

## Anlage zum Zwischenbericht (Zeitraum: 08/2022-03/2023) 2. Fortschrittsbericht laut Arbeitsplan der OG

### 2.1 Kurzbeschreibung der Tatsächlichen Projektumsetzung und der im Berichtszeitraum erzielten Zwischenergebnisse

<b>Verzeichnis der verwendeten Symbolen und Abkürzungen</b> .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	3
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	3
<b>I. AP 1 Optimierung des Ernteproduktes und Etablierung der Referenz-Trocknung (M1-M29)</b> .....	4
AP1.2 Wiederholbarkeit der Hanftrocknung bei der ZweiZehn GmbH, Optimierung, Adaption (M15-M17; M27-M29) .....	4
Vor-/ Nachfeldanalysen.....	4
Hauptversuche 2022: Wiederholbarkeit der etablierten Verfahren, Optimierung, Adaption .....	7
<b>II. AP 2 Untersuchung verschiedener Trocknungsverfahren (M3-M29)</b> .....	9
AP2.2 Wiederholbarkeit etablierter Verfahren, Optimierung, Adaption (M15-M17; M27-M29) .....	9
Vorversuche 2022:.....	9
Hauptversuche 2022: Referenztrochnungen .....	13
<b>III. AP 3 Langzeitlagerung und Produkt-Evaluierung (M1-M36)</b> .....	16
Cannabinoid-Analytik.....	16
Cannabinoidanalytik - Erntejahr 2022 .....	16
Lagertest.....	19
<b>IV. AP 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (M34-M36)</b> .....	23
<b>V. AP 5 Projektkoordination, Projektmanagement, Projekttreffen und Öffentlichkeitsarbeit (M1-M36)</b>	
26	

## Verzeichnis der verwendeten Symbolen und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$a_w$ -Wert	Wasseraktivität	
$E$	Elektrische Feldstärke	kV/cm
$Mt$	Feuchtebelastung	
$MR$	Feuchtigkeitsverhältnis	
$Mt$	Moisture content	%
n	Probenanzahl	
Abkürzungen		
Abb.	Abbildung	
CBD	Cannabidiol	
CBDA	Cannabidiolsäure	
CBN	Cannabinol	
DIL	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.	
EP	Ernteprodukt	
EZ	Erntezyklus	
FS	Frischsubstanz	
LP	Lagerprodukt	
MiBi	Mikrobiologie	
MT	Mischertrockner	
PEF	Pulsed-Electric-Fields	
PP	Prozessprodukt	
SD	Standardabweichung	
Tab.	Tabelle	
THC	Delta-9- Tetrahydrocannabinol	
TS	Trockensubstanz	
vgl.	vergleiche	
wb	wet basis	
z. B.	zum Beispiel	
ZZ	ZweiZehn GmbH & Co. KG	

### Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vor-/ Nachfeldanalyse. Prozentueller Gesamtgehalt an CBDA und CBD in Abhängigkeit von der Vegetationszeit als arithmetische Summe. Die Fehlerbalken indizieren die Standardabweichung SD (n=2). ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor. ....5

Abb. 2: Vor/Nachfeldanalyse. Prozentueller Gesamtgehalt CBDA-, CBD-, THCA- und THC in Abhängigkeit von der Vegetationszeit. Die Fehlerbalken indizieren die Standardabweichung SD (n=2). ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor. ....6

Abb. 3:  $a_w$ -Werte in Abhängigkeit von der Trocknungszeit der Prozessprodukte (Fédora 17, Férimon und Futura 75) aus dem Bandtrockner von ZweiZehn GmbH & Co. KG. Beschriftung: Bezeichnung des Prozessproduktes bezüglich der Trennstufe: 0, 1, 2b, 3. ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor. ....8

Abb. 4: Anlieferung ganzer Handpflanzen, Trennung in seine Bestandteile zur Herstellung der EP13h "Handmix" in gleichbleibendem Verhältnis, sowie das maschinell geerntete EP13 .....9

Abb. 5: Im Vorversuch auf der Waage wurde der kleine Korb als Probengefäß verwendet..... 10

Abb. 6: Trocknungsverlust der Hanfproben EP13 und EP13h im Klimaschrank auf der Waage..... 11

Abb. 7: Anlagenzeichnung von Enwave und Behandlungszone (rotierende Trommel) ..... 11

Abb. 8: Vorversuche: Abnahme des  $a_w$  von EP13 während der Prozesslaufzeit im Radiofrequenztrockner12

Abb. 9: Im Hauptversuch wurden je 6 große Körbe als Probengefäß verwendet ..... 13

Abb. 10: Klimaschrank-Trocknung. Verlust des  $a_w$  von EP13h im Laufe der Trocknungszeit..... 13

Abb. 11: Hauptversuche: Abnahme des  $a_w$  von EP13 während der Prozesslaufzeit im Radiofrequenztrockner ..... 14

Abb. 12: Gefriertrocknungs-Laboranlage PMI317 von CHRIST ..... 15

Abb. 13: Gehalte und Anteil der Cannabinoide CBD, CBDA und 9-THC der untersuchten Ernteprodukte EP13 - EP15, sowie der getrockneten Prozessprodukte der ZweiZehn-Trocknung (incl. Trennstufe) und der DIL-Referenz-Trocknungen, Gehalte in der gefriergetrockneten Probe/% ..... 17

Abb. 14: Mikrobiologische Analysen-Ergebnisse der Lagerproben Erntejahr 2022. EP 13: Futura 75; EP 14: Férimon; EP 15: Fédora 17 .....20

Abb. 15: Cannabinoid-Ergebnisse der Lagerproben Erntejahr 2022. EP 13: Futura 75; EP 14: Férimon; EP 15: Fédora 17. Gehalte in der gefriergetrockneten Probe/%. Links: Gehalte getrennt aufgeführt; rechts: Werte aufsummiert.....22

Abb. 16: Zeitschriftartikel „Der neue Tag“ .....26

Abb. 17: Zeitschriftartikel in top Agrar online.....27

### Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vor/Nachfeld-Analysen des CBDA- und CBD, THC- und THCA-Gehalts .....5

Tab. 2:  $a_w$ -Werte der getrockneten Prozessprodukte .....7

Tab. 3: Feuchteanteile von EP13 und EP13 h .....9

Tab. 4: Feuchtwerte und  $a_w$ -Werte der EP13 und EP13h vor und nach der Trocknung ..... 10

Tab. 5: Vorversuch:  $a_w$ -Werte und Feuchten nach der Radiofrequenztrocknung ..... 12

Tab. 6: Hauptversuch:  $a_w$ -Werte und Feuchten nach der Radiofrequenztrocknung ..... 14

Tab. 7: Gefriertrocknung. Trocknungszeiten und resultierende Feuchten ..... 15

Tab. 8: Lagerprodukte im Lagertest 2022 ..... 19

Tab. 9: Gegenüberstellung der ZZ-Trocknung, Klimaschrank-Trocknung und Radiofrequenztrocknung .....23

## I. AP 1 Optimierung des Ernteproduktes und Etablierung der Referenz-Trocknung (M1-M29)

Leitung: ZweiZehn GmbH & Co. KG. (90 %)

Weitere Teilnehmer: DIL e.V. (5%); Landwirtschaft Gerhard Adam (5%)

### AP1.2 Wiederholbarkeit der Hanftrocknung bei der ZweiZehn GmbH, Optimierung, Adaption (M15-M17; M27-M29)

#### Jahr 3: 2022

#### **Vor-/ Nachfeldanalysen**

Zur Ermittlung des optimalen Erntezeitpunktes wurde in dem dritten Projektjahr die Vorfeldanalysen der Hanfpflanzensorten Futura 75, Fédora 17, Férimon durchgeführt. Die Proben wurden 3-mal vor der Ernte und 1-mal nach der Ernte analysiert.

Dabei ist wichtig, einen Zusammenhang zwischen der Cannabinoid-Konzentration und dem Reifegrad der besten Sorte für das Jahr 3 zu dokumentieren, um einen richtigen Erntezeitpunkt zu bestimmen.

Die Vorfeldanalysen wurden von dem Landwirtschaft Adam und der ZweiZehn GmbH & Co. KG durchgeführt. Dafür wurden die repräsentativen Proben des oberen Drittels der Pflanzen von Feld entnommen und mit einer Schere sowie mit einem mechanischen Handhäcksler zerkleinert. Danach wurden die Proben in einem Kräutertrockner bei 40°C für 14 Stunden getrocknet. Nach der Trocknung ( $a_w$ -Wert = ca. 0,6) wurde ca. 20 g von jeder Probe in einer Kaffeemühle zerkleinert, bis ein feines Pulver entsteht.

Der CBDA-, CBD-, THC- und THCA-Gehalt der Hanfpflanzen wurde vor jeglicher Prozessierung der entsprechenden Ernte mit Hilfe der Knauer HPLC-Anlage (Cannabis Profiler) mit UV/VIS Detektor bei 220 nm / 306 nm analysiert. Dabei wurden 100 mg Hanfpulver in einem 15 ml Zentrifugenröhrchen eingewogen und 10 ml Methanol zugegeben. Danach wurden die Proben 15 min lang bei 50 °C im Ultraschallbad mit Schütteln nach 5, 10 und 15 min extrahiert. Anschließend 30 min für weitere Extraktion in Ruhe gelassen. Mittels einer Einwegspritze wurden ca. 1,5 ml von dem Extrakt über einen 0,45 µm Membranfilter (Cellulose) in einen HPLC-Probenvial filtriert. Die Probenvorbereitung und die Parameter der HPLC-Messung befinden sich in der Anlage 1. Die Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden dokumentiert.

Die Ergebnisse der HPLC-Analyse sind in der Tab. 1 zusammengefasst:

Tab. 1: Vor/Nachfeld-Analysen des CBDA- und CBD, THC- und THCA-Gehalts

	Sorte	Datum	Vegetationszeit [Tag]	Wetter	CBDA [%]	CBD [%]	CBDA+CBD [%]	THC [%]	THCA [%]	THC+THCA [%]
Vorfeld	Fedora17	18.08.2022	91	sonnig, 24 °C, Luftfeuchtigkeit 44 %	1,07	0,01	1,08	0,01	0,05	0,06
	Ferimon				0,98	0,00	0,98	0,00	0,05	0,05
	Futura 75				1,75	0,02	1,77	0,01	0,07	0,08
	Fedora17	05.09.2022	109	sonnig, 25 °C, Luftfeuchtigkeit 50 %	0,97	0,01	0,98	0,00	0,04	0,04
	Ferimon				1,06	0,02	1,08	0,00	0,05	0,05
	Futura 75				1,75	0,01	1,76	0,01	0,06	0,07
	Fedora17	12.09.2022	116	sonnig 20 °C, Luftfeuchtigkeit 60 %	1,34	0,05	1,39	0,01	0,05	0,06
	Ferimon				1,02	0,02	1,04	0,01	0,04	0,05
	Futura 75				1,57	0,01	1,58	0,01	0,06	0,07
Ente	Fedora17	28.09.2022	132	überwiegend bewölkt, kurz vor Ernte Regen, 13° C, Luftfeuchtigkeit 74 %	1,30	0,06	1,36	0,01	0,05	0,06
	Ferimon	27.09.2022	131	regnerisch (leicht bis mittel), 8° C, Luftfeuchtigkeit 92 %	0,90	0,07	0,97	0,01	0,04	0,05
	Futura 75	25.09.2022	129	teilweise bewölkt bis sonnig, 15° C, Luftfeuchtigkeit 72 %	3,19	0,07	3,26	0,01	0,12	0,13
Nachfeld	Fedora17	17.10.2022	151	sonnig 20 °C, Luftfeuchtigkeit 75 %	1,22	0,06	1,28	0,02	0,05	0,07
	Ferimon				1,24	0,10	1,34	0,01	0,05	0,07
	Futura 75				1,92	0,10	2,02	0,02	0,07	0,09

\*ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor

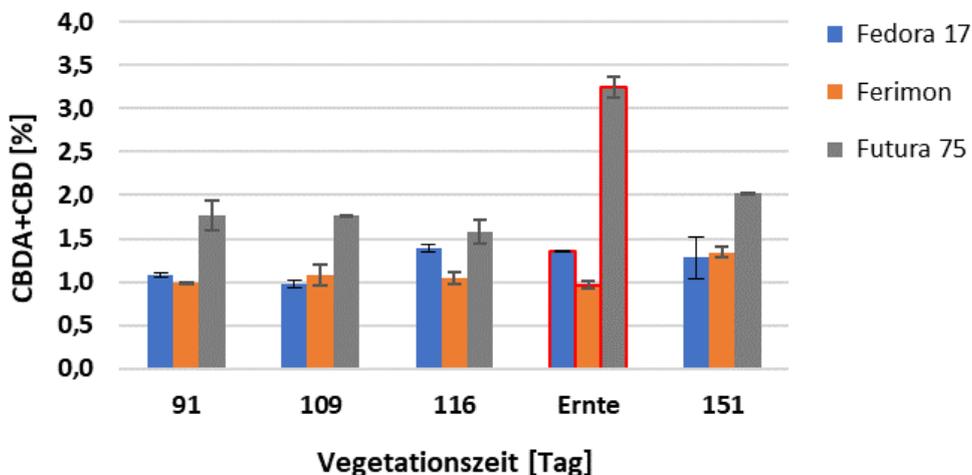
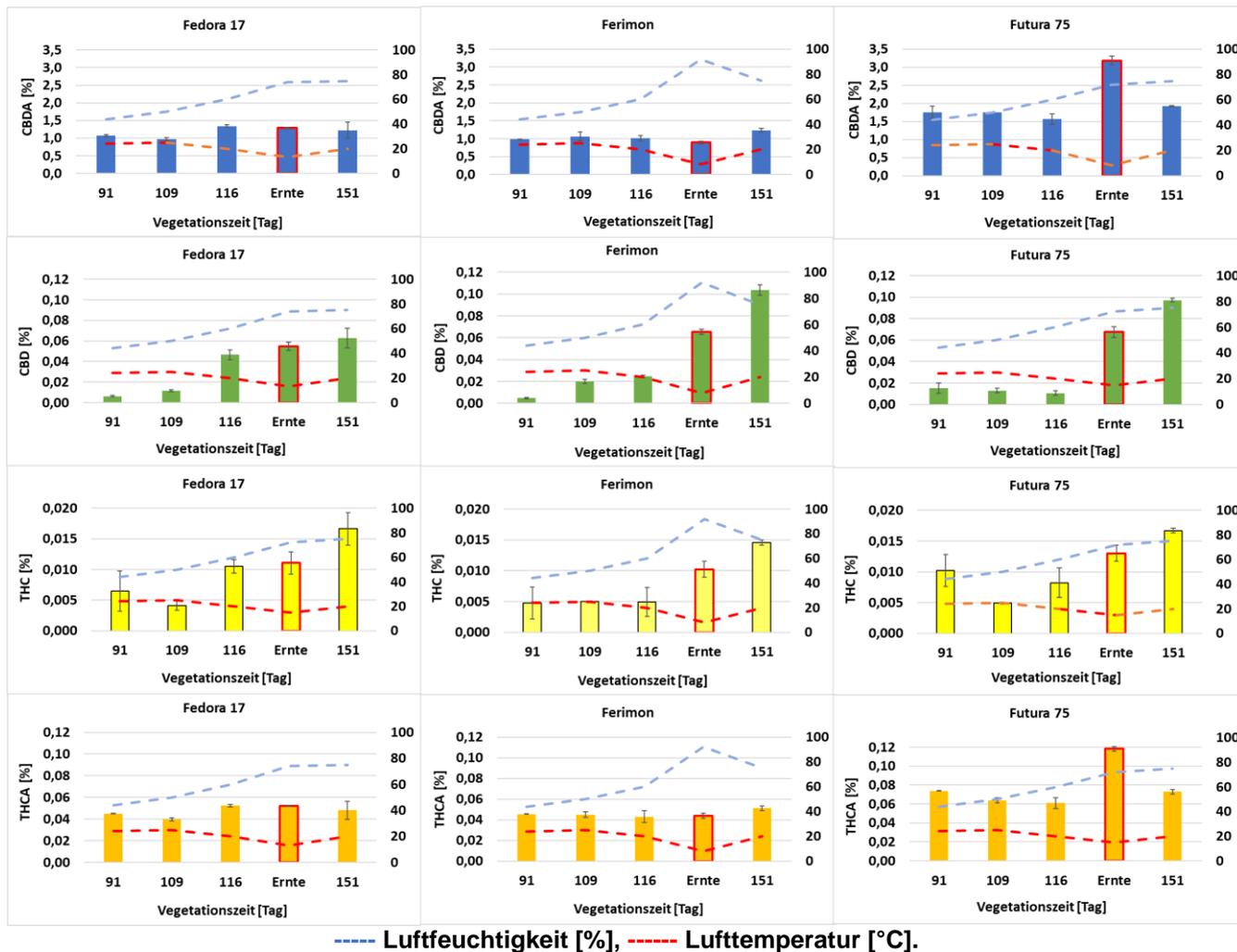


Abb. 1: Vor-/ Nachfeldanalyse. Prozentueller Gesamtgehalt an CBDA und CBD in Abhängigkeit von der Vegetationszeit als arithmetische Summe. Die Fehlerbalken indizieren die Standardabweichung SD (n=2). ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor.

Die Vorfeldanalysen zeigen, dass die höchsten CBDA+CBD-Gehalte nach 129ten Vegetationstag erreicht wurden. Solche Sorten wie Fédora 17 und Férimon unterlegen der Sorte Futura 75. Allerdings haben die genannten Sorten keinen so einen großen Abstieg des CBDA+CBD-Gehalts in der Nachfeldanalyse. Es ist davon auszugehen, dass der Erntezeitraum für alle Sorten zwischen 120ten und 140ten Tag liegt.



**Abb. 2: Vor/Nachfeldanalyse. Prozentueller Gesamtgehalt CBDA-, CBD-, THCA- und THC in Abhängigkeit von der Vegetationszeit. Die Fehlerbalken indizieren die Standardabweichung SD (n=2). ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor.**

Aus der Abb. 2 ist Folgendes zu entnehmen. Ab der Erntezeit, entspricht 129-132 Tagen, erhöht sich der CBDA-Gehalt. Dabei bilden die Pflanzen aller Sorten bereits in diesem Zeitraum mehr CBD und THC. Dieser Trend bleibt weiter in der Nachfeldanalyse bestehen und kann mit dem Alterungsprozess der Pflanzen begründet werden. Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur auf die Cannabinoidbildung bezüglich der durchgeführten Analysen ist nicht signifikant. Den großen Einfluss haben die folgenden Faktoren wie Sorte und Vegetationszeit.

## Hauptversuche 2022: Wiederholbarkeit der etablierten Verfahren, Optimierung, Adaption

Für eine optimale Lagerung der Produkte ist eine Kontrolle der enthaltenen Feuchtigkeit bzw. der Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert) erforderlich. Für die Haltbarkeit von Lebensmitteln ist nicht nur der reine Wassergehalt von Bedeutung, sondern auch das im Substrat gebundene Wasser. Dieses kann mit dem  $a_w$ -Wert analysiert werden.

Das Ziel im dritten Projektjahr ist die beste Prozesseinstellungen der Bandrockner von ZweiZehn GmbH & Co. KG für die Sorte Futura aus dem Jahr 1 und 2 auf die am wenigsten für die CBD-Produktion geeigneten Hanfsorten wie Fédora 17 und Férimon zu adaptieren. Es ist wichtig das Produkt so weit zu trocknen, dass das Wachstum von Mikroorganismen eingeschränkt wird und gleichzeitig der Cannabinoidgehalt erhalten bleibt.

Die Messung des  $a_w$ -Wertes erfolgt mit Hilfe von einem vollautomatischen AQUALAB 4TE Water Activity Meter. Dabei werden die Proben der Stufe 1 mit einer Präzisionswaage (KERN- Analysenwaage AEJ 200-4NM) auf  $0,8 \pm 0,0020$  g sowie die Proben der Stufe 2b und 3 auf  $0,4 \pm 0,0050$  g eingewogen, die Hanfproben Stufe 0 ohne Einwaage auf einer Petrischale gleichmäßig verteilt und bis es einen stabilen Wert erreicht wird, gemessen. Der  $a_w$ -Wert wird als arithmetischer Mittelwert einer Doppelbestimmung angegeben. Hierfür wurde ein  $a_w$ -Wert von 0,6 angestrebt.

Die Trocknung wurde 24 Stunden bei 40 °C für alle drei Hanfsorten (Fédora 17, Férimon und Futura 75) durchgeführt.

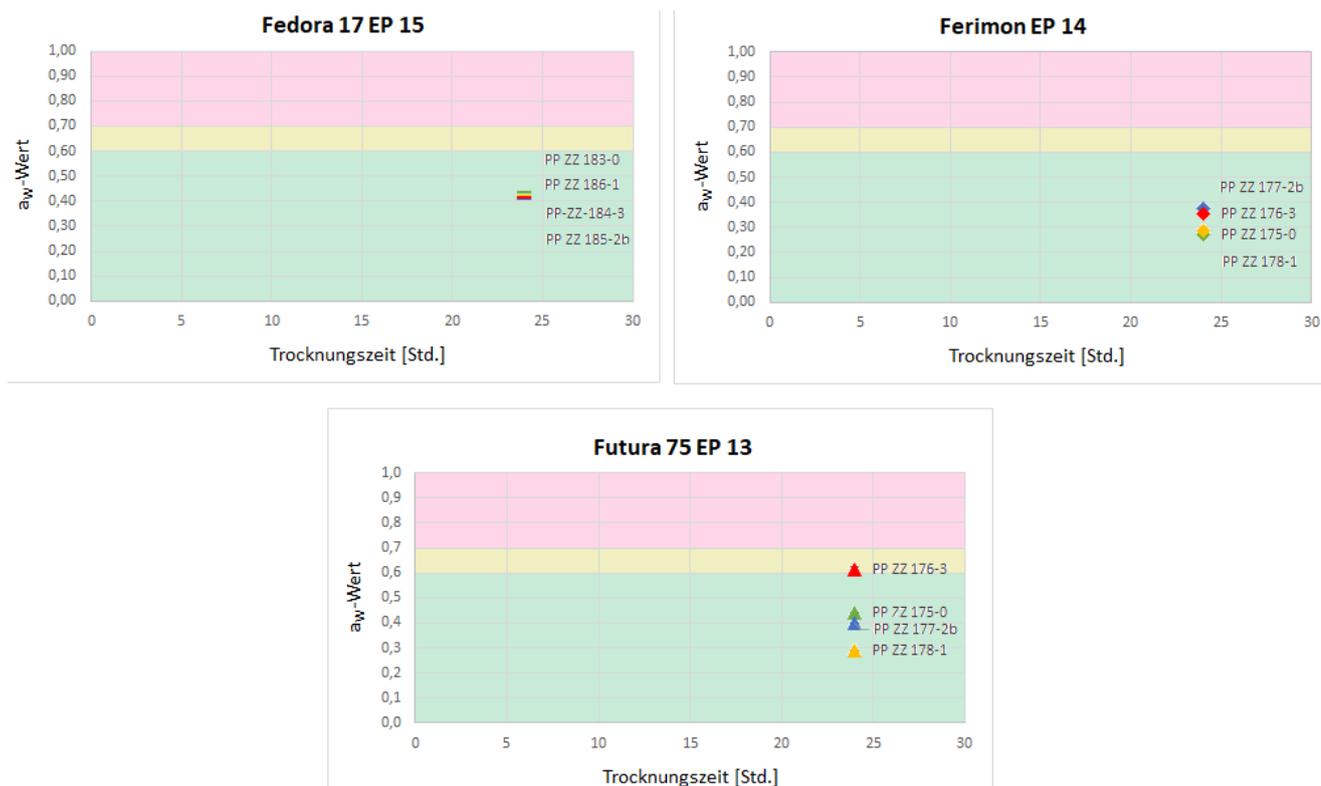
### Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der Tab. 2 aufgelistet. Die grafische Darstellung ist in der Abb. 3 zu sehen.

**Tab. 2:  $a_w$ -Werte der getrockneten Prozessprodukte**

Datum	Sorte	Probe	$a_w$ -Wert	SD (n=2)	
27.09.2022	Fedora 17	PP ZZ 183-0	0,42	± 0,011	
28.09.2022		PP ZZ 186-1	0,43	± 0,002	
29.09.2022		EP 15	PP ZZ 185-2b	0,41	± 0,001
30.09.2022		PP-ZZ-184-3	0,41	± 0,003	
26.09.2022	Ferimon	PP ZZ 179-0	0,27	± 0,009	
26.09.2022		PP ZZ 182-1	0,29	± 0,001	
26.09.2022		EP 14	PP ZZ 181-2b	0,38	± 0,001
26.09.2022		PP ZZ 180-3	0,35	± 0,006	
25.09.2022	Futura 75	PP ZZ 175-0	0,44	± 0,000	
25.09.2022		PP ZZ 178-1	0,29	± 0,001	
25.09.2022		EP 13	PP ZZ 177-2b	0,40	± 0,000
25.09.2022		PP ZZ 176-3	0,62	± 0,010	

\*ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor.



**Abb. 3:  $a_w$ -Werte in Abhängigkeit von der Trocknungszeit der Prozessprodukte (Fédora 17, Férimon und Futura 75) aus dem Bandtrockner von ZweiZehn GmbH & Co. KG. Beschriftung: Bezeichnung des Prozessproduktes bezüglich der Trennstufe: 0, 1, 2b, 3. ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor.**

Angesicht der Ergebnisse der Trocknung im dritten Projektjahr sind die Prozessparameter, die bereits für die beste Sorte Futura 75 in den vorherigen zwei Jahren optimiert wurden, für die anderen Sorten wie Fédora 17 und Férimon geeignet. Wie in der Abb. 3 zu sehen ist, liegen die  $a_w$ -Werte bei allen Proben im grünen Bereich. Aufgrund dessen, dass die  $a_w$ -Werte von solchen Sorten wie Fédora 17 und Férimon nach 24 Stunden Trocknungszeit bei 40 °C großteils unter 0,4 liegen, muss eine Möglichkeit der Trocknungszeitverkürzung für diese Sorten in Betracht gezogen werden.

## II. AP 2 Untersuchung verschiedener Trocknungsverfahren (M3-M29)

Leitung: DIL e.V. (90 %)

Weitere Teilnehmer: ZweiZehn GmbH & Co. KG. (5%); Landwirtschaft Gerhard Adam (5%)

### AP2.2 Wiederholbarkeit etablierter Verfahren, Optimierung, Adaption (M15-M17; M27-M29)

#### Jahr 3: 2022

Während im dritten Erntejahr in AP1 eine Wiederholung mit bester Hanfsorte, und Vergleich mit schwächeren Sorten erfolgte, wurden in AP2 weitere Trocknungstechnologien untersucht, um die Wirtschaftlichkeit der ZweiZehn-Trocknung zu vergleichen. Die Versuche wurden ausschließlich mit Futura 75 gemacht. Sowohl das maschinell geerntete Häckselgut (EP 13 Stufe 0), als auch ganze Hanfpflanzen, selbst verarbeitet zu EP13h („Handmix“), wurden mit der Referenz Trocknung Klimaschrank, mit der sehr schonenden Gefriertrocknung, beides im Labormaßstab, und mit einer etwas wirtschaftlicheren Radiofrequenz Trocknung im Technikums-Maßstab getrocknet und folglich in AP3 untersucht.

#### Vorversuche 2022:

Abb. 4 zeigt die Vorstufen zum EP13h „Handmix“, sowie das maschinell geerntete EP13.



Abb. 4: Anlieferung ganzer Handpflanzen, Trennung in seine Bestandteile zur Herstellung der EP13h "Handmix" in gleichbleibendem Verhältnis, sowie das maschinell geerntete EP13

Tab. 3: Feuchteanteile von EP13 und EP13 h

eingesetzte Ernteprodukte:		Feuchteanteil /% (wb)		
			(Gefriertrocknung)	(Trockenschrank/Seesand-Methode)
	<b>EP13 h</b>	MW	68,24	66,15
13,49%	Blüten + Blätter	STABW	1,23	1,77
86,51%	Stiele			
	<b>sowie EP13</b>	MW	38,82	69,20
		STABW	11,60	0,14

## 1. Klimaschrank-Trocknung (BINDER 40 °C 30% r. F.)

Im 2. Erntejahr war die Feuchtigkeit im Trocknungsprozess bei 40 °C an der Innenwand des Trockenschrankes kondensiert. Sie konnte nicht in ausreichender Menge von der Abluft abtransportiert werden. Daher wurde im 3. Erntejahr auf einen Klimaschrank zurückgegriffen, der auch die Luftfeuchtigkeit regeln kann. So kann auch besser mit der ZweiZehn-Trocknung verglichen werden, die ebenfalls einen Entfeuchter eingebaut hat und die Luftfeuchtigkeit auf 30 % eingestellt ist.

Um einen Richtwert zu haben, wie lange eine Trocknung mit FeuchteEinstellung dauern wird, und damit der Trocknungsprozess nicht durch ständiges Öffnen der Tür zur Probenahme unterbrochen wird, wurde eine Probe von 100 g EP13h (Futura 75 Handmix, 13,5 % Blüten+Blätter+Samen; 86,5 % Stiele), bzw. EP13 auf einer Waage platziert, welche alle 5 min die Masse der Hanfprobe bestimmte. Die Waage im Klimaschrank war eingehaust durch ein Pappgestell, um die Luftzirkulation zu unterbrechen, damit die Waage richtig misst.

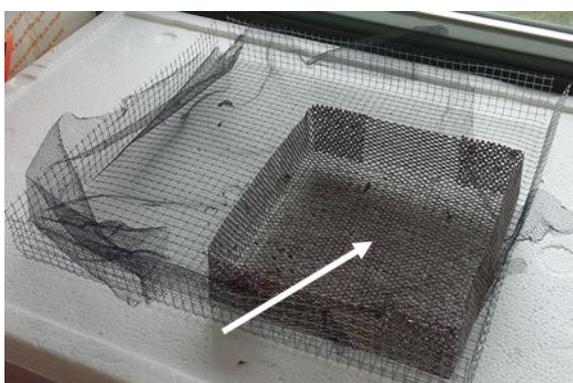
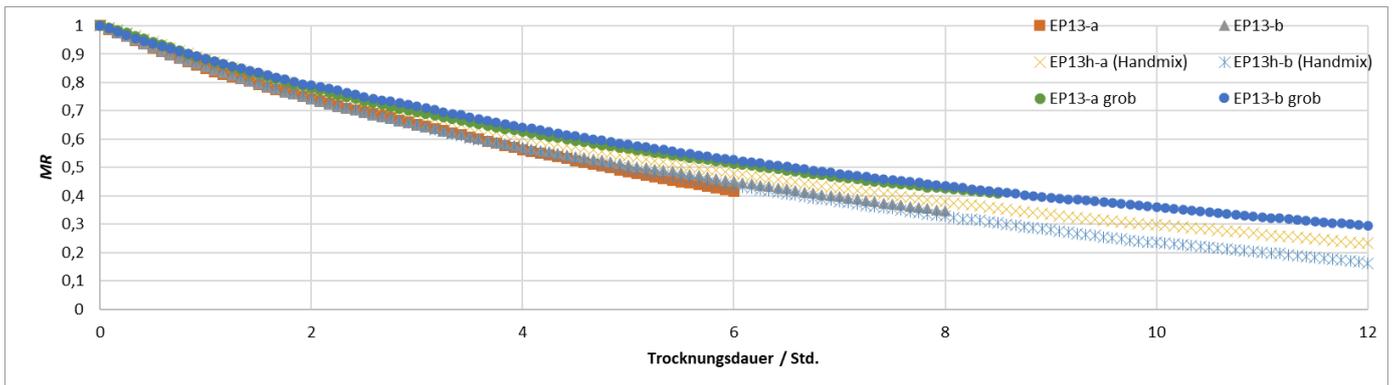


Abb. 5: Im Vorversuch auf der Waage wurde der kleine Korb als Probengefäß verwendet

Tab. 4 und Abb. 6 zeigen die Trocknungsverluste und resultierende  $a_w$ -Werte der Proben EP13 und EP13h in Mehrfachbestimmung.

Tab. 4: Feuchtwerte und  $a_w$ -Werte der EP13 und EP13h vor und nach der Trocknung

vor Trocknung						nach Trocknung					
eingesetztes Ernteprodukt	Probenbezeichnung	Feuchte [%]	Mittelwert [%]	STABW	$a_w$	Trocknungs-dauer / Std.	resultierendes Prozessprodukt	Feuchte [%]	Mittelwert [%]	STABW	$a_w$
EP 13 a Futura 75-a maschinell vor Trocknung	EP13-a	68,48	67,12	1,22	1,00	6	PP-K-8-a	31,27	32,45	3,27	0,78
		66,15						29,94			
		66,73						36,15			
EP 13 b Futura 75-b maschinell vor Trocknung	EP13-b	70,91	68,86	1,78	1,00	8	PP-K-8-b	34,94	35,44	0,98	0,97
		68,03						34,81			
		67,66						36,57			
EP 13 h-a Futura Handmix vor Trocknung-a	EP13h-a	67,06	64,18	2,55	1,00	12	PP-K-7-a	28,01	28,44	1,18	0,94
		62,20						27,53			
		63,29						29,77			
EP 13 h-b Futura Handmix vor Trocknung-b	EP13h-b	57,52	60,88	3,12	1,00	12	PP-K-7-b	15,64	16,96	1,14	0,83
		61,44						17,57			
		63,69						17,66			
EP Futura 75-a grob maschinell gehäckselt	EP13-a grob	70,16	68,71	1,84	1,00	8,50	EP Futura 75-a grob maschinell gehäckselt	50,49	47,29	4,66	1,0
		66,64						41,94			
		69,34						49,44			
EP Futura 75-b grob maschinell gehäckselt	EP13-b grob	70,73	71,03	1,49	1,00	12,00	EP Futura 75-b grob maschinell gehäckselt	51,97	41,76	11,64	0,96
		72,65						44,23			
		69,71						29,09			



**Abb. 6: Trocknungsverlust der Hanfproben EP13 und EP13h im Klimaschrank auf der Waage**

Die  $a_w$ -Werte lagen am Ende zwischen 0,78 und 1,0. Sowohl an den Feuchten als auch an den End- $a_w$ -Werten ist ersichtlich, dass die Trocknungszeit von bis zu 12 Std. nicht ausreichend war. Durch die Pappeinhausung war der Luftaustausch eingeschränkt.

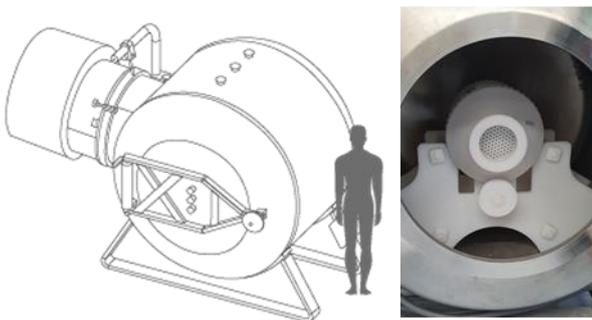
Das Probengefäß (vgl. Abb. 5) war zu klein (Grundfläche), sodass die Probe nicht flach ausgebreitet werden konnte. Am Ende war die Schüttung außen „knusprig“ trocken, innen noch feucht.

Im Hauptversuch wird die Pappeinhausung entfernt und es werden größere Probengefäße genutzt.

## 2. Radiofrequenztrocksung

Verwendet wurde ausschließlich Futura75 EP13. Als Anlage stand ein trommelbasierter Radiofrequenz (RF)-Trockner (Enwave NUTRAREV®; 10 kW) 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 Leistung war ~4,4 W, der Unterdruck ~30 Torr. Die Temperatur stieg von ca. 30 °C zu Beginn auf ca. 50 °C am Ende.



**Abb. 7: Anlagenzeichnung von Enwave und Behandlungszone (rotierende Trommel)**

Zunächst sollte getestet werden, welche Feuchten /  $a_w$ -Werte erreichbar sind in welcher Zeit, ohne Produkt zu verschwenden, da immer mind. 4 kg Beladung in die Anlage musste.

Daher wurden 4 kg EP13 eingeladen, der Prozess gestartet, unterbrochen und weiterlaufen gelassen bis zum nächsten Zeitpunkt. So ergaben sich zwei Durchgänge als Vorversuch.

Im ersten Durchgang wurde der Prozess bei 15 min, 30 min und 39 min abgebrochen. Die zweite Charge wurde bei 20 min und 35 min gestoppt. Abb. 8 zeigt den  $a_w$ -Wert-Verlauf der Produkte zu unterschiedlichen Zeitpunkten. In

Tab. 5 sind zusätzlich gemessene Produktfeuchten aufgeführt.

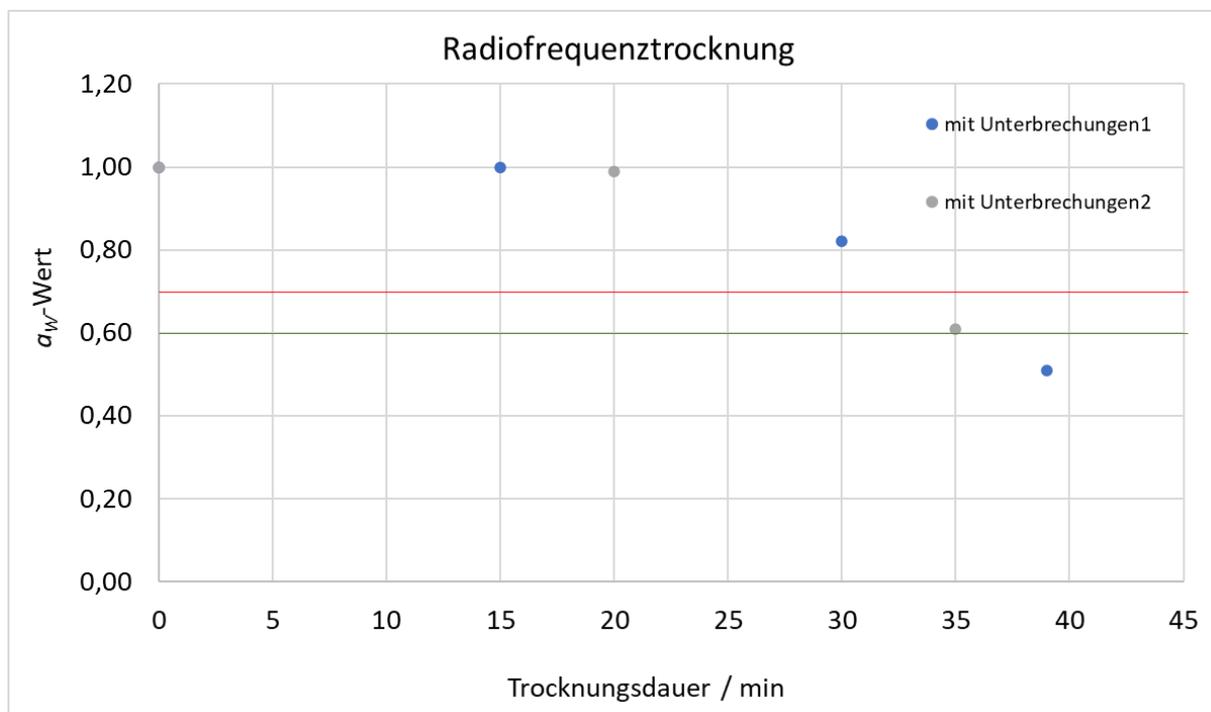


Abb. 8: Vorversuche: Abnahme des  $a_w$  von EP13 während der Prozesslaufzeit im Radiofrequenz Trockner

Tab. 5: Vorversuch:  $a_w$ -Werte und Feuchten nach der Radiofrequenz Trocknung

Trocknungszeit /min	$a_w$	Probenbezeichnung	Feuchte /% (bei ELEA gemessen)	
<b>Enwarp Ausgang</b>	<b>1,00</b>			
<b>0</b>	<b>1,00</b>			
<b>15</b>	<b>1,00</b>	PP-RF-1	52,48	50,6
<b>30</b>	<b>0,82</b>	PP-RF-3	22,89	21,05
<b>39</b>	<b>0,51</b>	PP-RF-5	9,6	8,78
<b>*Endpunkt-Temperatur nach 39 min: ca. 55 °C; Beginn ca. 30 °C</b>				
<b>20</b>	<b>0,99</b>	PP-RF-2	42,77	43,64
<b>35</b>	<b>0,61</b>	PP-RF-4	12,41	14,18

Der  $a_w$ -Wert beginnt ab 20 min. Trocknungszeit abzunehmen. Nach 35 min nähert man sich an dem angestrebten  $a_w$  von 0,6. 35-40 min Trocknungszeit scheinen ausreichend zu sein.

In diesem Bereich werden die Hauptversuche durchgeführt.

## Hauptversuche 2022: Referenztrocknungen

### 1. Klimaschrank-Trocknung (BINDER 40 °C 30% r. F.)

Im Hauptversuch wurde das Ernteprodukt EP13h eingesetzt. Waage und Pappereinhausung wurden entfernt, die Proben wurden in größere Probengefäße platziert. Je 100 g EP13h (Futura 75 Handmix) wurden in vergleichbarem Verhältnis (13,5 % Blüten+Blätter+Samen; 86,5 % Stiele), auf 6 größere Probengefäße (vgl. Abb. 9) flach verteilt und im Klimaschrank platziert.

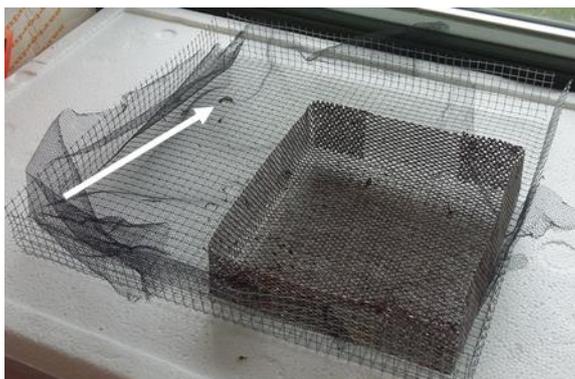


Abb. 9: Im Hauptversuch wurden je 6 große Körbe als Probengefäß verwendet

Nach 1, 2, 4, 6, 8, und 24 Std. wurde je eine Probe entnommen und auf  $a_w$  und Cannabinoide hin untersucht. Abb. 10 zeigt die Reduktion des  $a_w$ -Wertes infolge der Trocknung.

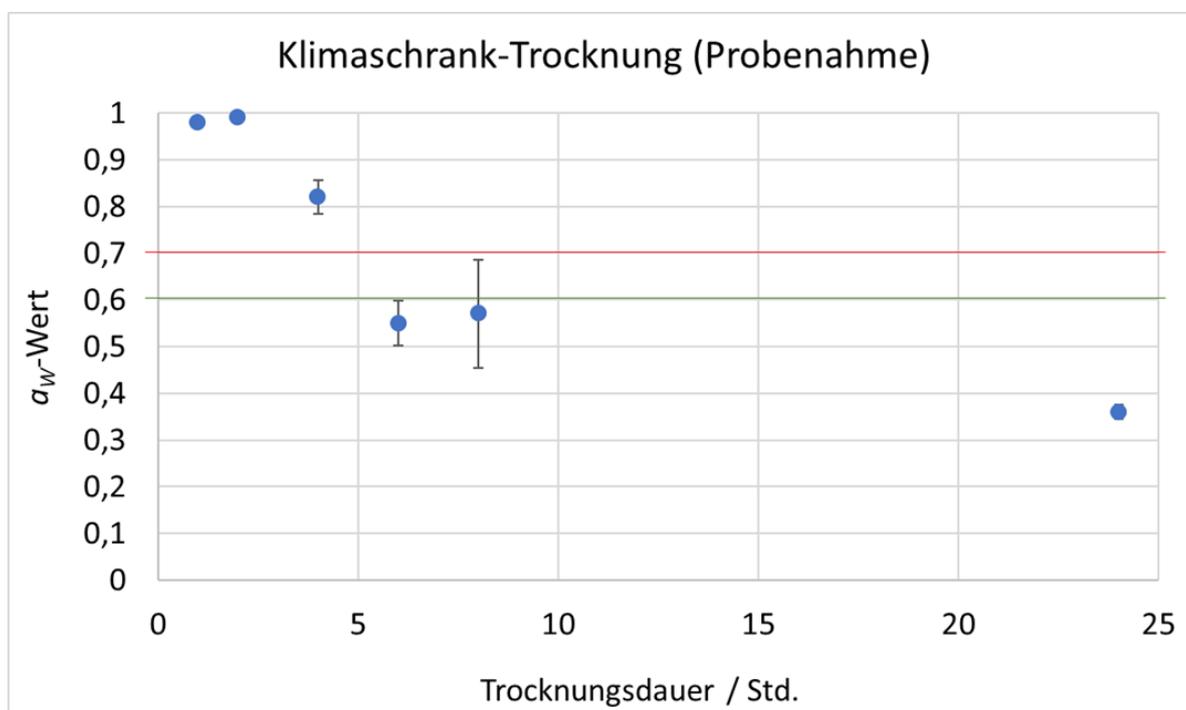


Abb. 10: Klimaschrank-Trocknung. Verlust des  $a_w$  von EP13h im Laufe der Trocknungszeit

Durch die Verwendung größerer Probengefäße konnten die Proben flacher ausgebreitet werden. Die Trocknungszeit war nach bereits 6 Std. ausreichend, um den angestrebten  $a_w$ -Wert von ca. 0,6 zu erreichen.

## 2. Radiofrequenztrocknung

Im Hauptversuch wurden pro Prozessprodukt 4 kg frisches Ernteprodukt EP13 in die Behandlungskammer gefüllt und jeder Zyklus vollständig ohne Unterbrechungen bis zur Zielzeit laufen gelassen.

So waren die Behandlungszeiten 25 min bis 45 min in 5-Minuten-Schritten. Abb. 11 und Tab. 6 stellen die Ergebnisse der  $a_w$ -Wert- und Feuchtemessung dar.

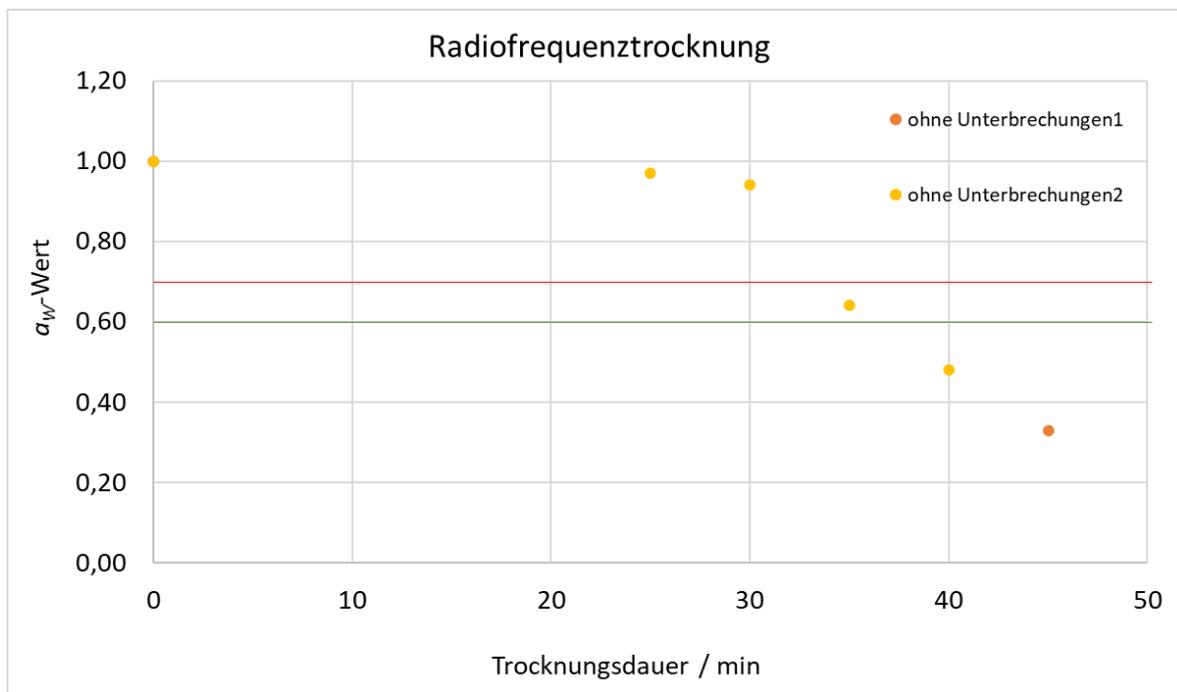


Abb. 11: Hauptversuche: Abnahme des  $a_w$  von EP13 während der Prozesslaufzeit im Radiofrequenztrockner

Tab. 6: Hauptversuch:  $a_w$ -Werte und Feuchten nach der Radiofrequenztrocknung

Trocknungszeit /min	$a_w$	Probenbezeichnung	Feuchte /% (Moisture Analyzer)	
<b>Enwarp Ausgang</b>				
0	1,00			
25	0,97	PP-RF-7	42,99	42,74
30	0,94	PP-RF-8	29,88	30,28
35	0,64	PP-RF-9	8,89	10,97
40	0,48	PP-RF-10	6,94	7,02
45	0,33	PP-RF-6	5,82	5,37

Wie in den Vorversuchen ist erkennbar, dass im Bereich von 35min - 40 min der angestrebte Ziel- $a_w$ -Wert von 0,55-0,65 erreicht werden kann.

### 3. Gefriertrocknung

Als nicht wirtschaftliche, aber schonende Trocknungsmethode wurde zum Vergleich die Gefriertrocknungs-Laboranlage PMI317 von CHRIST (Abb. 12) eingesetzt.



**Abb. 12: Gefriertrocknungs-Laboranlage PMI317 von CHRIST**

Getrocknet wurden EP13 und EP13h. Trocknungszeiten waren 16, 24, 48 und 72 Stunden. (vgl. Tab. 7).

**Tab. 7: Gefriertrocknung. Trocknungszeiten und resultierende Feuchten**

Probenbezeichnung (PP=Prozessprodukt)	EP	Trocknungszeitpunkt / Std.	Feuchteanteil /%		Restfeuchteanteil
			(Gefriertrocknung)	(Trockenschrank/Seesand-Methode)	%
PP-G-1	EP 13	16	66,35	66,35	5,78
PP-G-2		24	66,79	66,79	6,28
PP-G-3		48	68,01	68,01	6,21
PP-G-4		72	66,32	66,32	6,27
PP-G-5	EP13h	16	71,95	71,95	5,97
PP-G-6		24	68,18	68,18	5,18
PP-G-7		48	70,16	70,16	2,53
PP-G-8		72	69,52	69,52	2,14

Die Proben zeigten bereits nach 16 h keinen Feuchteverlust mehr. Eine verlängerte Trocknungszeit geht zulasten der Cannabinoide.

Die Ergebnisse der Cannabinoidanalytik zeigten unabhängig der Trocknungszeit schwankende, nicht plausible Werte, daher wurde der Trocknungsdurchgang wiederholt. Es wurde in dem Wiederholungsversuch sehr darauf geachtet, bei der Probenahme möglichst exakt und gleichmäßig zu arbeiten. Es wurde mehr Masse eingewogen, um Schwankungen zu minimieren. In folgendem Kapitel sind die Werte der Cannabinoide in den getrockneten Proben vom Wiederholungsversuch dargestellt.

### III. AP 3 Langzeitlagerung und Produkt-Evaluierung (M1-M36)

Leitung: DIL e.V. (70 %)

Weitere Teilnehmer: ZweiZehn GmbH & Co. KG. (25%), Volksbank Raiffeisenbank (5 %)

#### Cannabinoid-Analytik

#### Cannabinoidanalytik - Erntejahr 2022

Die Ernteprodukte EP13 – Futura 75, EP14 – Férimon, EP15 – Fédora 17, EP13h - Futura 75 („Handmix“), sowie Prozessprodukte von der ZweiZehn (ZZ)-Trocknung und den Referenztrocknungen des DIL wurden auf die Cannabinoidzusammensetzung untersucht.

Von der ZZ-Trocknung wurden die Trennstufen 0 (ungesiebt), 3 (große Blätter), 2b (Blätter und Hülsen) und 1 (Hanfmehl) analysiert. Die Ergebnisse sind in

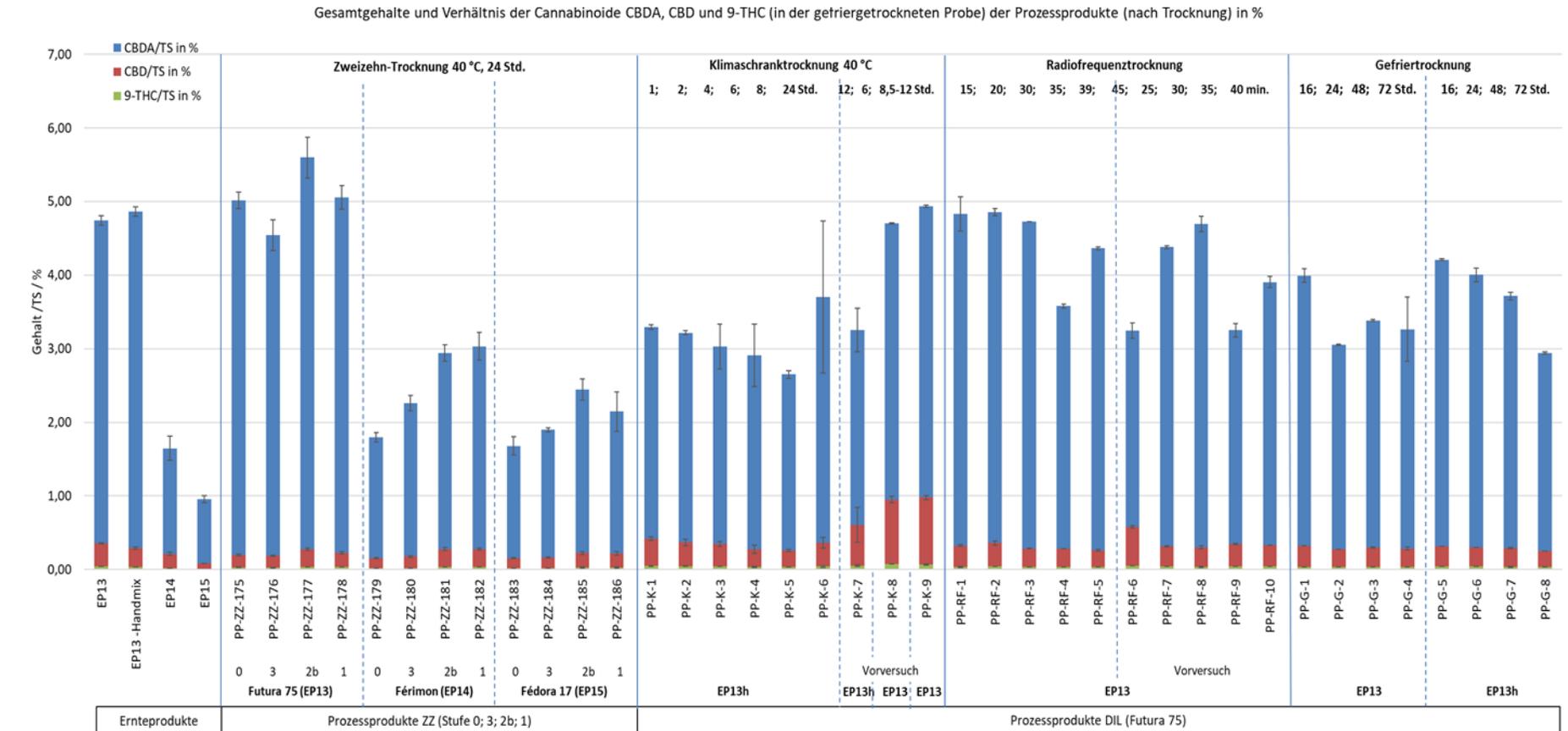
Abb. 13 dargestellt. Die Versuche mit Klimaschrank-, Radiofrequenz- und Gefriertrocknung wurden ausschließlich mit Futura 75 (teils maschinell geerntet EP13, teils standardisiert hergestellt als „Handmix“ EP13h) durchgeführt.

Es ist zu erkennen, dass Futura 75 (EP13 und EP13h) mehr als doppelt so hohe CBDA-Gehalte besitzt. Der „Handmix“ hat hier geringfügig höhere Werte, was zurückzuführen sein könnte darauf, dass die gelieferten Hanfpflanzen evtl. weniger Stielanteil hatten, als das Häckselgut der maschinellen Ernte und so die Blatt-Blüten-Anteil höher war.

Bei der ZweiZehn waren die besten Summen aus CBDA+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 liegt der 9-THC-Wert unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenze. Die Höchstwerte betragen 0,07 % bei Trocknung von EP13 (maschinell geerntet; PP-K-8; -9) in der Klimaschranktrocknung auf der Waage. Hier sind auch die höchsten Umsetzungsraten von CBDA zu CBD zu verzeichnen. Man bedenke aber auch, dass diese Proben nicht vollständig getrocknet waren und der  $a_w$ -Wert bei Trocknungsabbruch zwischen 0,78 und 1,0 lag. Die Begründungen sind im Kapitel Vorversuche nachzulesen. Diese drei Proben sind also nicht wirklich vergleichbar behandelt.

In diesem Fall kann man davon ausgehen, dass die unvollständige Trocknung zu höheren Werten führt, was man auch daran erkennt, dass die Werte eher den Ernteprodukten gleichen als die der anderen Prozessprodukte in diesem Erntejahr. Die Proben PP-KK-1 bis -6 hingegen sind im Klimaschrank gleichmäßiger getrocknet. Hier ist die Umsetzungsraten auch geringer. Die Proben zeigen bei 1-6 Stunden Trocknungszeit abfallende CBDA+CBD Gehalte. In der Probe nach 24 Std. Trocknung sind 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.



**Abb. 13: Gehalte und Anteil der Cannabinoide CBD, CBDA und 9-THC der untersuchten Ernteprodukte EP13 - EP15, sowie der getrockneten Prozessprodukte der ZweiZehn-Trocknung (incl. Trennstufe) und der DIL-Referenz-Trocknungen, Gehalte in der gefriergetrockneten Probe/%**

Bei der Radiofrequenztrocknung entstehen, keine großen Unterschiede in den Gehalten von CBD, CBDA und 9-THC bei unterschiedlicher Behandlungszeit. Im ersten Trocknungsdurchgang wurde der Prozess bei 15 min, 30 min und 39 min (PP-RF-1; -3; -5) abgebrochen. Die zweite Charge wurde bei 20 min und 35 min (PP-RF-2; -4) gestoppt. PP-RF-6 bis -10 waren Trocknungsdurchgänge ohne Unterbrechung. Auffällig ist hier die PP-RF-6, welche 45 min in einem Durchgang trocknete. Die Umsetzung von CBDA zu CBD ist deutlich angestiegen, sodass geschlussfolgert werden kann, dass mittels Radiofrequenztrocknung, wie hier aufgebaut, bei Hanf im Bereich von 35 min Trocknungszeit und länger ein ausreichend niedriger  $a_w$ -Wert erzielt wird, aber die unerwünschte Cannabinoidumsetzung bei 45 min ansteigt. Optimale Behandlungszeit ist also 35 min – 40 min.

Die Ergebnisse der Gefriertrocknung zeigt eine Tendenz des CBDA-Abfalls im Laufe der Trocknungszeit. Insbesondere bei den Proben von EP13 h ist dies erkennbar. Die Summe der Cannabinoide ist in den Prozessprodukten von EP13h ist hier auch wieder höher als die der Prozessprodukte von EP13, wie auch schon bei den Ernteprodukten ersichtlich. Möchte man die Trocknungsmethode mit der ZZ-Trocknung vergleichen, muss mit der ungesiebten Probe PP-ZZ-175 verglichen werden. Hier sieht man, dass die ZZ-Probe einen geringeren CBD-Wert aufweist, aber einen deutlich höheren CBDA-Anteil besitzt.

Der Vergleich aller Prozessprodukte und Trocknungsverfahren miteinander zeigt, dass bei der ZZ-Trocknung die höchsten CBDA-Werte erzielt werden und die niedrigste Umsetzungsrate von CBDA zu CBD zu verzeichnen ist. Somit ist hier bestätigt, dass die ZZ-Trocknung für Futura 75 bei eine Trocknungszeit von 40 °C zum Erhalt des CBDA das schonendste Verfahren ist.

## Lagertest

### Lagertest - Erntejahr 2022

In den Lagertest 2022 gingen drei Prozessprodukte, getrocknet bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG, in der Siebstufe 2b (Blätter & Hülsen). Basis waren die Ernteprodukte EP13 – Futura 75, EP14 – Férimon, EP15 – Fédora 17, alles wurde bei 40 °C getrocknet. In Tab. 8 sind die Parameter und Daten der Lagerprodukte aufgeführt.

Tab. 8: Lagerprodukte im Lagertest 2022

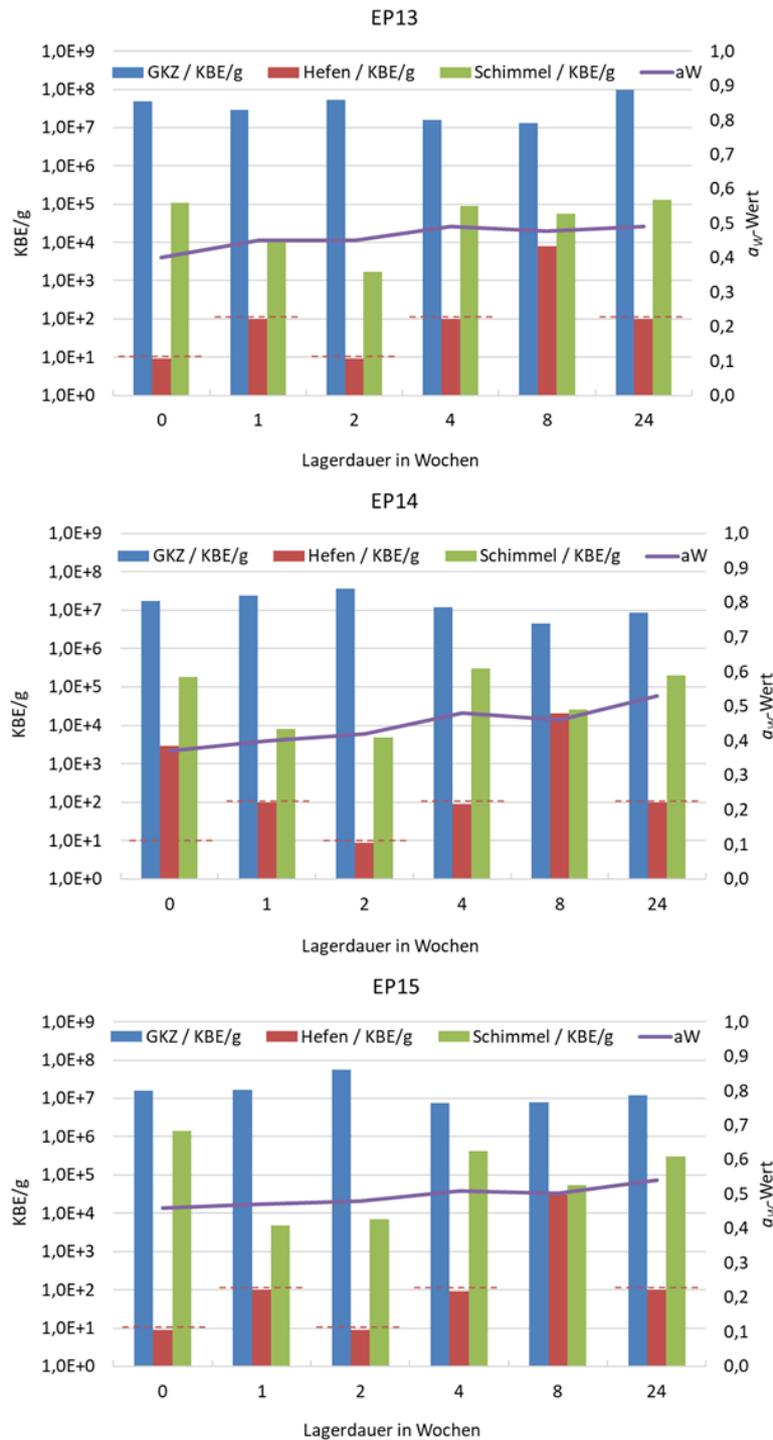
basiert auf Ernteprodukt (EP)	basiert auf Prozessprodukt (PP-...), Trennstufe 2b	Datum Einlagerung	Lagerprodukt	Lagerdauer	$a_w$ -Wert
EP 13	PP-ZZ-177 (40°C-St2b)	27.09.2022	LP76	0 = PP-ZZ-177	0,40
			LP77	1 Woche	0,45
			LP78	2 Wochen	0,45
			LP79	4 Wochen	0,49
			LP80	8 Wochen	0,48
			LP81	24 Wochen	0,49
EP 14	PP-ZZ-181 (40°C-St2b)	28.09.2022	LP82	0 = PP-ZZ-181	0,37
			LP83	1 Woche	0,40
			LP84	2 Wochen	0,42
			LP85	4 Wochen	0,48
			LP86	8 Wochen	0,46
			LP87	24 Wochen	0,53
EP 15	PP-ZZ-185 (40°C-St2b)	29.09.2022	LP88	0 = PP-ZZ-185	0,46
			LP89	1 Woche	0,47
			LP90	2 Wochen	0,48
			LP91	4 Wochen	0,51
			LP92	8 Wochen	0,50
			LP93	24 Wochen	0,54

\*ZweiZehn GmbH & Co. KG Labor

**Ergebnisse**

**Mikrobiologischer Status der Lagerprodukte**

Abb. 14 stellt die mikrobiologischen Größen pro g Hanfprobe im Lagertest in Abhängigkeit der Lagerdauer dar.



**Abb. 14: Mikrobiologische Analysen-Ergebnisse der Lagerproben Erntejahr 2022. EP 13: Futura 75; EP 14: Férimon; EP 15: Fédora 17**

**Hefen: (Nachweisgrenze war in Woche 0 und 2 <10; in Woche 1, 4 und 24 <100)**

Der mikrobiologische Status der drei Hanfsorten ist vergleichbar.

Die Gesamtkeimzahlen liegen zu Beginn im Bereich von  $10^7$  –  $10^8$  KBE/g. Bei EP14 und EP15 sinken die Werte auf unter  $10^7$  KBE/g im Laufe der Lagerung. In keinem der getrockneten Ernteprodukte ist ein statistisch signifikanter positiver oder negativer Verlauf der Gesamtkeimzahl ersichtlich.

Die Untersuchungsergebnisse der Schimmelwerte schwanken bei allen eingelagerten Hanfsorten im Laufe der Lagerung zwischen  $10^3$  und  $10^6$  KBE/g. Eine signifikante Veränderung ist demnach nicht nachweisbar.

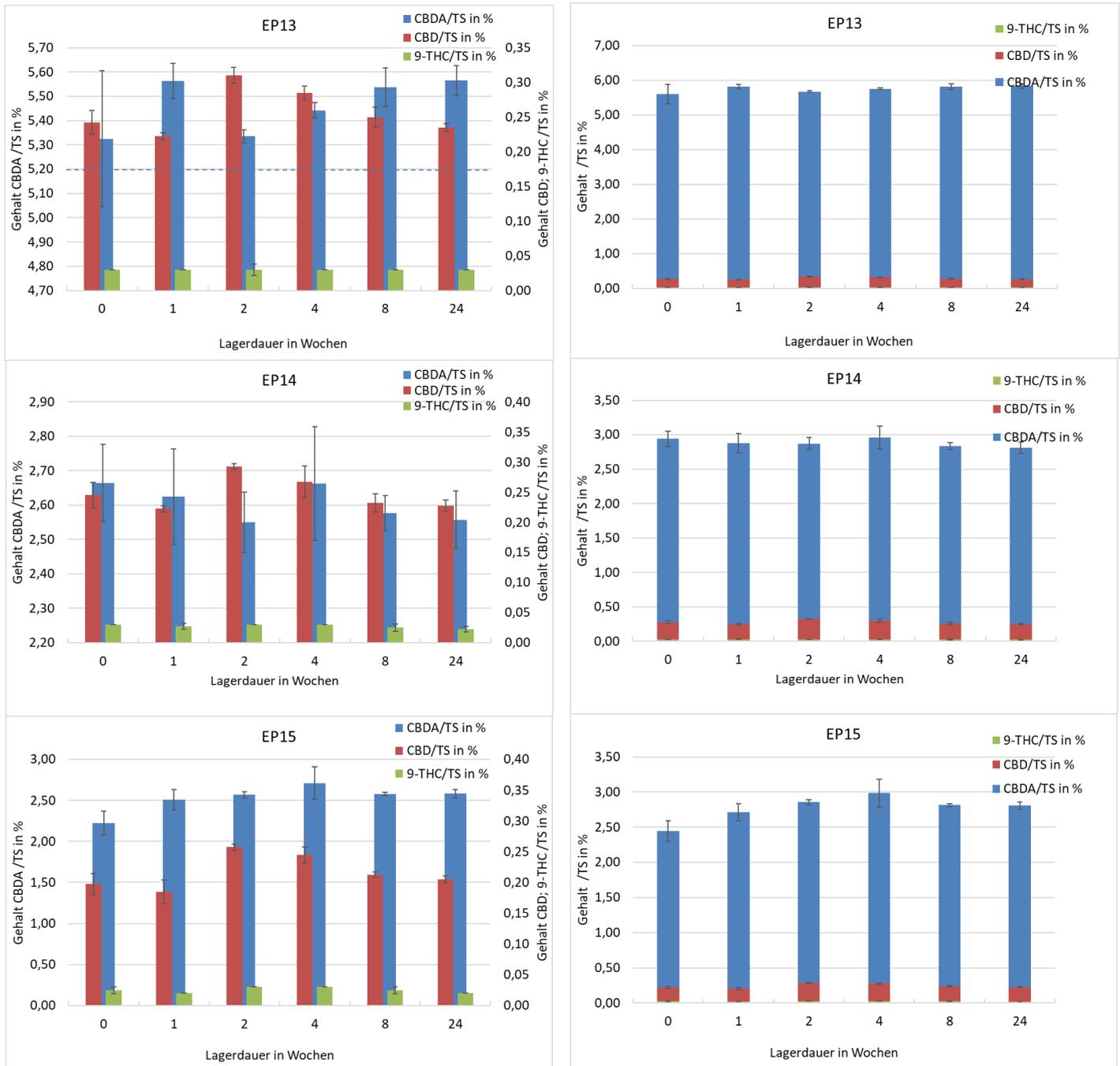
Hefen waren nur im Prozessprodukt von EP14 bei Einlagerung nachweisbar und bei allen Lagerprodukten in Woche 8.

Der  $a_w$ -Wert steigt 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.

## Cannabinoidanalytik der Lagerprodukte

Die Ergebnisse der Cannabinoidanalytik sind in Abb. 15 dargestellt.



**Abb. 15: Cannabinoid-Ergebnisse der Lagerproben Erntejahr 2022. EP 13: Futura 75; EP 14: Férimon; EP 15: Fédora 17. Gehalte in der gefriergetrockneten Probe/%. Links: Gehalte getrennt aufgeführt; rechts: Werte aufsummiert.**

Die drei Hanfsorten zeigen im Laufe der Lagerzeit einen proportionalen Verlauf in ihren Gehalten an CBD (rot). Von Woche 0 zu 1 sinkt er leicht, steigt zu Woche 2 an und fällt wieder bis Woche 24. Die CBDA-Verläufe (blau) sind auch ähnlich. Es gibt aber innerhalb einer Sorte im Laufe der Lagerung keinen einheitlichen Trend. Die Werte von 9-THC (grün) sind unverändert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Lagerung der getrockneten Hanfprodukte die Gehalte oder Verhältnisse der Cannabinoide nicht signifikant verändert.

## IV. AP 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (M34-M36)

Leitung: ZweiZehn GmbH & Co. KG (55 %)

Weitere Teilnehmer: DIL e.V. (25%); Landwirtschaft Gerhard Adam (10%), Volksbank Raiffeisenbank (10 %)

### • Kostenrechnung

Tab. 9: Gegenüberstellung der ZZ-Trocknung, Klimaschrank-Trocknung und Radiofrequenz-trocknung

Trockner		ZweiZehnTrockner	Klimaschrank-Trockner	Radiofrequenz-trockner
<b>Trocknungstechnologie</b>		<b>Bandtrockner mit Entfeuchtung</b>	<b>Hordentrocknungssystem</b>	<b>Radiant Energy Vacuum Dehydration (REV™)</b>
<b>Firma</b>			<b>Harter</b>	<b>Enwave</b>
<b>Anlagenmodell</b>			<b>H05-L-AG15</b>	<b>QuantaREV 60 kW</b>
<b>Prozessparameter Erntefrisch frisch</b>				
Sorte Futura 75 Menge	kg	1.000	1.000	1.000
Anfangsfeuchte Ernteprodukt/kg	%	66	66	66
Anfangs a <sub>w</sub> Wert Ernteprodukt/kg		1,00	1,00	1,00
Trocknungstemperatur	°C	40	40	40
<b>Prozessparameter Ernteprodukt getrocknet</b>				
Ertrag prozessierte Trockenware	kg	374	374	374
Endfeuchte Ernteprodukt/kg	%	9,60	9,60	9,60
End a <sub>w</sub> Wert Ernteprodukt/kg (Mittelwert)		0,44	0,44	0,44
<b>Anbaukosten Nutzhanf/Hektar</b>				
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
<b>Gesamtkosten/ha</b>		<b>1.132,50</b>	<b>1.132,50</b>	<b>1.132,50</b>
<b>Anlagencharakteristika</b>				
Durchsatz frisch geernteter Nutzhanf pro Trocknungsdurchgang	kg	1.000	1.000	1.000
Elektrische Leistung	KW	28	35	60
Heizleistung Brenner	kW	10	0	
<b>Trocknungszeit</b>				
pro Trocknungsdurchgang	Stunden	24,00	20,00	11,38
<b>Trocknungskosten/ha entspricht 1000 kg</b>				
Anfangsinvestition	€	381.500	366.950	1.441.500
Abschreibez Zeitraum	Jahre	7,00	7,00	7,00
Abschreibung	€	2.043,49	1.965,56	7.721,36
Elektro- und Heizenergie	€	648,00	497,00	484,79
Arbeitslöhne	€	645,00	215	305,84
Wartungskosten	€	552,00	56,24	843,64
<b>Total</b>	<b>€</b>	<b>3.888,49</b>	<b>2.733,80</b>	<b>9.355,63</b>
<b>Anbaukosten Nutzhanf/Hektar</b>				
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
<b>Anbaukosten/ha</b>		<b>1.132,50</b>	<b>1.132,50</b>	<b>1.132,50</b>
<b>Gesamtkosten/ha</b>	<b>€</b>	<b>5.020,99</b>	<b>3.866,30</b>	<b>10.488,13</b>
<b>Zu erwartende Verkaufserlöse/ha</b>				
Vermarktung je kg	€	40,00	40,00	40,00
Vermarktung von 434 kg	€	17.360,00	17.360,00	17.360,00
<b>Unternehmensertrag/ha</b>	<b>€</b>	<b>12.339,01</b>	<b>13.493,70</b>	<b>6.871,87</b>

Zu beurteilen ist die Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Bandtrocknung bei der ZweiZehn GmbH & Co. KG mit Referenztechnologieen. 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. Verglichen werden stattdessen ein AIRGENEX®MedCann Hordentrocknersystem für einen Batchbetrieb von der Firma HARTER und ein QuantaREV 60 W Radiant Energy Vacuum Dehydratation (REV™) der Firma ENWAVE.

Als Energiekosten werden für alle Anlagen 0,71 € / kWh und ein Stundenlohn für Bedienpersonal von 26,875 € / Std angenommen. Die Anbaukosten für den Landwirt sind selbstverständlich auch bei jeder Technologie gleich. Es ist eine Anlagenauslastung von 26,67 Produktionstagen pro Jahr für die Hanftrocknung angesetzt. Die Abschreibung der Investitionskosten wird über 7 Jahre verteilt.

Ausgangswert ist, 1000 kg Hanf (gehäckselt Pflanzenmaterial; Schüttgewicht: ca. 350 kg/m<sup>3</sup>) mit einer Anfangsfeuchte von 66,2 % zu trocknen. Als Endprodukt resultieren 374 kg Prozessprodukt mit einer Endfeuchte von 9,6 %. Demnach wird durch die Trocknung 626 g Wasser abgeführt. Die Trocknung soll bei ca. 40 °C erfolgen, die rel. Luftfeuchtigkeit liegt bei ca. 0,3.

Anstelle des im Projektverlauf eingesetzten BINDER Klimaschranks im Labormaßstab wurde ein AIRGENEX®MedCann Hordentrocknersystem für einen Batchbetrieb von der Firma HARTER für den Wirtschaftlichkeitsvergleich ausgewählt. Bei dieser Anlage können die 1000 kg Hanf in ca. 20 Stunden getrocknet werden, was vergleichbar mit der ZZ-Trocknung (ca. 24 Std.) ist. Die Entfeuchtungsleistung ist ca. 31 l/h (bei einer Lufttemperatur von 40 °C und einem mittleren Sättigungsgrad der Rückluft von 50 % r. F). Die Luftführung erfolgt vertikal. Für die Bedienung (Be- und Entladen) der Anlage sind für einen Trocknungsdurchlauf von 1000 kg. Hanf ca. 8 Personalstunden notwendig. Empfohlen wird eine Wartung pro Jahr à 1.500 €, was 56 € Wartungskosten pro Produktionstag ergeben.

Von ENWAVE wurde im Projektverlauf die Batchanlage NutraREV 10 kW im Technikummaßstab zu Versuchszwecken verwendet. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird die mittlere Größe der Reihe QuantaREV 60 kW betrachtet. Das Produkt wird über ein Band durch einen doppelten Schleuseneingang in die Vakuumkammer eingeführt. Innerhalb des Trockners erfolgt ein kontinuierlicher Transport bis zur letzten horizontalen Schleuse. Die Entfeuchtungsleistung liegt bei ca. 55 kg/h. Ein Trocknungsdurchgang von 1000 kg Hanf und Abführen von 626 g Wasser ist entsprechend mit ca. 11,38 h kalkuliert.

Die Wartungskosten werden mit ca. 45.000 € alle 2 Jahre angenommen, was ca. 844 € pro Produktionstag entspricht. Durch die enorm hohen Investitionskosten sind die Abschreibungen über sieben Jahre entsprechend hoch, was sich auch auf die Gesamtkosten auswirkt.

Die Gesamtkosten pro Hektar ergeben sich aus den Anbaukosten (Landwirtschaft) und den Trocknungskosten (Technologiebetrieb).

Vergleicht man die vorgestellten 3 Trocknungstechnologien miteinander, so ist ersichtlich, dass die ZweiZehn-Trocknung auf ähnliche Ergebnisse kommt, wie der HARTER Hordentrockenschrank. 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 h 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 ZWEIZEHN-Trockner. Die Anfangsinvestition liegt fast 3,8-mal so hoch, entsprechend sind die Abschreibungskosten über die Jahre verteilt belastend. Die Anlage von ENWAVE ist dafür gemacht 24 h / 7 Tage in der Woche zu laufen und ist in dieser Berechnung nicht ausgelastet. Man könnte in 24 h die doppelte Menge (2.109 kg Hanf) mit der Anlage trocknen und entsprechend die Produktionskosten senken.

Die Betriebskosten aller drei vorgestellten Technologie 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.

Zusammenfassend sind die Trocknungstechnologien Bandtrockner der ZweiZehn GmbH & Co. KG und AIRGENEX®MedCann Hordentrocknersystem der Firma HARTER etwa gleichauf mit leichtem Vorteil auf Seiten des HARTER-Trockners. Der QuantaREV 60 kW von ENWAVE ist für den Umsatz in dieser Berechnung überdimensioniert und auch deutlich teurer.

- **Scale-Up-Strategie**

Der ZweiZehn-Bandtrockner geht als geeignetste Trocknungstechnologie hervor.

Zum weiteren Skale-Up und zur Optimierung der Trocknung ist das Ziel, die Trocknungszeit pro Trocknungsdurchlauf zu verkürzen, und den natürlichen CBDA-Gehalt im getrockneten Endprodukt maximal zu erhalten.

Das Trocknungsverfahren kann mit seinen standardisierten Prozessen in einem landwirtschaftlichen Betrieb bzw. auch als größere Skalierungen wie Verdoppelung der Linien als maschinengemeinschaftliche und/oder genossenschaftliches Projekt erweitert werden.

- **Übertragbarkeit der erarbeiteten Technologien auf weitere Pflanzen**

Denkbar ist die Übertragbarkeit des entwickelten Trocknungsverfahrens auf folgende Pflanzen:

- Raps
- Hopfen
- Kräuter (für Tees, z.B. Ringelblume, Brennnessel, Pfefferminz, Kamille, Zitronenmelisse, Löwenzahn)
- Gewürze (Liebstöckel, Bohnenkraut, Fenchel, Schnittlauch, Petersilie)

## V. AP 5 Projektkoordination, Projektmanagement, Projekttreffen und Öffentlichkeitsarbeit (M1-M36)

Leitung: ZweiZehn GmbH & Co. KG (60 %)

Weitere Teilnehmer: DIL e.V. (20%); Landwirtschaft Gerhard Adam (10%), Volksbank Raiffeisenbank (10 %)

### 1. Bericht in örtlicher Presse „Der neue Tag“ am 02.02.2023

**Titel:** Hanf aus der Oberpfalz – gefördert und gebremst zugleich



Abb. 16: Zeitschriftartikel „Der neue Tag“

### 2. EIP-Ergebnis-Workshop am 10.02.2023 in Püchersreuth

Teilnehmerzahl: 44

Die Trocknungsanlage und Labore der ZweiZehn wurden gezeigt und gemeinsam mit den Teilnehmern Vor- und Nachteile, Chancen und Risiken diskutiert. Anschließend wurden Projektergebnisse vorgestellt und die Möglichkeiten/Umsetzbarkeit eines eigenen EIP-Projektes mit den Teilnehmern diskutiert.

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

<https://www.zwei-zehn.com/aktuelles/>

### 3. Zeitschriftartikel im top Agrar online am 14.03.2023

<https://www.topagrar.com/perspektiven/news/hanf-als-betriebszweig-praxisprojekt-erarbeitet-verarbeitungsoptionen-13330053.html>



**Abb. 17: Zeitschriftartikel in top Agrar online.**