoidgehalte durch die Gefriertrocknung wurde überprüft und ausgeschlossen. Weiterhin wurden Versuche bei Extremtemperaturen und kurzen Zeiten durchgeführt. Bei 100°C im Trockenschrank fand bereits Decarboxylierung (Umwandlung von CBDA zu CBD) statt, bei 150°C wurde CBDA innerhalb von 15 min vollständig zu CBD umgewandelt, wobei mit steigender Trocknungszeit (15 min – 120 min) der Gesamt-CBD-Gehalt sinkt.

Von allen Ernteprodukten, Prozessprodukten und Lagerprodukten wurden Cannabinoidanalysen durchgeführt.

Im ersten Erntejahr konnte bei allen eingesetzten Ernteprodukten (3 Hanfsorten, 3 Erntezeitpunkte) die höchsten Gehalte an CBDA und CBD in den Prozessprodukten nach der Trocknung im Container-2-Bandtrocknungsanlage von ZweiZehn GmbH & Co KG (ZZ-Trocknung) detektiert werden, was auf eine gegenüber den weiteren Trocknungsverfahren schonendere Trocknung hindeutet. Bei 40 °C wurden in den meisten Fällen die höchsten Gehalte an CBDA und die geringste Umsetzung von CBDA zu CBD detektiert. Bei 60 °C konnte bei allen Trocknungsverfahren eine höhere Umsetzung von CBDA zu CBD festgestellt werden. Bei 80 °C zeigte sich bereits eine beträchtliche Decarboxylierung unter erhöhter Bildung von CBD. Weiterhin konnte bei 80°C unter den gegebenen Bedingungen bereits eine Isomerisierung von CBD zu THC festgestellt werden. Während eine PEF-Vorbehandlung einen eindeutigen Trocknungszeit-verkürzenden Einfluss hatte, konnte den Einfluss auf die Cannabinoid-Zusammensetzung zum jetzigen Zeitpunkt nicht eindeutig beurteilt werden. Dazu spielen die natürlichen Schwankungen der Cannabinoidgehalte der Rohstoffe (Blatt-, Stiel-, Blütenanteile) eine zu große Rolle. Die Sorte Futura 75 im 3ten Erntezyklus zeigte die höchsten Werte an CBDA und CBD nach Trocknung und wurde somit favorisiert.

Im zweiten Erntejahr bei der ZZ-Trocknung mit 40 °C war erkennbar, dass innerhalb einer jeden Trennstufe (0, 1, 2b, 3) mit steigendem PEF-Einfluss eine steigende Gesamtsumme der Cannabinoide CBDA und CBD resultierte. Diese Abfolge war bei Stufen 0, 2b und 3, allerdings nicht bei der Stufe 1 zu beobachten. Stufe 1 beinhaltet Hanfmehl und ist vielleicht zu fein, um gleichmäßig/vollständig aus dem PEF-Prozesswasser gewonnen zu werden. In Stufe 1 waren die höchsten CBDA und CBD-Werte zu finden, gefolgt von Stufe 2b, und dann 3. Schlusslicht bildet die Trennstufe 0, die ja das originale, getrocknete Ernteprodukt incl. Stiele beinhaltet. Bei der DIL-Trocknung (Wärmeschrank, 40 °C bzw. 60 °C) fand im Vergleich zu der ZZ-Trocknung eine größere Umwandlung von CBDA hin zu CBD und 9-THC statt. Dabei hatten die nicht PEF-behandelten Proben höhere Werte an allen Cannabinoiden als die nasse Referenz oder die PEF-behandelten Proben. Dies gibt Hinweise darauf, dass durch das PEF-Wasser Cannabinoide verloren gehen. Beim Temperaturvergleich fiel auf, dass bei 60 °C mehr CBD und 9-THC entsteht und entsprechende Gehalte an CBDA herunter gehen. Der PEF-Einfluss war nicht klar erkennbar. Bei Erhöhung des Energieeintrages war der CBD-Gehalt gesunken, bei CBDA und 9-THC waren keine klaren Trends zu interpretieren.

Im dritten Erntejahr wurden die Versuche mit Klimaschrank-, Radiofrequenz- und Gefriertrocknung ausschließlich mit Futura 75 (maschinell- und handgeerntet) durchgeführt. Es war zu erkennen, dass Futura 75 mehr als doppelt so hohe CBDA-Gehalte besitzt. Der handgeerntete Hanf hatte geringfügig höhere Werte. Es lag evtl. daran, dass die gelieferten Hanfpflanzen weniger Stielanteil hatten, als das Häckselgut der maschinellen Ernte und so die Blatt-Blüten-Anteil höher war.

Bei der ZZ-Trocknung waren die besten Summen aus CBDA und CBD in den Siebstufen 2b und 1 festzustellen. Futura 75 hatte wie auch bei den Ernteprodukten die höchsten Werte. Auch entstand hier infolge der Trocknung anteilmäßig weniger CBD aus CBDA.

Bei allen Hanfsorten und getrockneten Prozessprodukten lag der 9-THC-Wert unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenze.

Die Proben der Klimaschranktrocknung waren gleichmäßig getrocknet und zeigten bei 1-6 Stunden Trocknungszeit abfallende CBDA- und CBD-Gehalte. In der Probe nach 24 Std. Trocknung waren höhere Werte erkennbar. Hier war die Trocknungszeit so lange, dass deutlich geringere Restfeuchten im Produkt bestanden, was auch bei Bestimmung mittels Seesand-Methode und Gefriertrocknungsfeuchte nachweisbar war.

Bei der Radiofrequenztrocknung entstanden keine großen Unterschiede in den Gehalten von CBD, CBDA und 9-THC bei unterschiedlicher Behandlungszeit. Bei der Probe nach 45 min war die Umsetzung von CBDA zu CBD deutlich angestiegen. Es konnte festgestellt werden, dass mittels Radiofrequenztrocknung im Bereich ab 35 min Trocknungszeit ein ausreichend niedriger a_w -Wert erzielt werden kann. Bei 45 min Trocknungszeit war die unerwünschte Cannabinoidumsetzung zu erwarten. Optimale Behandlungszeit liegt deswegen zwischen 35 min und 40 min.

Cannabinoidanalytik im Lagertest

Jahr 1: Sowohl der CBD-, als auch der CBDA-Gehalt ist bei der Sorte Futura 75 an allen drei untersuchten Erntezeitpunkten und auch im Laufe der Lagerung der Prozessprodukte am höchsten.

Jahr 2: Durch eine Vorbehandlung mit PEF konnten höhere CBD- und CBDA-Gehalte in den getrockneten Hanfproben erzielt werden. Diese Unterschiede blieben auch im Laufe der Lagerung bestehen. Je höher der Energieeintrag durch PEF war, desto höher war der Gehalt an CBDA in der TS, auch über die Lagerzeit hinweg: Bei PEF₀ waren die Werte in der TS etwa zwischen 3 % und 4 %, bei PEF_{0,5} bei um die 4 % und bei PEF₁ zwischen 4 % und 5 %. Die CBD-Werte stiegen entsprechend auch an, bei PEF₀ um die 2 %, bei PEF_{0,5} um die 3 % und bei PEF₁ 4 % - 5 %. Im Laufe der Lagerung war weder eine klare Zu- noch Abnahme der CBD- und CBDA-Gehalte erkennbar.

Jahr 3: Die drei Hanfsorten zeigten im Laufe der Lagerzeit einen proportionalen Verlauf in ihren Gehalten an CBD. Die CBDA-Verläufe waren auch ähnlich. Es gab aber innerhalb einer Sorte im Laufe der Lagerung keinen einheitlichen Trend. Die Werte von 9-THC waren unverändert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Langzeitlagerung der getrockneten Hanfprodukte die Gehalte oder Verhältnisse der Cannabinoide nicht signifikant verändert.

Mikrobiologische Untersuchungen im Lagertest

Im Lagertest wurden die folgenden Parameter untersucht: Aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (DIN EN ISO 4833-2 2022-05 mod., Spiralplatterverfahren), Hefen und Schimmel (ASU L 01.00-37 1991-12 mod., Spiralplatterverfahren) der eingelagerten Ernteprodukte im Laufe der Zeit (0; 1; 2; 4; 8; 24; 40 Wochen)

Jahr 1: Die Werte der Gesamtkeimzahl und Hefen stiegen von der Woche 4 zu der Woche 8. Insgesamt waren die Zahlen der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl in der Woche 4 relativ hoch. Es gab keine mikrobiologische Untersuchung für die Wochen 0, 1, 2 und 4.

Jahr 2: In den Lagertest 2021 gingen die drei Prozessprodukte, getrocknet bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG, in der Siebstufe 2b (Blätter & Hülsen). Es handelte sich alles um Futura 75, teilweise PEF-behandelt, alles bei 40 °C getrocknet. Der Schimmelbewuchs nahm tendenziell über die Lagerdauer leicht ab (die ersten 2-4 Wochen abfallend, danach geringer Anstieg), die Gesamtkeimzahl blieb aber zwischen 10⁷ und 10⁸ KBE/g gleich. Die Anzahl an Hefen war über

die gesamte Lagerdauer nicht auswertbar, da ein Auszählen aufgrund des Überwucherns durch die Schimmel nicht möglich war.

Jahr 3: Der mikrobiologische Status der drei Hanfsorten (Futura 75, Férimon, Fédora 17) war vergleichbar. Die Gesamtkeimzahlen lagen zu Beginn im Bereich von 10^7 – 10^8 KBE/g. Bei Férimon und Fédora 17 sank die Werte auf unter 10^7 KBE/g im Laufe der Lagerung. In keinem der getrockneten Ernteprodukte war ein statistisch signifikanter positiver oder negativer Verlauf der Gesamtkeimzahl ersichtlich. Die Untersuchungsergebnisse der Schimmelwerte schwankten bei allen eingelagerten Hanfsorten im Laufe der Lagerung zwischen 10^3 und 10^6 KBE/g. Eine signifikante Veränderung war demnach nicht nachweisbar. Hefen waren nur im Prozessprodukt von Férimon bei Einlagerung nachweisbar und bei allen Lagerprodukten in Woche 8. Der a_w -Wert stieg tendenziell im Laufe der Lagerzeit, wenn auch geringfügig und bleibt stets unterhalb von 0,6. Ergebnis des Lagertests ist, dass die eingelagerten, getrockneten Hanfproben sowohl hinsichtlich a_w -Wert als auch mikrobiologischen Status lagerstabil sind.

Lagerstabilität der Ernteprodukte

Bereits bei den frisch getrockneten Prozessprodukten traten schon große Schwankungen aufgrund der variablen Rohstoffzusammensetzung auf. Dies zeigte sich bereits in Jahr 1. Die Gesamtsumme von CBD und CBDA nahmen tendenziell bei einigen eingelagerten Prozessprodukten während der Lagerung ab, aber nicht bei allen. Daraufhin wurde für das zweite Erntejahr eine Siebanlage der ZZ-Trocknung hinter geschaltet. In Jahr 2 und 3 wurde nur die Siebstufe 2b (2-4 mm) der Prozessprodukte eingelagert, welche einen Vergleich der Lagerprodukte, aufgrund vergleichbarer Zusammensetzung und Größe, über die Zeit vereinfachte. Nun wurde deutlich, dass die CBD- und CBDA-Gehalte durch die Lagerzeit nicht beeinflusst werden.

Die Gesamtkeimzahl stieg im ersten Jahr im Laufe der Lagerung, in Jahr 2 und 3 zeigte die Lagerzeit keinen Einfluss. In Jahr 1 und 2 nahmen die Schimmelwerte im Laufe der Lagerung tendenziell leicht ab. In Jahr 3 waren die Werte weitgehend stabil. Die Werte der Hefen waren stabil, vielfach unterhalb der Nachweisgrenze, oft auch einfach nicht auswertbar aufgrund flächig überwachsenden Schimmels. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Mikrobiologie während der Lagerzeit weitgehend stabil blieb.

Während der Lagerzeit konnte eine leichte Steigung der a_w -Werte festgestellt werden. Sie lagen aber unterhalb von 0,6 und somit im gewünschten Bereich. Solch ein a_w -Wert ermöglicht die mikrobiologische Stabilität des Produktes während der Lagerungszeit.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der angewandten Technologien

Die im Projekt genutzten Mischertrockner und Gefriertrockner wurden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung außer Acht gelassen, da sie offensichtlich nicht konkurrenzfähig mit der Großanlage der ZweiZehn GmbH & Co. KG sind. Für einen repräsentativen Vergleich mit dem Container-2-Bandrockner von Zwei Zehn GmbH & Co. AG waren die für die Versuche genutzten Anlagen aus Wirtschaftlichkeitsgründen zu klein, es bedurfte eines Anlagenupgrades. Daher wurde in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anstelle des Wärme-/Klimaschranks im Labormaßstab ein AIRGENEX®MedCann Hordentrocknersystem für einen Batchbetrieb von der Firma HARTER in Betracht gezogen. Anstatt der genutzten Radiofrequenz-Batchanlage NutraREV 10 kW im Technikummaßstab wurde auf die QuantaREV 60 W mit kontinuierlichem Bandsystem der Firma ENWAVE ausgewichen.

Trockner		Zweizehn Trockner	Klimaschrank-Trockner	Radiofrequenztrockner
Trocknungstechnologie		Bandrockner mit Entfeuchtung	Hordeentrocknungssystem	Radiant Energy Vacuum Dehydration (REV™)
Firma			Harter	Enwave
Anlagenmodell			H05-L-AG15	QuantaREV 60 kW
Prozessparameter Erntefrisch frisch				
Sorte Futura 75 Menge	kg	1.000	1.000	1.000
Anfangsfeuchte Ernteprodukt/kg	%	66	66	66
Anfangs a _w Wert Ernteprodukt/kg		1,00	1,00	1,00
Trocknungstemperatur	°C	40	40	40
Prozessparameter Ernteprodukt getrocknet				
Ertrag prozessierte Trockenware	kg	374	374	374
Endfeuchte Ernteprodukt/kg	%	9,60	9,60	9,60
End a _w Wert Ernteprodukt/kg (Mittelwert)		0,44	0,44	0,44
Anbaukosten Nutzhanf/Hektar				
Ertrag je Hektar Ernteprodukt frisch	kg	1.000	1.000	1.000
Flächenkosten/ha	€	600,00	600,00	600,00
Anbaukosten/ha	€	400,00	400,00	400,00
Saatgut 25 kg/ha	€	132,50	132,50	132,50
Gesamtkosten/ha		1.132,50	1.132,50	1.132,50
Anlagencharakteristika				
Durchsatz frisch geernteter Nutzhanf pro Trocknungsdurchgang	kg	1.000	1.000	1.000
Beltrische Leistung	KW	28	35	60
Heizleistung Brenner	KW	10	0	
Trocknungszeit				
pro Trocknungsdurchgang	Stunden	24,00	20,00	11,38
Trocknungskosten/ha entspricht 1000 kg				
Anfangsinvestition	€	381,500	366,950	1.441,500
Abschreibungszeitraum	Jahre	7,00	7,00	7,00
Abschreibung	€	2.043,49	1.965,56	7.721,36
Elektr- und Heizenergie	€	648,00	497,00	484,79
Arbeitslöhne	€	645,00	215	305,84
Wartungskosten	€	552,00	56,24	843,64
Total	€	3.888,49	2.733,80	9.355,63
Anbaukosten Nutzhanf/Hektar				
Flächenkosten/ha	€	600,00	600,00	600,00
Anbaukosten/ha	€	400,00	400,00	400,00
Saatgut 25 kg/ha	€	132,50	132,50	132,50
Anbaukosten/ha		1.132,50	1.132,50	1.132,50
Gesamtkosten/ha	€	5.020,99	3.866,30	10.488,13
Zu erwartende Verkaufserlöse/ha				
Vermarktung je kg	€	40,00	40,00	40,00
Vermarktung von 434 kg	€	17.360,00	17.360,00	17.360,00
Unternehmensertrag/ha	€	12.339,01	13.493,70	6.871,87

13.2 Diskussion der Ergebnisse

Vor-/ Nachfeldanalysen

Mit Hilfe von Vorfeldanalysen wurde die CBD-produktivste Sorte identifiziert und Information darüber gewonnen, welcher Vegetationszyklus für die untersuchten Sorten Fédera 17, Férimon und Futura 75 in der Oberpfalz zu erwarten ist. Damit erhalten die Landwirte einen indikativen Zeitrahmen für die Produktionsplanung. Problematisch ist nach wie vor die Abhängigkeit des Anbaus und der weiteren Trocknung des Hanfs von den Witterungsverhältnissen. Die Wetterlage kann zu Veränderungen der Anbau- und Erntezeiten führen und damit die Anbausaison verkürzen oder verlängern. Die Vegetationszeit ist aber für CBD-Produktivität unerlässlich. Die Hanfpflanze muss bei trockenem Wetter geerntet werden, um den anschließenden Trocknungsprozess nicht zu verlängern, was mit einer Verschlechterung der Produktqualität und wirtschaftlichen Folgen verbunden ist. Wie im

Projekt erwähnt, sollte die Ernte im dritten Erntezyklus erfolgen, um eine gute Lagerfähigkeit des Hanfprodukts zu gewährleisten. Aus den zahlreichen Studien ist bekannt, dass die Keimfähigkeit der Samen nicht nur von der genetischen Veranlagung abhängig ist, sondern auch von den Wetterbedingungen. Geeignete Lufttemperaturen sind um 20 °C, feuchter Boden wird bevorzugt. Der Aussaatzeitpunkt kann deswegen in der Oberpfalz ab Mitte Mai bis Anfang Juni erfolgen. Obwohl Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den Vor-/ Nachfeldanalysen dokumentiert wurden, bietet dies keinen ausreichenden Einblick in die klimabedingten Einflüsse auf die CBD-Bildung während der Blüte- und Reifezeit über die ganzen drei Jahren. Um den Produktionsprozess weiter zu optimieren, ist es ratsam, die klimatischen Jahresbedingungen bei der produktivsten Sorte zusätzlich zu erforschen, um die Qualität und Produktionsparameter des Rohstoffes für die nachfolgenden Schritte Trocknung und Lagerung sicher zu stellen.

Trocknung mittels Container-2-Band-Trocknungsanlage von ZweiZehn GmbH & Co. KG mit PEF und ohne PEF-Vorbehandlung

Die entwickelte und optimierte Trocknungstechnologie bei ZweiZehn GmbH & Co. KG erzielte gute a_w -Werte und ist für alle im Projekt untersuchten Sorten gut geeignet. Die Trocknungsdauer ist ein Parameter, welcher von Wetterbedingungen in der Reifezeit und Erntezeit abhängig bleibt. Da für die CBD-Produktion mehr Blätter benötigt werden, sollte die Ernte zu einem Zeitpunkt erfolgen, an dem sich die Pflanze in den frühen Stadien des Alterungsprozesses befindet, so dass zum einen die meisten Blätter noch intakt sind und zum anderen die Pflanze zu diesem Zeitpunkt bereits viel CBDA produziert hat. Die angetrockneten Cannabisblätter und -stiele enthalten natürlich sehr viel Feuchtigkeit. Nasse oder regnerische Bedingungen während der Reifung oder Ernte fördern das weitere Wachstum der Pflanze und verzögern so die Alterung, führen aber dazu, dass viel Feuchtigkeit in den Stängeln gespeichert wird, was die Trocknungszeit verlängert. Dies ist nicht nur ein negativer wirtschaftlicher, sondern auch ein technologischer Aspekt. Grundsätzlich spielen die Pflanzenstängel bei der CBD-Produktion keine positive Rolle, da sie keine Trichome enthalten und daher keine Cannabinoide bilden. Die verlängerte Trocknungszeit bedingt durch Anwesenheit der Cannabisstängel wirkt sich negativ auf die Qualität der Blätter aus, die diese ihre Qualitätsmerkmale für CBD-Produktion verlieren können. Diese Erkenntnis zeigt, dass die Vorbehandlung mit PEF keinen eindeutigen Vorteil für die optimale Trocknung bringt, da die Ernte im Prozesswasser der PEF-Anlage behandelt werden muss. Dadurch verlängert sich wiederum die Trocknungsdauer. Außerdem hat sich die PEF-Behandlung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG im Projektjahr 1 und 2 als kostenintensiv und schwierig implementierbar in die vorhandene landwirtschaftliche Anlage erwiesen. Das Überführen des nassen Hanfes von der PEF-Anlage in die Trocknungsanlage stellte sich als umständlich und nicht praxistauglich heraus. Deswegen wurde im dritten Projektjahr die PEF-Vorbehandlung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG nicht mehr angewendet.

Trocknungsmethoden bei DIL e. V mit und ohne PEF-Vorbehandlung

Die eingesetzten Trocknungstechnologien wurden als Vergleich mit dem ZZ-Bandrocknungssystem eingesetzt. Bandrockner, Wärmeschrank, Klimaschrank, Gefriertrocknung und Radiofrequenzrockner dienten zur Untersuchung der Trocknungseigenschaften des betrachteten Hanfes mittels Erstellung von Trocknungskinetiken. Unterschiedliche Trocknungsbedingungen (Temperaturen, Zeiten) konnten mit kleinen Mengen gefahren werden. In den Versuchen stellte sich besonders die Radiofrequenzrocknung als innovative Technologie heraus, da mit Behandlungszeiten von ca. 35 min eine schnelle Trocknung ermöglicht wird und die Ergebnisse der Cannabinoidanalyse ebenfalls für eine schonende Trocknung sprechen.

Für einen repräsentativen Vergleich mit dem ZZ-Bandrockner waren die Anlagen aus Wirtschaftlichkeitsgründen zu klein, es bedurfte eines Anlagenupgrades. Daher wurde in der

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anstelle des Wärme-/ Klimaschranks im Labormaßstab ein AIRGENEX®MedCann Hordentrocknersystem für einen Batchbetrieb von der Firma HARTER in Betracht gezogen. Anstatt der genutzten Radiofrequenz-Batchanlage NutraREV 10 kW im Technikummaßstab wurde auf die QuantaREV 60 W mit kontinuierlichem Bandsystem der Firma ENWAVE ausgewichen.

Nach der HPLC-Labor-Methodenetablierung, regelmäßiger Optimierungen des Gradienten und Validierungen der HPLC-Methodik sowie der Extraktion der Cannabinoide aus dem Pflanzenmaterial, wurden Referenzmessungen von einigen der untersuchten Proben durch ein externes Labor durchgeführt, um eine vollständige Extraktion sicher zu stellen. Diese Laborvergleiche sicherten die vollständige und zuverlässige Detektion des Cannabinoidprofils als zwingende Voraussetzung, die Auswirkungen der verfahrenstechnischen Parameter auf Gehalt und Profil der Cannabinoide vollständig zu erfassen, ab.

Ein weiteres Problem bei der Analytik war die Gewährleistung einer repräsentativen Probenahme. Die unterschiedlichen Zusammensetzungen der Proben aus Stängeln, Blättern, Blüten sind vermutlich für die Schwankungen verantwortlich, da sich die Cannabinoide in den Trichomen und hauptsächlich in der Gruppe Blüten/Blätter befinden. Eine Zu- oder Abnahme der Cannabinoide konnte nicht eindeutig auf die jeweiligen Prozessbedingungen zurückgeführt werden. Um das Problem der schwankenden Zusammensetzung (Stängel, Blätter, Blüten, Samen) der Prozessproben und Lagerproben zu lösen, wurden die Proben nach der ZZ-Trocknung nach Größe gesiebt und getrennt voneinander analysiert. Nur eine Siebgröße wurde eingelagert. Für die Versuche der Referenztrocknungsmethoden wurden die Hanfpflanzen händisch in ihre Bestandteile getrennt und in zu trocknenden Proben in gleichen Verhältnissen zusammengesetzt, um eine gleichmäßigere Probennahme zu gewährleisten.

Da einige Proben zum Ende der Trocknung noch höhere oder niedrigere a_w -Werte erreichten und unterschiedliche Prozessverfahren miteinander verglichen werden, sollten die Ergebnisse der Cannabinoidanalytik nicht auf die Feuchsubstanz der getrockneten Proben bezogen sein, da die Ergebnisse durch verbleibendes Wasser nicht optimal vergleichbar sind. Alle Analysenergebnisse der Cannabinoidanalytik beim DIL e.V. beziehen sich daher auf die gefriergetrocknete Probe bzw. TS. Von allen getrockneten Hanfproben wurde ab dem 2. Projektjahr mittels Seesand-Trockenschrankmethode die Produktfeuchte bestimmt, um ggf. genauer auf den Gehalt in der Original-Probe zurückrechnen zu können und die Auswaagen aus der Gefrietrocknung zu kontrollieren. Zusätzlich dazu wurde im dritten Jahr noch einmal die Restfeuchte nach der Trocknung bestimmt, um auch hier evtl. Ausreißer abzusichern. Somit kann man alle vom DIL e.V. gemessenen Werte gut miteinander vergleichen.

Mikrobiologische Untersuchungen im Lagertest

Große Probleme stellte in den mikrobiologischen Analysen der starke Bewuchs der Platten durch Schimmel dar. Dadurch waren die Werte für die Hefekolonien nicht auswertbar. Wenn eine Auswertung möglich war, waren die Hefen allerdings häufig unterhalb der Nachweisgrenze. Die Gesamtkeimzahlen waren bei den Prozessprodukten und den Lagerprodukten durchweg hoch. Beim Vergleich der Werte mit den Vorgaben der EIHA (European Herbal Infusions Association) für Kräutertees, liegen die Werte an der Grenze. Deswegen muss der Trocknungsprozess zur Keimreduktion entweder hin weiter optimiert werden, oder es muss eine vorgelagerte Reinigung des Hanfmaterials eingebaut werden.

Lagerstabilität der Ernteprodukte

Die a_w -Werte der in den Bigbags eingelagerten Prozessprodukte sind über die Lagerzeit stabil und unterhalb des angestrebten Richtwertes. Demnach ist die Lagerhaltung erfolgreich.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der angewandten Technologien

Vergleicht man die vorgestellten drei Trocknungstechnologien miteinander, so ist ersichtlich, dass der Container-2-Bandrockner von ZweiZehn GmbH & Co. KG (ZweiZehn Trockner) auf ähnliche Ergebnisse kommt, wie der HARTER Hordentrockenschrank (Klimaschranktrockner). Anfangsinvestition, Elektro- und Heizenergie, und insbesondere Arbeits- und Wartungslöhne führen bei dem ZweiZehn Trockner allerdings zu leicht höheren Gesamtkosten. Hier gilt zu bedenken, dass eine Prozesslaufzeit von 24 Std. bei der ZZ-Trocknung zu sehr trockenen Prozessprodukten führte. Die Trocknungszeit kann sicherlich verringert werden, was auch den Personalaufwand reduziert. Die Wartungskosten pro Betriebstag sind außerordentlich hoch und sollten überprüft werden.

Grundsätzlich sind kontinuierliche Systeme meist wirtschaftlicher zu betreiben. In diesem Fall stellt der HARTER Trockner eine Alternative dar.

Das System von ENWAVE ist deutlich teurer als der von ZweiZehn GmbH & Co. KG. Die Anfangsinvestition liegt fast 3,8-mal so hoch, entsprechend sind die Abschreibungskosten über die Jahre verteilt belastend.

Die Betriebskosten aller drei vorgestellten Technologien können gesenkt werden, wenn sie im Jahr häufiger, als an 26,67 Produktionstagen Einsatz finden, was für den Einsatz einer Lohnproduktion oder Maschinengemeinschaften spricht. Dadurch werden eine hohe Anfangsinvestition, hohe Abschreibungen oder Wartungskosten pro Produktionstag relativiert.

13.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des EIP-Agri-Projekts wurde über drei Jahre hinweg, die für Landwirtschaft wichtigen Faktoren des Hanfanbaus untersucht und ein hervorragendes Produktions-Trocknungs- und Lagerungsverfahren entwickelt und optimiert, um den natürlichen CBD-Gehalt des Hanfs zu erhalten.

Im Rahmen der Versuche zur Optimierung des Produktionsverfahrens Nutzhanfanbau zur CBD-Gewinnung konnte sich die Sorte Futura 75 gegenüber den Sorten Fédora 17 und Férimon auf Grund ihrer genetischen Veranlagung zu einer hohen CBD-Produktion etablieren. Trotz der Genügsamkeit der Pflanze in Bezug auf die Ansprüche an den Standort zeigte sich, dass eine gute Wasserversorgung die Erträge positiv beeinflusst. Durch intraspezifische Konkurrenz ist im Anbau der Einsatz von Herbiziden nicht notwendig. Der optimale Erntezeitraum mit der höchsten CBDA- und CBD-Konzentration liegt dabei für alle geprüften Sorten zwischen den 120ten und den 140ten Tag.

Es wurden im Projekt verschiedene Trocknungsverfahren wie Trocknungsschrank, Gefriertrocknung, Klimaschrank, Radiofrequenz-trocknung und PEF (Pulsed Electric Fields) angewandt und mit den Ergebnissen des Bandtrocknungsverfahren von ZweiZehn GmbH & Co. KG verglichen.

Mit der schonenden Trocknung mittels Bandrockner von ZweiZehn GmbH. & Co. KG bei 40 °C wurden die angestrebten a_w -Werte (Wasserverfügbarkeit der Trocknungsprodukte nach Prozessierung) unter 0,65 zur stabilen Lagerung mit Beibehaltung des natürlichen CBDA-Gehalts erreicht. Grundsätzlich führten die optimierten Prozessparameter zum stabilen Lagerprodukt, deren Gesamtkeimzahl wünschenswert durch die vorinstallierte Reinigungsanlage reduziert werden kann.

Das vergleichbare Ergebnis lieferte die Radiofrequenz-trocknung, deren sparsame Einsatz von elektrischer Energie den Zielen der Förderpolitik entspricht. Allerdings sind die Anschaffungskosten für solche Geräte am höchsten und erfordern daher den Einsatz von Maschinengemeinschaften.

Die Verfahren Trockenschrank- und Gefriertrocknung erwiesen sich als unwirtschaftlich, sowohl aus ökonomischer Sicht als auch aus Sicht der Projektziele. Das Klimaschrankverfahren ist wirtschaftlich eine Alternative zum Bandrockner der Firma ZweiZehn GmbH & Co. KG, ist aber in Bezug auf die Einhaltung der CBD-Werte unterlegen.

Das Elektroporationsverfahren (PEF), wodurch über eine externe Spannung der Aufschluss der Zellmembrane erfolgt und somit die Trocknung beschleunigt werden soll, brachte einen

positiven Einfluss auf die nachfolgende Extraktion der Cannabinoide, besonders bei den stängelreichen Ernteprodukten, und zeigte eine geringfügige Trocknungszeitverkürzung. Allerdings zeigte sich die PEF-Behandlung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG als kostenintensiv und nicht implementierbar in die vorhandene landwirtschaftliche Anlage.

Die Implementierungsmethoden und -lösungen in der Landwirtschaft sowie die richtigen Skale-Up-strategie müssen zukünftig entwickelt werden. Dazu gehören die größeren Skalierungen als Verdoppelung der Linien, die maschinengemeinschaftlich und/oder genossenschaftlich verwendet werden können oder kleinere Maßstäbe von teuren Anlagen, die jedem/-er Landwirt/-in zugänglich gemacht werden können. Die entwickelten Verfahren sind ebenso für die anderen Pflanzenkulturen geeignet.

Im Rahmen des Projekts wurde zudem ein Lagerverfahren weiterentwickelt. Unmittelbar nach dem Trocknen wird der Nutzhanf in versiegelte Big Bags gefüllt und nach einer Stickstoffbehandlung (Lebensmittelecht) vakuumiert gelagert. Dies gewährleistet einen stabilen a_w -Wert, unterdrückt das mikrobiologische Wachstum und verhindert die Oxidation der Inhaltsstoffe.

14. Verwertung der Ergebnisse

14.1 Zielerreichung

• Inwieweit wurde die ursprüngliche Zielsetzung erreicht (Hervorhebung des innovativen Kerns)?

Durch die Bewertung und Optimierung verschiedener Trocknungsverfahren mit und ohne PEF-Vorbehandlung wurden die besten Trocknungsprozessparameter und PEF-Einstellungen zur Erhaltung des ursprünglichen, natürlichen CBD-Gehalts der Hanfpflanze zur dauerhaften Lagerung ermittelt. Der Effizienz und Ressourcenschonung sollten mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

• Welche weiteren Erkenntnisse konnten durch das Projekt gewonnen werden?

Im Projekt nehmen die Trocknungstechnologien und die Trocknungsergebnisse eine zentrale Rolle ein. Es musste bei der Landwirtschaft Adam und der ZweiZehn GmbH & Co. KG die entscheidenden systemwichtigen Fragen geklärt werden, die der Trocknung von Hanf vorgelagert sind, wie z.B. die Erntetechnik im großen Einsatz sowie Anbau- und Erntezeitpunktbestimmung. Zu diesem Zweck mussten die spezifische Erntetechnik und die geeigneten Anbau- und Erntegeräte entwickelt werden. Es war wichtig, dass bei der Ernte die Pflanzen so geschont werden, dass ihr CBD-Gehalt erhalten bleibt.

Die Radiofrequenz-trocknung und Band-trocknung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG liefern die vergleichbaren Ergebnisse in der Cannabinoidanalyse. Die sparsame Verwendung der elektrischen Energie bei der Radiofrequenz-trocknung entspricht den förderpolitischen Zielen. Die geringe Trocknungszeit ist auch vorteilhaft. Die Anschaffungskosten für die Radiofrequenz-trocknungsanlage sind für den/die einzelnen/-e Landwirt/-in allerdings hoch. Durch Bildung von Landwirtschafts-Maschinengemeinschaften wäre die Anschaffung und Nutzung solcher Anlagen für jeden einzelnen/-e Landwirt/-in denkbar.

• Welche der gestellten Ziele konnten nicht erreicht werden und warum?

Die PEF-Vorbehandlung konnte die Trocknung bei ZweiZehn GmbH & Co. KG unterstützen. Die fehlende Implementierung in die bestehende Container-2-Band-Trocknungsanlage führte dazu, dass die gestellten Aufgaben nicht vollständig durchgeführt werden konnten und somit die Ziele nicht umfänglich erreicht wurden.

- **Nebenergebnisse (Was hat sich eventuell unerwartet aus der Zusammenarbeit, durch das Projekt ergeben?)**

Bei der Hanfernte wurden die oberen Pflanzenteile, die mit CBD-reichen Blätter und Blüten ausgestattet sind, abgeschnitten. Die Stiele sowie die Wurzel des Hanfs bleiben auf dem Feld stehen und werden nicht weiterverwendet. Die Erntetechnik oder die Trenntechnik, die neben dem Projekt entwickelt wurde, ist nicht für die Verwertung der ganzen Pflanzen bestimmt.

Im Endprodukt sind trotz Passierens durch die Sortieranlage mehrere Stiele zu finden. Durch die Optimierung eines Sortierungsprozesses wäre es möglich, die Endprodukte bezüglich des CBD-Gehaltes quantitativ zu steigern.

Aufgrund der derzeitigen Gesetzeslage ist nur die Erzeugung und nicht die Vermarktung von CBD-Produkten möglich. Die Umsetzung der Projektergebnisse ist bis zum derzeitigen Zeitpunkt für die Landwirtschaft gegeben.

14.2 Nutzen für die Praxis und (geplante) Verwertung

- **Sind nutzbare/verwertbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?**

Im Rahmen des Projekts ist ein empfehlenswertes Produktions-, Trocknungs- und Lagerverfahren zur Erhaltung des natürlichen CBD-Gehaltes in der Hanfpflanze entstanden. Die durch diese Technologien hergestellten Endprodukte aus Hanf entsprechen den Optimierungszielen des Projektes.

- **Werden die Ergebnisse bereits jetzt in der Praxis genutzt? Wenn ja, von wem? Wenn nein, warum nicht?**

Die Ergebnisse des Projekts werden von ZweiZehn GmbH & Co. KG nach Änderung der gesetzlichen Bestimmungen eingesetzt. Die Vor-/ Nachfeldanalysen sowie die Erfahrungswerte (Anbau, Ernte) werden vom Landwirtschaft Adam weiter zur Fruchtfolgeverbesserung und Humusaufbau verwendet.

- **Welche weitere Verwertung der Ergebnisse ist geplant?**

Bei ZweiZehn GmbH & Co. KG steht in der Planung die Trocknung weiterer Pflanzen außer Hanf mit der Container-2-Bandrocknungsanlage wie z. B. die verschiedenen Kräuter oder Tees. Außerdem wurde die Samentrocknung anderer, für Bayern typischer, Anbaukulturen zum Zwecke der Keimfähigkeitserhaltung geplant.

14.3 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen EIP-Zielen

Das Innovationsprojekt leistet eindeutig einen Beitrag zu den thematischen EU-Schwerpunkten. Aus der SWOT-Analyse ergeben sich Bedarfe und Ziele der EIP "landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit" (ELER-VO).

Die Themenschwerpunkte 8.2 Ressourcenschutz- und Effizienz sowie 8.4 Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit entspricht den Ergebnissen des Projekts. Hanf trägt dazu bei, die landwirtschaftlichen Flächen wieder in die Fruchtfolge einzubeziehen. Durch die Trocknung der in kurzer Zeit anfallenden, großen Mengen an Hanfpflanzen können die Produkte lagerfähig gemacht werden und es kommt zu weniger Lebensmittelabfällen. Durch die ressourcenschonende Trocknung, kann aus den Hanfpflanzen mehr CBD pro Pflanze gewonnen werden, was die Extraktion effektiver macht und die anfallenden Nebenprodukte

verringert. Das macht den landwirtschaftlichen Anbau nachhaltiger. Für den bayerischen ländlichen Raum entstehen durch einen Anstieg des Hanfanbaues eine stabile Einkommens- und Lebensgrundlage. Dies steigert die Wettbewerbsfähigkeit der Landwirte, aber auch der weiterverarbeitenden Industrie. Da es auf EU-Ebene noch keinen Rechtsrahmen für den freien Verkauf von CBD- und Hanfprodukten gibt, können die oben genannten Vorteile dieses Projekts nicht in vollem Umfang genutzt werden.

15. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiteführende Fragestellungen

• Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig bearbeitet werden sollen?

Das Projekt bezieht sich auf die Erhaltung des natürlichen CBD-Gehaltes. Es ist wichtig herauszufinden, ob sich die Ergebnisse, die dank des Projektes gewonnen wurden, in ähnlicher Weise auf den THC-Gehalt übertragen werden können, insbesondere betreffend die schonende Trocknung.

Aufgrund der Gesetzeslage ist die Herstellung und die Vermarktung von CBD-Produkten ebenso wie die von cannabishaltigen Produkten nicht erlaubt. Die Anschlussfähigkeit des Weiterlebens der Projektergebnisse ist nicht gegeben. Dies wirft die Fragen auf, welche Vermarktungsmöglichkeiten außer der CBD-Produktion noch möglich sind, wie das Handelssystem angesichts dieser Problematik funktionieren soll, wie die Gesetze geändert werden müssen und wann mit dieser Änderung der Gesetzgebung zu rechnen ist.

Wenn die notwendigen Gesetze zukünftig die Situation ändern werden, müssen solche innovative Technologien wie PEF, Klimakammer und Radiofrequenz-trocknung in die Landwirtschaft eingeführt werden. Solche Anlagen sind nicht nur teuer in der Anschaffung, aber auch noch nicht ausreichend in der Landwirtschaft implementiert.

An der Einführung von Trocknungstechnologien wie PEF, Klimakammer und Radiofrequenz-trocknung sollte in Zukunft gearbeitet werden.

Wie bereits erwähnt, wäre eine weitere Verkürzung der Trocknungszeiten wichtig, um die Produktionseffizienz zu verbessern. Es muss die Frage beantwortet werden, welche technische und technologische Anpassung der Geräte sowie Nachrüstung von Anlagen dazu beitragen kann.

Da die Anschaffungskosten von großen Trocknungsanlagen wie z.B. Container-2-Band-Trocknungsanlage von der ZweiZehn GmbH & Co. KG für jeden/-e einzelnen/-e Landwirt/-in zu hoch ist, stellt sich die Frage, ob es möglich wäre, kleine, individuelle Trocknungsanlagen dieser Art zu bauen, die jeder/-e Landwirt/-in sich leisten und betreiben kann.

Das pulverisierte Endprodukt könnte für weitere Extraktionsverfahren für CBD-Produktion viele prozesstechnische, lagertechnische und logistische Vorteile bringen. Die zu erforschende Fragestellung ist, wie kann diese Art der Weiterentwicklung der Prozessierung mit minimalem Verlust der CBDA- und CBD-Gehalte durch die mechanische Zerkleinerung und den Zellaufschluss, die die Pulverisierung begleiten, realisiert werden.

• Welche Möglichkeiten zur Umsetzung dieser weiterführenden Fragestellungen werden gesehen?

Die Umsetzung weiterführender Fragestellungen ist nur dann möglich, wenn die Gesetzeslage zu Gunsten der CBD-Hersteller und CBD-Vertreiber geändert wird.

16. Kommunikation- und Disseminationskonzept

• Wie erfolgte der Transfer der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis?



Alle im Laufe der Projektjahre gewonnenen Ergebnisse wurden in der Praxis eingesetzt, weiterentwickelt und optimiert. Der Transfer der Projektergebnisse in die Öffentlichkeit wurde mit Hilfe von Veranstaltungen (Workshops und Hoftagen), Fachartikeln (Zeitungsberichte, Jahresberichte o.Ä) und mittels Onlinepräsenz bzw. -kommunikation erreicht.

1) Veranstaltungen

Am 12.+13.05.2022 fand ein EIP-Workshop in Quakenbrück statt, woran die OG ADVZ teilnahm.

Am 20.06.2022 fand der Hoftag am Hof Adam in Püchersreuth statt. Hier waren SchülerInnen der 11. Klasse der Berufsschule Neustadt an der Waldnaab zum Workshop eingeladen.

Am 27.07.2022 fand auf dem Hof Adam und der ZweiZehn GmbH & Co. KG im Rahmen des EU-Projekts i2connect für die Teilnehmer des Seminars „Innovationen stützen und regionale Vernetzung fördern“ ein gemeinsamer Workshop statt, um den Innovationsprozess von der Ideenfindung bis zum aktuellen Stand zu analysieren und Modelle zur Begleitung von Innovationsideen und -projekten anzuwenden.

Am 10.02.2023 fand ein EIP-Ergebnis-Workshop in Püchersreuth statt.

Auf diesen Veranstaltungen wurden jeweils die Vorträge über die Ergebnisse gehalten. Näheres über folgende Links zu erfahren:

- <https://www.dil-ev.de/news/detailansicht/news/hanf-ergebnisworkshop-10022023-in-puechersreuth.html>
- <https://www.zwei-zehn.com/aktuelles/>

2) Fachartikel

Im Jahresbericht 2021/22 vom DIL e.V. wurde das Projekt vorgestellt.

Am 08.12.2021 gab es Posts bei LinkedIn und am 09.12.2021 bei Xing:

- <https://www.linkedin.com/posts/deutsches-institut-f%C3%BCr-lebensmitteltechnik-e-v-eipagri-cbd-hanf-activity-6874270495215243264-iwSx>

Am 28.01.2022 gab es Posts bei DIL-Homepage:

- https://www.dil-ev.de/fileadmin/user_upload/Eip-Agri-Layout/EIP-Agri-Projekte.pdf

Am 02.02.2023 wurde der Bericht in örtlicher Presse „Der neue Tag“ mit dem Titel: „Hanf aus der Oberpfalz – gefördert und gebremst zugleich“ veröffentlicht:

- <https://www.onetz.de/oberpfalz/kotzenbach-puechersreuth/hanf-oberpfalz-gefoerdert-gebremst-zugleich-id3928570.html>

Am 14.03.2023 wurde der Artikel im top Agrar mit dem Titel „Hanf als Betriebszweig: Praxisprojekt erarbeitet Verarbeitungsoptionen“ online publiziert:

- <https://www.topagrar.com/perspektiven/news/hanf-als-betriebszweig-trocknung-und-vermarktung-13330053.html>

3) Fortschrittsberichte und Abschlussbericht

Der Abschlussbericht und die drei Fortschrittsberichte wurden auf der Homepage der ZweiZehn GmbH & Co. KG veröffentlicht:

- <https://www.zwei-zehn.com/veroffentlichung-der-ergebnisse/>



17. Anhang

Keine Einträge