



Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft

Abschlussbericht

**Entwicklung einer Technologie zum Färben von
Cellulose- und Proteinfaserstoffen mit einheimischen Pflanzenfarben**

**Teilvorhaben 3:
Bereitstellung von Färberpflanzenmaterial für Extraktionsversuche
im Technikumsmaßstab**

**Gefördert durch
die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.**

Themenblatt-Nr.: 11.32.430

Projekt/Förderkennzeichen: 97NR-146-F

**Langtitel: Bereitstellung von Färberpflanzenmaterial für Extraktionsversuche im Techni-
kumsmaßstab**

Kurztitel: Anbau von Färberpflanzen

Projekt: Energie- und Industriepflanzen

Projektleiter: Dr. habil. Armin Vetter

Abteilung: Pflanzenproduktion

Abteilungsleiter: Dr. sc. Manfred Kerschberger

Laufzeit: 2/1998 bis 3/2001

Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

**Name des Bearbeiters: Dipl. Ing. agr. Andrea Biertümpfel
 Dipl. Ing. agr. Ines Schwabe**

Jena, im September 2001

**(Prof. Dr. Gerhard Breitschuh)
 Amtierender Präsident**

**(Dr. habil Armin Vetter)
 Projektleiter**

Inhalt

Seite

1	Zielstellung	3
2	Material und Methoden	3
2.1	Anbaubedingungen	3
2.2	Agrotechnische Versuche	5
2.3	Extraktion von Indigo aus Färberknöterich	6
3	Ergebnisse	7
3.1	Färberwau	7
3.1.1	Mehrschnittnutzung	7
3.1.2	Erntezeitpunkt/Fraktionierung	8
3.1.3	N-Düngung	10
3.1.4	Saatzeiten	10
3.2	Kanadische Goldrute	11
3.2.1	Ernte der mehrjährigen Versuche	11
3.2.2	Direktsaat	13
3.3	Färberhundskamille	13
3.3.1	Saatzeiten	13
3.3.2	Praxisversuch	14
3.4	Krapp	14

3.4.1 Prüfung der Erntetechnik	14
3.4.2 Wurzelwäsche	16
3.4.3 Anbau in Dammkultur	17
3.5 Färberknöterich	17
3.5.1 Herbizidverträglichkeit	17
3.5.2 N-Düngung	18
3.5.3 Erntevarianten	19
3.6 Extraktionsversuche	21
4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	30
5 Literatur	34

1 Zielstellung

Das Gesamtziel des Verbundprojektes besteht darin, optimierte Verfahren für den Anbau von Färberpflanzen sowie die Gewinnung von Farbstoffextrakten bis hin zur Färbung von Cellulose- und Proteinfaserstoffen zu entwickeln. Neben der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) sind folgende Einrichtungen beteiligt:

- Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz (STFI)
→ Färbung von Cellulosefaserstoffen
- Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz (TITV)
→ Färbung von Proteinfaserstoffen
- Nahrungstechnik GmbH, Magdeburg (NIG)
→ wässrig/alkoholische Extraktion
- Institut für Getreideverarbeitung, Bergholz-Rehbrücke (IGV)
→ CO₂-Extraktion, Farbstoffanalytik
- Institut für Umweltforschung, Schlieben (IfU)
→ wässrige Extraktion.

Ein Aufgabenschwerpunkt der TLL liegt in der Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Pflanzenmaterial für die nachgelagerten Extraktions- und Färbeversuche. Als rohstoffliefernde Pflanzen wurden Färberwau (*Reseda luteola*), Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*), Färberhundskamille (*Anthemis tinctoria*), Krapp (*Rubia tinctorum*) und Färberknöterich (*Polygonum tinctorium*) für das Projekt ausgewählt. Diese Arten besitzen nicht nur eine sehr gute Anbaueignung unter mitteleuropäischen Bedingungen, sondern liefern gleichzeitig die Grundfarben Gelb, Rot und Blau.

Neben der Bereitstellung von Ausgangsmaterial ist die Klärung noch bestehender Probleme im Produktionsverfahren der o.g. Arten, wie beispielsweise die Direktsaat von Kanadischer Goldrute, die maschinelle Ernte und Wurzelwäsche bei Krapp und die Herbizidverträglichkeit von Färberknöterich vorgesehen. Technologisch und ökonomisch vertretbare Lösungen zu diesen Punkten bilden eine wesentliche Grundlage für einen großflächigen Anbau.

Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Extraktion von Indigo aus Färberknöterich in einer halbtechnischen Anlage dar. Zum einen wird damit das Indigo für die Färbeversuche gewonnen und zum anderen die Grundlagen für eine schnelle Überführung der angewandten Methode in den großtechnischen Maßstab geschaffen.

2 Material und Methoden

2.1 Anbaubedingungen

Die Versuche wurden in der Versuchsstation Dornburg der TLL durchgeführt. Die Standortbedingungen der Versuchsstation sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Versuchsstation Dornburg

Anbaubedingungen	
Höhe über NN (m)	260

Jahresniederschläge (mm)	582
Jahresmitteltemperatur (°C)	8,7
Bodenart	Lehm
Ackerzahl	40 - 80
Klimagebiet	mäßig feuchte Übergangslage

Alle drei Versuchsjahre wiesen hinsichtlich des Temperaturverlaufs und der Niederschlagsverteilung Unterschiede auf (Tab. 2).

Tabelle 2: Witterungsverlauf 1998 bis 2000 im Vergleich zum langjährigen Mittel

	Temperatur-Mittel °C				Niederschläge mm			
	langjähriges Mittel 1963 - 1997	1998	1999	2000	langjähriges Mittel 1963 - 1997	1998	1999	2000
Januar	-0,4	2,2	2,8	0,5	33	42	34	38
Februar	0,6	4,3	-0,2	3,8	31	28	40	53
März	4,1	4,7	5,0	5,0	31	44	38	84
April	7,9	9,2	8,6	10,4	51	45	65	37
Mai	12,7	13,5	13,8	14,6	57	48	51	32
Juni	16,0	16,6	15,1	16,9	75	73	68	31
Juli	17,9	16,7	18,7	15,3	65	69	92	56
August	17,7	16,5	16,7	18,1	69	57	61	48
September	14,1	13,1	16,8	14,2	43	76	15	49
Oktober	9,6	8,3	8,8	10,7	41	101	24	33
November	4,3	1,1	3,1	6,1	43	60	76	25
Dezember	0,9	0,6	2,2	2,6	42	15	45	24
Jahr gesamt	8,8	8,9	9,3	9,8	590	658	609	510

Kennzeichnend für alle Versuchsjahre war ein zeitiger Vegetationsbeginn. Dauerkulturen, wie Krapp und Kanadische Goldrute, trieben sehr früh aus. 1998 wirkte sich die ausgeprägte Vorsommertrockenheit im Mai negativ aus. Die gesamten Niederschläge fielen erst Ende Mai. Dies führte insbesondere bei Färberwau und Färberknöterich zu einem schlechten Aufgang, einer zögerlichen Jugendentwicklung und relativ niedrigen Masseerträgen. Bei der Färberhundskamille behinderte der kühle, trockene Sommer die erneute Blütenbildung nach der 1. Ernte, so dass nur eine Blütenpflücke durchgeführt werden konnte. Überdurchschnittlich hohe Niederschläge von September bis November erschwerten die maschinelle Ernte des Krapps.

1999 wirkte sich ein Ende April auftretendes Gewitter, verbunden mit Starkregen, negativ aus. Etwa 30 mm Niederschlag in 2 Stunden verursachten starke Verschlammungen und damit mangelhaften Aufgang. Besonders stark betroffen waren die Drillparzellen des Färberwaus. Nach entsprechender Bonitur hinsichtlich der Verschlammungsschäden wurden die Versuche umgebrochen und Anfang Mai erneut gedrillt. Günstige Witterungsbedingungen nach der 2. Aussaat führten zu einem raschen Auflaufen und einer zügigen Jugendentwicklung, so dass trotz relativ später Aussaat noch sehr gute Erträge erreicht wurden.

Im Jahr 2000 bedingten die hohen Temperaturen im Frühling und Frühsommer, zusammen mit einer ausgeprägten Vorsommertrockenheit, erhebliche Verzögerungen beim Auflaufen und der Jugendentwicklung der Frühjahrssaaten von Färberwau und Färberknöterich. Insbesondere letzterer lief sehr verzögert auf und wuchs nur langsam, was sich in den geringen Masseerträgen

des 1. Schnittes widerspiegelte. Die Dauerkulturen zehrten dagegen von dem Vorrat an Bodenwasser und entwickelten sich sehr üppig. Kennzeichnend für das Versuchsjahr 2000 war ein Vegetationsvorsprung von ca. 2 - 3 Wochen während der gesamten Wachstumsperiode, der beispielsweise einen sehr ertragreichen 2. Schnitt der Varietät ‚Goldkind‘ der Kanadischen Goldrute bedingte. Der lange, warme und trockene Herbst sorgte für optimale Bedingungen bei der Krappernte.

2.2 Agrotechnische Versuche

Einen Überblick über die durchgeführten agrotechnischen Versuche zur Klärung noch offener Fragen im Produktionsverfahren der einzelnen Arten gibt Tabelle 3. Der Anbau und die Nach-erntebehandlung der Kulturen erfolgte, unter Beachtung der Versuchsfragestellung, nach der jeweils optimalen Anbauvariante (WURL, BIERTÜMPFEL, VETTER, 1997).

Tabelle 3: Art und Umfang der agrotechnischen Versuche 1998 - 2000

Art	Versuchsfrage	Varianten	Umfang	Jahr
Färberwau	Mehrschnittnutzung	4 Schnittvarianten	Parzellen (27 m ² , 4 Wdh.)	1998 - 2000
	Erntetermin/ Fraktionierung	3 Erntetermine, 3 Pflanzenfraktionen	Gefäßversuch (8 Wdh.)	1998
	N-Düngung	4 N-Varianten	Parzellen (13,5 m ² , 4 Wdh.)	1998 - 2000
Kanadische Goldrute	Ertragsermittlung	2 Herkünfte	Großparzellen (67,5 m ²)	1998 - 2000
	Direktsaat	Aussaat im September	Großparzelle (100 m ²)	1998
Färberhunds- kamille	Saatzeiten	4 Saatzeiten	Parzellen (13,5 m ² , 4 Wdh.)	1998 - 2000
	Praxisversuch	2. Anbaujahr	AG Nöbdenitz (0,3 ha)	1998
Krapp	Anbau auf Damm	Direktsaat im April auf Damm (75 cm Dammanstand, 10 kg/ha)	Großparzelle (1000 m ²)	1998 - 2000
	Maschinelle Ernte	Spezialkartoffelerntemaschine Hopfenfechserernter Pfefferminzstolonenernter Kartoffelvollernter (2)	Großparzellen (1000 m ²)	1998 - 2000
Färberknöte- rich	Herbizidverträglichkeit	4 - 5 Varianten	Parzellen (13,5 m ² , 2-4 Wdh.)	1998 - 2000
	N-Düngung	7 N-Varianten	Parzellen (13,5 m ² , 4 Wdh.)	1998 - 2000
	Erntevarianten	1 - 2 Herkünfte, 4 - 8 Schnittvarianten	Parzellen (13,5 m ² , 4 Wdh.)	1998 - 2000

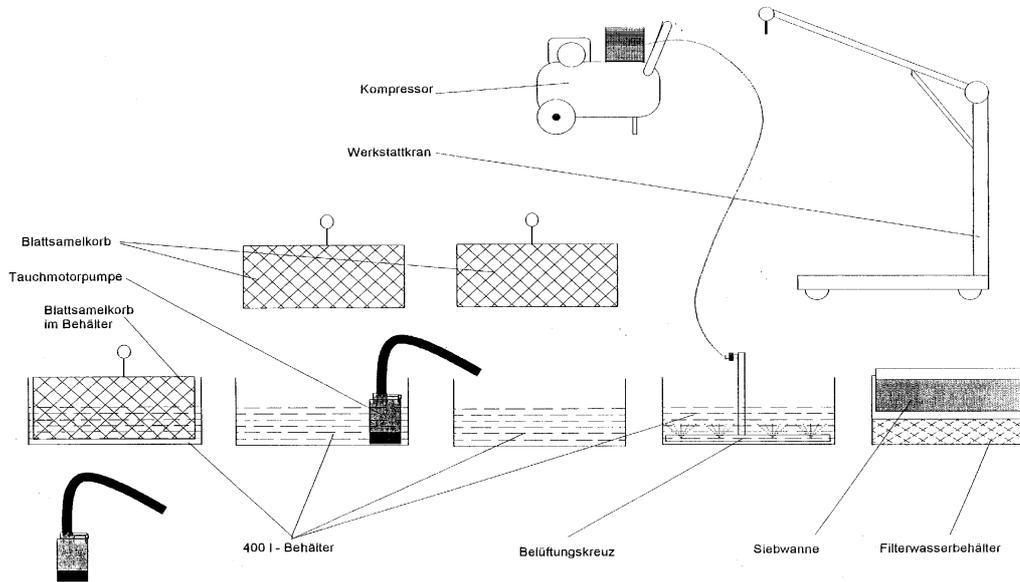
Die Bestimmung der Farbstoffgehalte im Erntegut erfolgte mittels HPLC bzw. photometrisch (in Anlehnung an RUDOLPH, 1997).

2.3 Extraktion von Indigo aus Färberknöterich

Da bei der Lagerung bzw. Trocknung des Materials Farbstoffverluste bis 90 % auftreten können, ist die sofortige Verarbeitung des Färberknöterichs unumgänglich, (WURL et al., 1997).

Zur Gewinnung von Indigo aus frischem Erntegut des Färberknöterichs wurde in Dornburg eine halbtechnische Anlage aufgebaut, die zur Optimierung der Prozessparameter dienen und

gleichzeitig Anhaltspunkte für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Indigoextraktion liefern sollte. Ein Schema der Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.



Das Erntegut aller agrotechnischen Versuche der Jahre 1998 bis 2000 wurde extrahiert. Die einzelnen Verfahrensschritte der Indigogewinnung und die dabei ablaufenden chemischen Prozesse lassen sich wie folgt beschreiben:

<u>Verfahrensstufe</u>	<u>Chemischer Prozess</u>
Einlegen des erntefrischen Pflanzenmaterials in Wasser (Verweildauer 24 - 144 h) ↓	Lösung der Indigovorstufe Indican im Wasser (= Indoxylglucosid) ↓
Entnahme des Blattmaterials ↓	
Erhöhung des pH-Wertes der zurückbleibenden Lösung von ca. 4 auf ca. 9,5 - 10 durch Zugabe von Ammoniak, NaOH, Na ₂ CO ₃ , Ca(OH) ₂ , ... ↓	Hydrolyse des Indicans zu Indoxyl und Zucker ↓
Belüftung mittels eines Kompressors ↓	Oxidation des löslichen Indoxyls zu wasserunlöslichem Indigo
Abtrennung des Rohindigos ↓	
Trocknung des Filtrerrückstandes (= Rohindigo) ↓	
Einsatz bei Färbeversuchen und in der Praxis	

Um das Verfahren hinsichtlich der Farbstoffausbeute und der eingesetzten Rohstoffe möglichst

optimal zu gestalten, wurden folgende Parameter variiert:

- Pflanzenmenge/Behälter
- Verweildauer des Pflanzenmaterials im Wasser
- Mehrfachbeschickung der Extraktionslösung mit frischem Pflanzenmaterial
- Belüftungsdauer
- Separationsverfahren des Rohindigos.

3 Ergebnisse

3.1 Färberwau

3.1.1 Mehrschnittnutzung

Färberwau enthält die meisten Farbstoffe (Flavonoide) in Blättern und Blüten. Im Stängel sind diese dagegen kaum zu finden. Bei den bisher üblichen Ernteregimen (1 Ernte zur Vollblüte) ist der Stängelanteil im Erntegut relativ hoch. Ziel des Versuches war es, durch zweischnittige Nutzung der Pflanzen, den Stängelanteil zu senken und damit möglicherweise den Farbstoffgehalt des Erntegutes zu erhöhen. Hohe Stängelanteile wirken sich zudem negativ bei der weiteren Verarbeitung (Extraktion) aus.

Im Feldversuch wurden 4 Schnittvarianten geprüft, davon 2 Varianten einschnittig, 2 zweischnittig (Tab. 4). Hinsichtlich des Ertrages war die einschnittig zur Vollblüte geerntete Variante allen weiteren signifikant überlegen. Sie lieferte auch durchgängig den höchsten Farbstoffertrag je Flächeneinheit. Obgleich die Farbstoffgehalte der zweischnittig genutzten Prüfglieder teilweise sehr hoch waren, konnten diese wegen des geringeren Trockenmasseertrages das Farbstoffertragsniveau der oben genannten nicht erreichen.

Von den zweischnittig genutzten Prüfgliedern erwies sich nur die Variante mit zweimaligem Schnitt jeweils im Knospenstadium als praktikabel. Ein späterer 1. Schnitt, wie bei Variante 4 praktiziert, führt zu sehr niedrigen Erträgen des 2. Schnittes, die in der Praxis kaum eine Ernte lohnenswert machen. Die Variante 3 erreichte in günstigen Jahren den Trockenmasseertrag der einmal 14 Tage nach Blühbeginn beernteten Variante und stand dieser auch im Farbstoffertrag je Flächeneinheit nicht nach.

Tabelle 4: Ganzpflanzenertrag, Farbstoffgehalt und Farbstoffertrag bei Färberwau bei unterschiedlichem Ernteregime, Dornburg 1998 bis 2000

Var.	Erntetermin			Stadium	Ertrag (dt TM/ha)			Farbstoffgehalt (% i.d. TM)			Farbstoffertrag (kg/ha)		
	1998	1999	2000		1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
1	05.08.	10.08.	08.08.	14 d nach Blühbeginn	40,3	37,0	43,3	1,70	2,59	2,57	67,6	95,3	110,9
2	13.08.	18.08.	29.08.	Vollblüte	43,4	51,1	60,9	2,32	2,85	3,14	100,8	146,1	185,0
3	09.07.	19.07.	11.07.	Knospe Knospe	14,2	15,4	11,5	2,79	3,19	3,88	39,3	49,0	41,9
	22.09.	20.09.	14.09.		16,0	21,7	25,3	2,49	1,93	2,56	39,9	43,9	65,0
Σ					30,2	37,1	36,8				79,2	92,9	106,9
4	20.07.	30.07.	27.07.	Blühbeginn Knospe	26,6	27,0	25,8	1,83	2,67	3,39	48,8	71,9	86,5
	30.09.	11.10.	14.09.		5,9	6,8	8,4	2,29	2,20	3,20	13,5	14,4	26,8
Σ					32,5	33,8	34,2				62,3	86,3	113,3
GD _{t,5%}					6,3	8,6	11,6	0,59	0,63	1,12	18,8	36,1	53,5

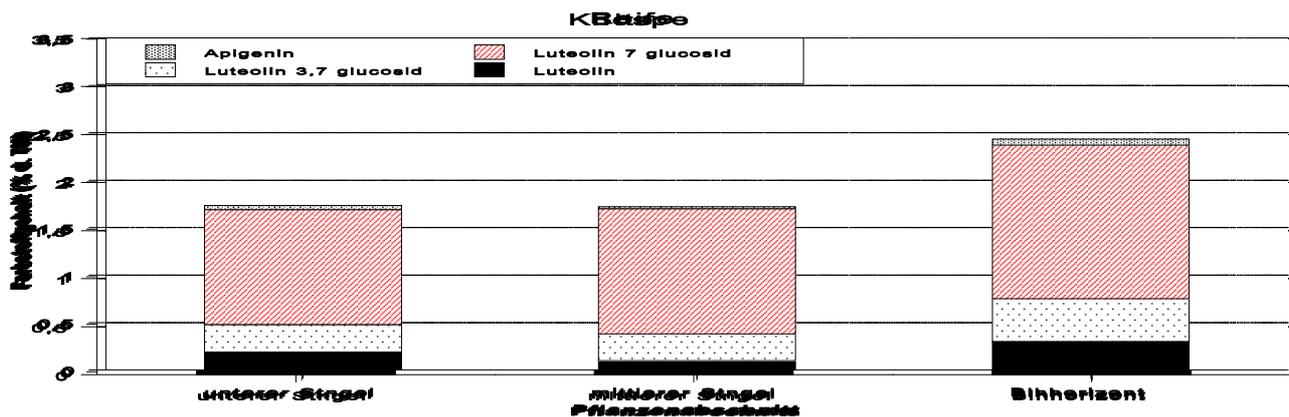
Generell ist festzustellen, dass eine einmalige Ernte zur Vollblüte des Färberwaus hohe und sichere Farbstofferträge je Flächeneinheit erbringt. Eine zweischnittige Nutzung sollte nur durchgeführt werden, wenn technologische Anforderungen (Erntespitzen, Trocknungskapazität etc.) im landwirtschaftlichen Betrieb das erfordern. In diesem Fall sind 2 Schnitte jeweils zur Knospe anzustreben. Aus ertraglicher Sicht bietet es sich aber eher an, einen Teil des Färberwaus im Herbst auszusäen und beide Aufwüchse einmalig zu beernten (s. Pkt. 3.1.3). Eine Erhöhung der Qualität des Erntegutes durch die Verringerung des Stängelanteils kann außerdem, analog zur Arzneipflanzenaufbereitung, mittels Fraktionierung nach der Trocknung erfolgen.

3.1.2 Erntezeitpunkt/Fraktionierung

In einem Gefäßversuch wurde der Einfluss unterschiedlicher Entwicklungsstadien (Knospe, Vollblüte, Reife) auf den Farbstoffgehalt in den einzelnen Pflanzenfraktionen (unterer Stängel, mittlerer Stängel, Blühhorizont) untersucht. Auf eine Ertragsbestimmung ist aufgrund der geringen Massebildung im Gefäß verzichtet worden.

Es zeigte sich, dass der Blühhorizont zu allen Ernteterminen die höchsten Farbstoffgehalte aufwies. Zum Zeitpunkt der Vollblüte waren in allen Pflanzenfraktionen die meisten Farbstoffe enthalten. Eine Veränderung hinsichtlich der Anteile der einzelnen Farbstoffkomponenten am Gesamtfarbstoff, welche möglicherweise Einfluss auf die weitere Verarbeitung (Extraktion, Färbung) haben könnte, war sowohl zu den unterschiedlichen Ernteterminen wie auch innerhalb der Fraktionen nicht zu beobachten (Abb. 2).

Eventuell besteht die Möglichkeit, durch Anheben der Schnitthöhe (ähnlich wie bei Johanniskraut) bei der Ernte der Färberwaubestände den Anteil der Blütenfraktion am Erntegut zu erhöhen und somit den Farbstoffgehalt positiv zu beeinflussen.



3.1.3 N-Düngung

In vorangegangenen Untersuchungen wurde wiederholt festgestellt, dass sich die N-Versorgung bei Färberwau in ertraglicher Hinsicht kaum auswirkt, jedoch tendenziell zu einem Absinken des Farbstoffgehaltes führt (BIERTÜMPFEL et al., 1998). Zur weiteren Absicherung dieser Ergebnisse kam von 1998 bis 2000 ein N-Düngungsversuch zum Anbau.

In allen 3 Versuchsjahren war ein Anstieg des TM-Ertrages der gedüngten Varianten im Vergleich zu den ungedüngten zu verzeichnen. Ein signifikanter Massezuwachs bei Düngergaben über einen N-Sollwert von 60 kg/ha erfolgte jedoch nur im Jahr 1999. Der Farbstoffgehalt nahm 1998 und 1999 bei den Varianten 3 und 4 mit höherer N-Versorgung deutlich ab, so dass in beiden Jahren mit der N-Versorgung von 60 kg/ha zu Vegetationsbeginn die höchsten Farbstoffträge je Flächeneinheit realisiert werden konnten. Der Einfluss höherer N-Gaben auf den Farbstoffgehalt war im Gegensatz dazu im Versuchsjahr 2000 wesentlich geringer. Erst bei der höchsten N-Stufe war ein tendenzieller Rückgang der Farbstoffgehalte zu verzeichnen. Die Ursache hierfür könnte in der trockenen Vorsommerwitterung zu suchen sein, die die Verfügbarkeit des Stickstoffs im Boden stark einschränkte (Tab. 5).

Tabelle 5: Einfluss der N-Düngung auf Trockenmasseertrag, Farbstoffgehalt und -ertrag bei Färberwau, VS Dornburg 1998 bis 2000

N-Sollwert ¹⁾ zu Saat (kg N/ha)	Ertrag (dt TM/ha)			Farbstoffgehalt (% i.d. TM)			Farbstoffertrag (kg/ha)		
	1998	1999	2000 ²⁾	1998	1999	2000	1998	1999	2000 ²⁾
1 ohne N-Düngung	22,8	30,8	38,8	2,70	2,47	2,96	63,5	74,4	112,3
2 60	27,0	43,8	47,6	2,98	2,45	2,79	84,1	107,5	121,5
3 110	29,1	56,4	51,9	2,14	1,68	3,00	64,2	97,7	163,8
4 150	33,2	55,7	48,7	2,02	1,77	2,37	66,3	99,1	113,1
GD $\pm 5\%$	6,2	11,6	9,0	0,72	0,59	0,64	26,4	21,3	36,5

¹⁾ N-Sollwert = N-Düngung + N_{min}-Gehalt des Bodens (0 - 60 cm)

²⁾ Auswertung nur auf 3 Wdh., wegen geringer Bestandesdichte durch Verschlämmungen

Insgesamt ist festzustellen, dass Färberwau nur geringe Ansprüche an die Stickstoffversorgung des Bodens stellt. N-Sollwerte von ca. 100 kg/ha zu Vegetationsbeginn werden gegenüber dem N-Sollwert von 60 kg/ha nicht mehr ertragswirksam, senken dagegen den Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen beträchtlich. Es sollte deshalb im Interesse eines hochqualitativen Ernteproduktes

ein N-Sollwert von 60 kg/ha zu Vegetationsbeginn nicht überschritten werden.

3.1.4 Saatzeiten

Im Ergebnis der Saatzeitenversuche von 1998 bis 2000 kann eingeschätzt werden, dass sowohl Spätsommeransaat als auch Frühjahrsansaat erfolgreich möglich sind. Die Spätsommeransaat sollte jedoch bis spätestens Anfang September erfolgen, so dass die Pflanzen bis Vegetationsende ein Rosettenstadium von mindestens 4 bis 5 cm Durchmesser erreichen, um Auswinterungsschäden vorzubeugen. Spätherbstaaten, wie beispielsweise beim Waid, die erst im Frühjahr auflaufen, sind aufgrund des niedrigen TKG vom Färberwau nicht möglich, wie der Versuch 1998 verdeutlicht.

Die Herbstaussaat erreichte 1999 und 2000 die höchsten TM-Erträge bei gleichzeitig guten Farbstoffgehalten, so dass auch die höchsten Farbstoffträge erreicht wurden (Tab. 6). Aufgrund der günstigen Witterungsbedingungen war im Jahr 2000 ein zweiter Schnitt der Bestände möglich. Die Frühjahrsansaat erreichten in beiden Jahren die Ergebnisse der Herbstaussaat hinsichtlich TM- und Farbstofftrag nicht.

Tabelle 6: Ertrag, Farbstoffgehalt und Farbstofftrag von Färberwau in Abhängigkeit vom Aussaatzeitpunkt, VS Dornburg 1998 bis 2000

Saatzeit	Ernte			Ertrag (dt TM/ha)			Farbstoffgehalt (% i.d.TM)		Farbstofftrag (kg/ha)	
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1999	2000	1999	2000
September	nicht geprüft	01.07.	26.05 27.07	-	55,7	48,4 18,2	1,88	2,89 3,35	113,7	137,0 60,9
Σ						66,6				197,9
November	Ausfall	nicht geprüft	nicht geprüft	-	-	-	-	-	-	-
Mitte März	nicht geprüft	22.07.	nicht geprüft	-	26,8	-	1,46	-	38,0	-
Anfang April	05.08.	22.07.	08.08.	37,2	38,5	26,0	1,73	3,51	67,1	91,2
Ende April	05.08.	29.07.	29.08.	35,8	24,4	39,1	2,44	3,36	59,5	91,4
GD \pm 5%				2,8	15,1	18,5	0,64	0,67	44,4	58,3

Durch die Versuchsergebnisse wird noch einmal eindrucksvoll unterstrichen, dass insbesondere bei einer größeren Anbaufläche ein Splitting in Herbst- und Frühjahrsansaat durchaus sinnvoll ist, da die Ernte der Herbstaussaat deutlich früher möglich ist und dadurch Arbeitsspitzen bei der Ernte und der Erstverarbeitung (Trocknung) abgebaut werden können.

3.2 Kanadische Goldrute

3.2.1 Ernte der mehrjährigen Versuche

Für die Bereitstellung von Pflanzenmaterial für nachfolgende Extraktions- und Färbeversuche wurden 1998 die bereits mehrjährig im Anbau befindlichen Parzellenversuche der Kanadischen Goldrute beerntet. Dabei handelte es sich zum einen um Parzellenversuche mit einer langstängligen Wildform, zum anderen um solche mit der kurzstängligen und frühreiferen Ziervarietät 'Goldkind'. Erstere ist der letztgenannten in der Ertragsleistung nahezu um das Doppelte überlegen, wie vorhergehende Versuche zeigten (Wildform: o./ 120 dt TM/ha; 'Goldkind': o./ 70 dt TM/ha). Hinsichtlich der Farbstoffgehalte sind die Verhältnisse jedoch

genau umgekehrt (Wildform: o./ 1,2 % i.d. TM; 'Goldkind': o./ 2,3 % i.d. TM), so dass beide Formen etwa gleiche Farbstoffträge je Flächeneinheit erreichen (WURL et al., 1997).

Die unterschiedlichen Farbstoffgehalte sind dadurch bedingt, dass auch bei der Kanadischen Goldrute im Stängel kaum Farbstoffe enthalten sind (ca. 0,3 - 0,6 % i.d. TM), während die Gehalte in Blüte und Blatt bei etwa 3 % i.d. TM liegen (BIERTÜMPFEL, VETTER, 1997). Aufgrund dieser Verteilung ist die kurzstänglige, frühe Ziervarietät mit hohen Blütenanteilen der langstängligen, späten Wildform, deren Stängel zur Blüte zunehmend verkahlt, hinsichtlich des Farbstoffgehaltes weit überlegen.

Um die vorhandenen Bestände sinnvoll nutzen zu können, sind die Versuche mit der Wildform 1998 erstmalig bei ca. 60 - 70 cm Schnitthöhe geerntet worden. Damit war es möglich, den Farbstoffgehalt auf etwa 2 % i.d. TM zu erhöhen. Der Trockenmasseertrag betrug ca. 50 dt/ha, während die Sorte 'Goldkind' 70 dt TM/ha bei Farbstoffgehalten von 2,3 % i. d. TM erreichte. Insgesamt lässt sich aus den Versuchen ableiten, dass zur Gewinnung von Ausgangsmaterial für Färbezwecke nur kurzstänglige Formen mit hohen Blatt- und Blütenanteilen angebaut werden sollten. Bei einer Ganzpflanzenernte langstänglicher Formen sind die Trockenmasseerträge im allgemeinen zwar wesentlich höher, die Aufwendungen für Ernte, Transport, Lagerung und Trocknung jedoch auch. Eine Erhöhung der Schnitthöhe kann zwar zur Verbesserung der Qualität des Ernteguts der Wildformen führen, wird jedoch durch die technischen Möglichkeiten eingeschränkt.

Ausgehend von den Ergebnissen der Versuche des ersten Projektjahres wurde im Weiteren auf eine Prüfung der Wildformen verzichtet. Es erfolgte lediglich die Ernte zweier kurzstänglicher Ziervarietäten ('Goldkind', 'Strahlengold'). Aufgrund der warmen Witterung im Spätsommer 1999 kam die Varietät 'Goldkind' nochmals zur Blüte und konnte deshalb ein zweites Mal geerntet werden (Tab. 7).

Tabelle 7: Vergleich der TM-Erträge, Farbstoffgehalte und -erträge von Ziervarietäten der Goldrute, Dornburg 1999 und 2000

Varietät	Standjahr		Schnitt	Ertrag (dt TM/ ha)		Farbstoffgehalt (% i.d.TM)		Farbstoffeintrag (kg/ ha)	
	1999	2000		1999	2000	1999	2000	1999	2000
Goldkind	6	7	1	63,9	50,4	1,8	3,53	115,0	177,9
			2	12,6		2,6		32,8	
				Σ 76,5				Σ 147,8	
	4	5	1	102,9	69,5	1,7	3,32	174,9	230,7
			2	17,7		1,8		26,1	
				Σ 120,6				Σ 201,0	
Strahlengold	2	3	1	103,0	69,9	3,1	4,36	319,3	304,8

Die günstigen Witterungsbedingungen 1999 ermöglichten überdurchschnittlich hohe TM-Erträge beider Varietäten sowie einen 2. Schnitt der Sorte 'Goldkind'. Im Jahr 2000 lagen die Erträge wieder auf dem „normalen“ Niveau der kurzstänglichen Typen, wobei gleichzeitig sehr hohe Farbstoffgehalte zu verzeichnen waren. Durch den überdurchschnittlich hohen

Farbstoffgehalt sowie den ansprechenden TM-Ertrag der Varietät 'Strahlengold' lag der Farbstoffe Ertrag sowohl 1999 wie auch 2000 deutlich über dem der Sorte 'Goldkind'. Allerdings wächst diese Ziervarietät, im Gegensatz zu 'Goldkind', auch in günstigen Jahren nicht wieder nach, so dass die Möglichkeit eines 2. Schnittes entfällt. Ungünstig ist auch ihre hohe Anfälligkeit gegenüber Mehltau. Da es sich um eine F₁-Hybride handelt, scheidet die generative Vermehrung dieser Sorte wegen der großen Aufspaltung der Nachkommenschaften aus. Trotzdem kann beiden Ziervarietäten eine gute Eignung als Färberpflanze zugesprochen werden. Für einen großflächigen Anbau von Goldrute zu Färbezwecken sollten nur kurzstänglige Formen angebaut werden, um den Aufwand für Ernte, Transport, Trocknung und Lagerung zu minimieren.

3.2.2 Direktsaat

Kanadische Goldrute hat ein außerordentlich niedriges Tausendkorngewicht (0,02 g). Zusätzlich wird die Direktsaat ins Freiland durch die schlechten Fließeigenschaften des Saatgutes erschwert. Versuche zur Drillsaat im zeitigen Frühjahr mit unbehandeltem bzw. pilliertem Saatgut schlugen fehl. Die Goldrute lief verzögert auf, entwickelte sich nur langsam und wurde vom Unkraut völlig überwachsen.

Auch die Möglichkeit, Goldrutenbestände durch Direktsaat zum Zeitpunkt ihrer natürlichen Reife (September) zu etablieren, wurde geprüft. Obwohl die Pflanzen relativ zahlreich aufkamen und das Unkraut durch mehrmaliges Mähen der Parzellen bekämpft wurde, reichte auch hier die Konkurrenzfähigkeit der Goldrutejungpflanzen nicht aus, um einen geschlossenen Bestand zu bilden. Das Auspflanzen vorkultivierter Jungpflanzen bleibt deshalb die einzige praxisrelevante Möglichkeit zur Etablierung von Goldrutenbeständen. Da die Bestände, wie die bisherigen Versuche belegen, mindestens 7 Jahre nutzbar sind, fallen die erhöhten Aufwendungen für die Bestandesetablierung wirtschaftlich nicht zu stark ins Gewicht.

3.3 Färberhundskamille

3.3.1 Saatzeiten

Färberhundskamille als Blütenfarbstoff erreicht relativ hohe und stabile Farbstoffe Erträge je Flächeneinheit. Inwiefern sich diese Erträge durch unterschiedliche Aussaattermine beeinflussen lassen, war Inhalt eines von 1998 bis 2000 durchgeführten Saatzeitenversuchs. In diesem Versuch wurden neben einer Herbstaussaat (1998 November, 1999 und 2000 September) 2 - 3 Aussaattermine im Frühjahr hinsichtlich des Ertrages und des Farbstoffgehaltes geprüft.

Die 1. Aussaat (Spätherbst) des Versuches 1998 lief im Frühjahr sehr schlecht auf, so dass die Variante umgebrochen werden musste. Ein derart später Aussaattermin erscheint wegen des hohen Anbau-Risikos nicht sinnvoll. Eine Möglichkeit, Färberhundskamillebestände durch Herbstaussaat zu etablieren, bietet sich durch eine Aussaat im September, wie der Versuch des Jahres 2000 belegt. Die Pflanzen gingen, analog zu Färberwau, im Rosettenstadium in den Winter. Da Färberhundskamille zweijährig ist, traten erwartungsgemäß keine Auswinterungsschäden auf. Im Frühjahr entwickelten sich die Pflanzen sehr zügig und erreichten die Erntereife ca. 2 Monate vor den Frühjahrsaussaaten. Die hohen Erträge und Farbstoffgehalte rechtfertigen durchaus die Praxisrelevanz dieser Variante. Ähnlich wie bei Färberwau kann auch hier die Erntekampagne verlängert und Arbeitsspitzen in Ernte und

Trocknung gemindert werden.

Die 3 Frühjahrsaussaaten bildeten in allen 3 Versuchsjahren ausgeglichene Bestände. Es zeigte sich jedoch, dass eine Saatzeit Mitte April offenbar in Bezug auf die Biomasse und den Farbstoffe­rtrag sowohl der frühesten Aussaat Ende März als auch der späteren Ende April signifikant überlegen war. Die Ursachen für diese Ergebnisse können nach den bisherigen Versuchen nicht genannt werden (Tab. 8).

Tabelle 8: Einfluss der Saatzeit auf Ertrag, Farbstoffgehalt und -ertrag bei Färberhundskamille VS Dornburg 1998 bis 2000

Saatzeit	Erntezeitpunkt			Ertrag (dt TM/ha)			Farbstoffgehalt (%)			Farbstoffe­rtrag (kg TM/ha)		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
1 September	nicht geprüft	nicht geprüft	22.06	-	-	18,4	-	-	5,56	-	-	98,7
2 November	Ausfall	nicht geprüft	nicht geprüft	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Ende März	18.08.	Ausfall	28.08.	13,1	-	14,4	5,02	-	4,41	65,5	-	63,9
4 Mitte April	19.09.	17.08.	nicht geprüft	16,3	16,9	-	5,20	5,00	-	84,5	85,2	-
5 Ende April	28.09.	25.08.	31.08.	8,6	13,7	11,4	5,61	4,96	4,80	48,1	68,3	54,8
GD _{t, 5%}				3,9	2,4	3,9	0,39	0,41	0,96	18,8	16,9	26,2

Bevor nicht weitere Versuchsergebnisse vorliegen, sollte bei der Frühjahrsaussaat der Färberhundskamille auf eine nicht zu frühe Aussaat orientiert werden. Generell ist aber aus Gründen der Ertragshöhe und -sicherheit eine Herbstsaussaat anzustreben.

3.3.2 Praxisversuch

Im Rahmen des Projektes wurde ein Praxisanbau (0,3 ha) von Färberhundskamille im 2. Anbaujahr in der Agrargenossenschaft Nöbdenitz betreut. Vorrangiges Ziel war es, die Möglichkeit der maschinellen Blütenpflücke mit den Erntemaschinen, wie sie beim Anbau der Echten Kamille zum Einsatz kommen, zu prüfen.

Es zeigte sich, dass ein Einsatz dieser Maschinen in der Färberhundskamille problemlos möglich ist. So konnte ein Ertrag von 9,3 dt/ha erzielt werden, obgleich die Ernte aufgrund der feuchten Witterungsverhältnisse etwas zu spät erfolgte. Die im Erntegut befindlichen Blatt- und Stängelanteile stören nach Aussagen potentieller Anwender nicht bei der Weiterverarbeitung. Färberhundskamille ist damit ohne größere Schwierigkeiten für den großflächigen Anbau geeignet. Voraussetzung ist allerdings, dass der Anbaubetrieb über die notwendige Technik zur maschinellen Blütenpflücke verfügt.

3.4 Krapp

3.4.1 Prüfung der Erntetechnik

In einem 3jährigen Krappbestand in Dammkultur (50 cm Dammapstand) war im Herbst 1998 die Erprobung des Einsatzes verschiedener, bereits in anderen Bereichen üblicher Wurzelerntetechnik geplant. Folgende Maschinen sollten geprüft werden:

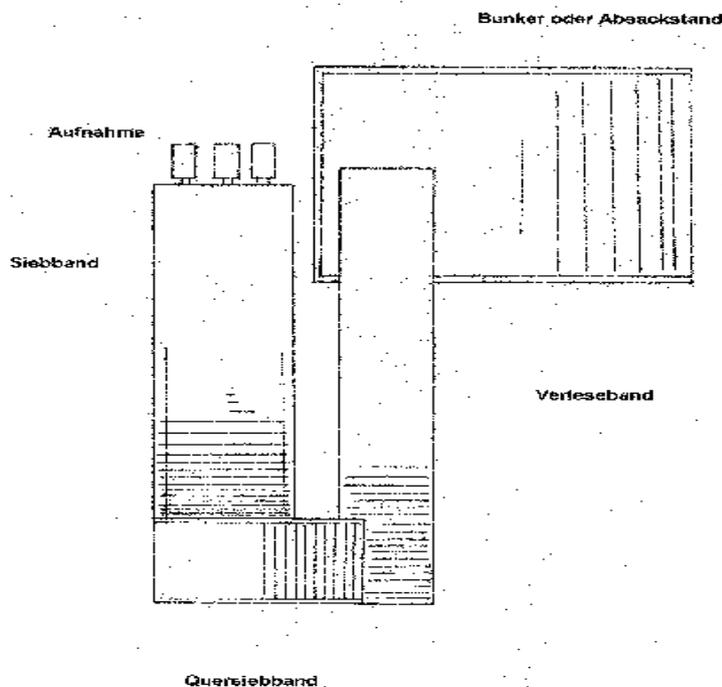
- Fechserernter aus der Hopfenjungpflanzenproduktion
- herkömmlicher Siebkettenroder aus der Kartoffelproduktion

- modifizierte Kartoffelerntetechnik aus dem Pfefferminzanbau (Stolonenernter)
- spezielle Kartoffelerntemaschine, angepasst an die Krappwurzeln (Vollernter).

Aufgrund der ungünstigen Witterungsverhältnisse im Herbst 1998 konnte nur die erstgenannte Maschine auf einer relativ kleinen Fläche getestet werden.

Der Hopfenfechserernter war mit einem Spatenschar ausgerüstet, das jeweils einen Damm aufnahm. Die Erde und das Erntegut wurden über Siebketten und Klutenzerkleinerer geleitet, die die Erdbestandteile relativ gut abtrennten und die Krappwurzeln auf einem seitlichen Schwad ablegten. Die Aufnahme erfolgte per Hand, könnte aber auch mechanisiert werden.

Im Laufe der Erntearbeiten setzte wiederum starker Regen ein, der die Weiterführung der Ernte verhinderte. Trotzdem kann bereits eingeschätzt werden, dass die geprüfte Maschine mit geringfügigen Modifizierungen durchaus für die Krappernte geeignet ist. Nachteilig wirkte sich vor allem der Dammanstand von 50 cm aus, der nicht mit dem Radstand des Gerätes übereinstimmte, der auf Abstände von 75 cm ausgerichtet ist.



Die Prüfung der im Projekt festgelegten Erntetechnik wurde im Vegetationsjahr 1999 fortgesetzt. Im zeitigen Frühjahr kamen eine Kartoffelvollerntemaschine der Fa. Lehrke sowie ein modifizierter Siebkettenroder, der zur Pfefferminzstolonenernte eingesetzt wird, zum Einsatz. Im Herbst (September) konnten außerdem zwei Kartoffelvollernter geprüft werden.

Mit dem Kartoffelvollernter der Fa. Lehrke wurde ein 3jähriger Krappbestand mit 50 cm Dammanstand sowie einige Dämme eines 2jährigen

Bestandes mit 75 cm Dammanstand beerntet. Über Spatenschar erfolgte eine seitliche Aufnahme der Wurzeln und der Erde. Diese wurden dann über verstellbare Siebketten (rüttelnd) und Fallstufen sowie Klutenzerkleinerer voneinander getrennt (Abb. 3).

Die zu hohe Bodenfeuchte zum Erntezeitpunkt verhinderte bei der Rodung der Versuchsfläche eine saubere Trennung von Wurzeln und Erde. Als vorteilhaft erwies sich der weitere Dammanstand des 2jährigen Bestandes.

Etwas später kam unter wesentlich günstigeren Bodenfeuchtebedingungen der Pfefferminzstolonenernter zur Ernte des Bestandes mit engem Dammanstand (50 cm) zum Einsatz. Durch die bessere Siebfähigkeit des Bodens konnte ein Großteil der aufgenommenen Erde über Siebketten abgetrennt werden. Der Austrag der Wurzeln erfolgte über ein Förderband

entweder auf einen nebenherfahrenden Hänger oder auf die Erde.

Die im Herbst geprüfte Erntetechnik (Kartoffelroder - Fa. Grimme; Fa. Wühlmaus) war hinsichtlich des technischen Ablaufs mit dem Vollernter der Fa. Lehrke im Frühjahr zu vergleichen (siehe Abb. 3). Auch hier erwies sich der Dammanstand von 75 cm als vorteilhaft. Die Rodung der Krappwurzeln erfolgte bei beiden Maschinen ohne wesentliche Aufnahmeverluste, eine entsprechend saubere Abtrennung der Feinerde bis zum Verleseband war ebenfalls gegeben. Probleme bereitete dem Kartoffelroder der Fa. Wühlmaus die Abtrennung größerer Beimengungen, wie Kluten, Steine etc. bis zum Verleseband. Dies konnte bei der zweiten Maschine über regulierbare, unmittelbar vor dem Verleseband angebrachte Förderbänder gelöst werden. Die Verlestationen beider Maschinen gewährleisteten eine nochmalige Sortierung vor der Schwadablage. Während die Maschine der Fa. Grimme die Wurzeln ohne Erdbeimengungen im Schwad ablegte, waren bei der zweiten Maschine noch erhebliche Beimengungen (Kluten, Steine, etc.) im Erntegut vorhanden.

Im Herbst 2000 wurde der Hopfenfechserernter in einem 3jährigen Bestand mit 75 cm Dammanstand bei optimalen Bodenbedingungen nochmals geprüft. Dieser Versuch bestätigte die Eignung der Maschine zur Wurzelernte bei Krapp.

Zusammenfassend ist einzuschätzen, dass alle geprüften Erntemaschinen bei optimalen Bodenbedingungen auch auf schweren Böden für eine verlustarme Ernte von Krappwurzeln in Betracht kommen. Durch geringfügige technische Veränderungen bei den Siebeinrichtungen ist die Eignung der einzelnen Maschinen noch zu verbessern.

Alle geprüften Maschinen legen die Krappwurzeln auf dem Schwad ab. Nach der Schwadablage kann das Erntegut mit einem großzinkigen Feldrechen zur anschließenden Bergung zusammengezogen werden. Die Möglichkeit, das Erntegut durch ein an der Maschine angebrachtes Schrägförderband direkt auf eine Transporteinheit zu führen, ist ebenfalls zu prüfen.

3.4.2 Wurzelwäsche

Unmittelbar an die Ernte (Frühjahr, Herbst) schloss sich die Reinigung der Wurzeln auf einer Baldrianwurzelwaschanlage der Agrargenossenschaft Ranis an.

Über zahlreiche trockene Reinigungsvorstufen gelangten die Wurzeln in eine mit Hochdruckdüsen bestückte Waschtrommel. Dort wurden sie von den größeren, fest anhaftenden Erdresten befreit. Die Feinerde konnte über das Einweichen der Wurzeln in einem Wasserbad abgetrennt werden. Im Anschluss an den Waschvorgang erfolgte die Trocknung in einer Anlage (Flächentrocknung) für Arznei- und Gewürzpflanzen bei Temperaturen zwischen 30 - 40 °C. Um die entsprechende, von den Extraktionspartnern geforderte Qualität zur Weiterverarbeitung bereitzustellen, wurden die Wurzeln in ca. 1 - 1,5 mm lange Stücke gehäckselt. Die Gesamtfarbstoffgehalte des auf diese Weise hergestellten Rohstoffs lagen im Mittel bei 7,2 % i. d. TM. Das Verhältnis von Ruberythrinsäure zu Alizarin betrug 40 : 60.

Wiederholte Laboruntersuchungen zeigen die unterschiedlichen Gehalte an den Hauptinhaltsstoffen Ruberythrinsäure und Alizarin in den einzelnen Wurzelfractionen. Der Gesamtfarbstoffgehalt in den Haarwurzeln ist mit 14 % recht hoch, was die Notwendigkeit der

Ernte der Krappwurzeln in ihrer Gesamtheit nochmals unterstreicht (Tab. 9).

Tabelle 9: Vergleich der Hauptinhaltsstoffe der Krappwurzel in unterschiedlichen Fraktionen

Pflanzenfraktion	Gesamtfarbstoff (% i.d.TM)	Ruberythrinsäure ¹⁾ (% i. d. TM)	Alizarin (% i. d. TM)
Wurzelrinde	7,90	4,50	2,59
Wurzelkern	10,45	9,82	0,72
Wurzelhals	9,11	5,33	3,78
Haarwurzeln	14,07	12,48	1,59

¹⁾ als Alizarinäquivalent

3.4.3 Anbau in Dammkultur

Im April 1998 ist eine Großparzelle (1.000 m²) Krapp in vorgeformten Dämmen angelegt worden. Analog zum Kartoffelanbau und in Anbetracht der vorgesehenen Erntetechnik wurde ein Dammabstand von 75 cm gewählt. Die Aussaatstärke betrug 10 kg/ha. Zur Unkrautbekämpfung kamen Roundup (5 l/ha) im Vorauf- sowie Betanal (3 l/ha) im Nachaufverfahren zur Anwendung. Eine mechanische Unkrautbekämpfung ist im Dammanbau durch Nachhäufeln der Dämme ebenfalls möglich. Der Bestand entwickelte sich relativ gleichmäßig und ist im Herbst 2000 mit einer Kartoffelvollerntemaschine beerntet worden. Die Erträge erreichten 25 dt TM/ha. Eine Möglichkeit, die normale Vegetationsdauer des Krapps von 3 Jahren etwas zu verkürzen, könnte in der Sommeraussaat bestehen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine gute Bestandesetablierung im Ansaatjahr vor der Vegetationsruhe. Zur Prüfung dieser Variante wurde im August 1999 eine Großparzelle (500 m²) angelegt. Das Anbauverfahren entsprach dem der Frühlingsaussaat 1998. Die Beerntung dieser Parzelle steht im Herbst 2001 an.

3.5 Färberknöterich

3.5.1 Herbizidverträglichkeit

Färberknöterich ist für den Anbau unter mitteleuropäischen Bedingungen gut geeignet. Einen Schwachpunkt im bisherigen Anbauverfahren stellt die Unkrautbekämpfung dar. Färberknöterich ist relativ schnellwüchsig. Eine einmalige Herbizidapplikation im Voraufverfahren bzw. im frühen Jungpflanzenstadium dürfte ausreichend sein. In späteren Entwicklungsstadien ist die Pflanze durchaus in der Lage, auflaufende Unkräuter zu unterdrücken.

Welche Herbizide vom Färberknöterich toleriert werden und ihn gleichzeitig vor starker Verunkrautung schützen ist in den Jahren 1998 - 2000 intensiv untersucht worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Herbizidvarianten Färberknöterich, Dornburg 1998 - 2000

Herbizid	Jahr			Aufwandmenge (kg bzw. l/ha)	Anwendung	Verträglichkeit	Wirksamkeit
	1998	1999	2000				
unbehandelte Kontrolle	x	x	x				
Compete	x	x		0,1	NA	gut	mangelhaft
Duplosan KV	x	x		2,0	NA	mittel (Pflanzen stagnieren)	mangelhaft
TM Compete + Duplosan KV	x			0,1 + 2,0	NA	schlecht	gut
TM Compete +	x			0,07 + 1,5	NA	schlecht	gut

Duplosan KV							
TM Compete + Duplosan KV	x			0,1 + 2,0	VA	schlecht	gut
Patoran FL		x	x	2,0	VA	gut	gut
Roundup		x	x	3,0	VA	gut	mangelhaft
Stomp			x	4,0	VA	schlecht	gut

Es ist ersichtlich, dass der Färberknöterich im Nachauflauf lediglich das Herbizid Compete in ausreichendem Maße tolerierte, wobei die Wirkung gegenüber Unkräutern jedoch sehr eingeschränkt ist. Gute Verträglichkeit und Wirksamkeit wiesen die Behandlung mit Patoran FL und Roundup im Voraufauf auf, wobei das letztgenannte Mittel ein reines Kontaktherbizid ist, das keinerlei Bodenwirkung aufweist. Es ist deshalb dringend erforderlich, dieses Mittel erst kurz vor dem Auflaufen der Pflanzen zu applizieren. Die Anwendung von Stomp führte im 4 - 5-Blattstadium des Knöterichs zu einem verstärkten Ausfall der Pflanzen, so dass eine Anwendung nicht zu empfehlen ist. Die aussichtsreichsten Varianten werden seit 1999 in die Lückenindikation überführt, so dass in absehbarer Zeit mit einer Zulassung von Pflanzenschutzmitteln im Färberknöterich zu rechnen ist.

3.5.2 N-Düngung

In vorangegangenen Gefäß- und Parzellenversuchen zeigte sich wiederholt, dass der Färberknöterich sowohl zur Masse- wie auch zur Indigobildung eine ausreichende N-Versorgung benötigt (WURL et al., 1997). Zur weiteren Abklärung dieser Problematik wurde von 1998 - 2000 ein N-Düngungsversuch mit 7 Varianten angelegt, der zweischnittig geerntet worden ist. Der 1. Schnitt erfolgte ca. 1 Woche nach Bestandesschluss Anfang August, der 2. Schnitt nach ausreichendem Wiederaufwuchs Anfang bis Mitte Oktober. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Einfluss der N-Düngung auf TM-Ertrag, Farbstoffgehalt und -ertrag bei Färberknöterich VS Dornburg 1998 bis 2000

N-Düngung (kg/ha) 1.,1) + 2.,2) Gabe	Σ	Schnitt	Blattertrag (dt TM/ha)			Blatt:Stängel-Verhältnis			Indicangehalt (% i.d. TM)			Indigoertrag (kg/ha)		
			1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
ohne		1.	9,5	9,0	6,6	1 : 1,04	1 : 1,48	1 : 0,82	3,24	2,45	3,05	15,5	10,0	10,2
		2.	10,8	9,7	15,9	1 : 0,55	1 : 1,01	1 : 0,72	3,46	1,78	3,25	18,2	8,6	26,1
Σ			20,3	18,7	22,5							33,7	18,6	36,3
80 + 40	120	1.	9,8	12,9	9,6	1 : 0,97	1 : 1,64	1 : 0,85	3,96	2,96	6,86	19,0	19,2	32,8
		2.	13,0	14,6	19,6	1 : 0,52	1 : 0,92	1 : 0,65	3,11	3,28	4,17	20,3	24,0	41,2
Σ			22,8	27,5	29,2							39,3	43,2	74,0
80 + 60	140	1.	8,5	13,9	8,1	1 : 1,06	1 : 1,64	1 : 0,77	3,96	3,83	6,86	17,1	27,2	27,7
		2.	10,6	14,2	22,5	1 : 0,56	1 : 0,98	1 : 0,61	3,59	2,88	4,30	18,7	20,5	48,8
Σ			19,1	28,1	30,6							35,8	47,7	76,5
120 + 20	140	1.	10,3	15,6	9,1	1 : 0,90	1 : 1,47	1 : 0,73	4,13	4,72	7,31	21,5	36,8	31,2
		2.	11,9	12,6	19,8	1 : 0,55	1 : 0,93	1 : 0,68	3,92	2,79	3,39	22,9	17,6	33,2
Σ			22,2	28,2	28,9							44,4	54,4	64,4
120 + 40	160	1.	10,6	16,1	8,4	1 : 0,88	1 : 1,60	1 : 0,74	4,13	4,03	7,31	22,0	32,5	30,0

		2.	14,1	13,5	22,3	1:0,48	1:0,88	1:0,63	3,58	3,00	5,04	25,0	20,0	55,7
Σ			24,7	29,6	30,7							47,0	52,5	85,7
160 + 0	160	1.	13,6	16,8	10,0	1:1,04	1:1,50	1:0,70	3,91	4,99	8,19	27,0	42,4	40,3
		2.	13,0	11,4	22,1	1:0,45	1:0,88	1:0,68	3,55	2,94	4,57	23,1	17,0	50,6
Σ			26,6	28,2	32,1							50,1	69,4	90,9
160 + 20	180	1.	11,6	16,6	9,9	1:0,93	1:1,41	1:0,74	3,91	3,76	8,19	22,8	31,4	40,8
		2.	15,1	11,4	25,6	1:0,54	1:1,18	1:0,63	3,82	4,11	3,18	29,2	22,1	40,7
Σ			26,7	28,0	35,5							52,0	53,5	81,5
GD _{t, 5%}		1.	2,7	3,0	2,8				0,57	1,33	1,91	6,8	13,6	12,6
		2.	3,1	2,4	4,1				0,71	1,06	1,04	7,1	7,2	14,0

¹⁾ N-Sollwert = N-Düngung + N_{min}-Gehalt im Boden (0 - 60 cm)

²⁾ N-Gabe nach dem 1. Schnitt

Es ist ersichtlich, dass die Bemessung der ersten N-Gabe entscheidend für die Höhe des Indigoertrages ist. Die höchsten Indigoerträge werden bei einem N-Sollwert von 160 kg/ha erreicht. Eine einmalige hohe Gabe zu Vegetationsbeginn erweist sich dabei im allgemeinen als günstiger für die Farbstoffbildung als ein Splitting der N-Düngung. Selbst die Variante mit einer N-Gabe von 60 kg/ha nach dem 1. Schnitt war nicht in der Lage den Ertragsrückstand gegenüber den zu Vegetationsbeginn besser versorgten Prüfgliedern auszugleichen. Wahrscheinlich bestocken sich die Pflanzen bei geringerer N-Düngung zu Vegetationsbeginn weniger als bei ausreichender Versorgung und sind dann später nicht in der Lage, diesen Mangel auszugleichen. Mit steigender N-Gabe steigen sowohl Ertrag wie auch Indicangehalt nahezu proportional an.

3.5.3 Erntevarianten

Von großer Bedeutung beim Anbau von Färberknöterich ist das Schnittregime. Da der Farbstoff bei dieser Pflanze nur in den Blättern enthalten ist, muss ein möglichst hoher Blattertrag bei jeder Ernte realisiert werden. Ein zu später Schnitt wirkt sich nicht nur negativ auf das Blatt:Stängel-Verhältnis aus, er geht in der Regel auch mit niedrigeren Farbstoffgehalten einher, da der Farbstoffgehalt zu Blühbeginn in den Blättern signifikant abfällt. Zu dieser Problematik kam von 1998 bis 2000 ein Versuch mit unterschiedlichen Erntevarianten zum Anbau. Aufgrund der günstigen Witterungsverhältnisse 1999 waren die Varianten in diesem Jahr wie folgt festgelegt:

- 1 1. Schnitt zu Bestandesschluss, 2. Schnitt nach 4 Wochen, 3. Schnitt Anfang Oktober
- 2 1. Schnitt zu Bestandesschluss, 2. Schnitt Anfang Oktober
- 3 1. Schnitt Variante 1 + 7 Tage, 2. Schnitt nach 4 Wochen, 3. Schnitt Anfang Oktober
- 4 1. Schnitt Variante 1 + 7 Tage, 2. Schnitt Anfang Oktober
- 5 1. Schnitt Variante 1 + 14 Tage, 2. Schnitt nach 4 - 6 Wochen
- 6 1. Schnitt Variante 1 + 14 Tage, 2. Schnitt Anfang Oktober
- 7 1. Schnitt Variante 1 + 21 Tage, 2. Schnitt nach 4 - 6 Wochen
- 8 1. Schnitt Variante 1 + 14 Tage, 2. Schnitt Anfang Oktober

1998 und 2000 kamen nur die Varianten 2, 4, 6 und 8 zur Anwendung (Tab. 12).

Tabelle 12: Einfluss des Ernteregimes auf Ertrag und Farbstoffgehalt von Färberknöterich VS Dornburg 1998 bis 2000

Var.	Schnitt	Erntetermin			Blattertrag (dt TM/ha)			Blatt:Stängel-Verhältnis			Indicangehalt (% TM)			Indigoertrag (kg/ha)		
		1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000

1	1	-	19.07.	-	-	13,7	-	-	1 : 0,88	-	-	2,97	-	-	18,0	-
	2	-	31.08.	-	-	15,7	-	-	1 : 0,85	-	-	3,49	-	-	24,8	-
	3	-	04.10.	-	-	10,0	-	-	1 : 0,30	-	-	2,48	-	-	10,6	-
Σ						39,4									53,4	
2	1	11.08.	19.07.	02.08.	10,6	13,7	9,9	1 : 0,78	1 : 0,88	1 : 0,66	2,55	2,97	3,41	12,2	18,0	16,8
	2	05.10.	04.08.	25.09.	12,4	28,5	13,7	1 : 0,48	1 : 1,46	1 : 0,67	4,09	2,12	4,00	25,4	27,0	23,6
Σ					22,9	42,3	33,6							37,6	45,0	40,4
3	1	-	26.07.	-	-	18,8	-	-	1 : 1,25	-	-	2,80	-	-	23,2	-
	2	-	03.09.	-	-	13,4	-	-	1 : 0,58	-	-	4,57	-	-	27,4	-
	3	-	04.10.	-	-	10,0	-	-	1 : 0,54	-	-	1,97	-	-	8,8	-
Σ						42,2									59,4	
4	1	18.08.	26.07.	07.08.	13,6	18,8	13,5	1 : 0,82	1 : 1,25	1 : 0,96	3,15	2,80	5,00	21,5	23,2	33,1
	2	07.10.	04.10.	29.09.	12,1	27,2	19,5	1 : 0,37	1 : 1,45	1 : 0,69	4,49	2,52	4,38	27,6	30,2	41,8
Σ					25,7	46,0	33,0							49,1	53,4	74,9
5	1	-	02.08.	-	-	16,1	-	-	1 : 1,58	-	-	3,14	-	-	22,0	-
	2	-	13.09.	-	-	13,5	-	-	1 : 0,75	-	-	3,46	-	-	20,2	-
Σ						29,5									42,2	
6	1	24.08.	02.08.	14.08.	14,5	16,1	14,9	1 : 0,93	1 : 1,58	1 : 1,02	3,85	3,14	5,54	27,6	22,0	41,2
	2	07.10.	04.10.	10.10.	8,5	24,8	20,6	1 : 0,32	1 : 1,00	1 : 0,62	4,20	2,72	3,40	17,8	30,2	35,3
Σ					23,0	40,9	35,5							45,4	52,2	76,5
7	1	-	09.08.	-	-	19,5	-	-	1 : 1,58	-	-	3,23	-	-	28,0	-
	2	-	15.09.	-	-	13,1	-	-	1 : 0,92	-	-	1,44	-	-	8,4	-
Σ						32,6									36,4	
8	1	31.08.	09.08.	21.08.	18,6	19,5	19,3	1 : 1,07	1 : 1,58	1 : 1,26	3,74	3,23	4,34	34,6	28,0	41,6
	2	07.10.	04.10.	10.10.	6,6	21,6	15,0	1 : 0,33	1 : 1,10	1 : 0,56	3,95	2,77	3,36	13,1	26,7	25,2
Σ					25,2	41,1	34,3							47,7	54,7	66,8
GD _t , 5%	1				4,0	2,8	3,8				1,20	0,66	1,43	10,4	5,3	14,1
	2				4,6	6,4	3,7				1,35	1,19	0,67	11,1	9,6	9,1
	3				-	2,0	-				-	0,47	-	-	4,4	-

Die Ergebnisse belegen, dass frühe Schnitftermine günstige Blatt:Stängel-Verhältnisse bei hohen Farbstoffgehalten gewährleisten. Bei späteren Ernteterminen steigt der Stängelanteil im Erntegut stark an, was erhöhte Aufwendungen bei Transport und Erstverarbeitung nach sich zieht.

Generell weist der Versuch aber auch aus, dass es bei einem ausgewogenen Schnittregime über einen relativ langen Zeitraum möglich ist, eine Extraktionsanlage kontinuierlich mit frischem Pflanzenmaterial hoher Qualität zu versorgen und die Verarbeitungsanlage somit über den Zeitraum von Mitte Juli/Anfang August bis Mitte Oktober auszulasten.

3.6 Extraktionsversuche

Die Indigoextraktion aus Färberknöterich ist relativ einfach. Bisher wurde die Methode als Einstufenprozess über wässrige Extraktion und anschließende Fällung durchgeführt. Mit der im Rahmen des Projektes errichteten Anlage sollte es möglich sein, das Extraktionsverfahren zu optimieren. Hierbei war an eine optimale Extraktionsdauer, an Untersuchungen zu Effizienz eines Mehrstufenprozesses ebenso zu denken, wie an eine einfache und dabei technologisch günstige Lösung des Gesamtverfahrens.

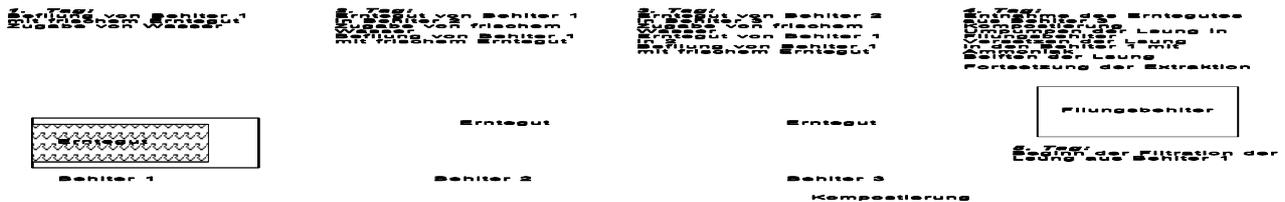
Das gesamte Erntegut des Färberknöterichs aus den agrotechnischen Versuchen von 1998 bis 2000 wurde extrahiert. Von Mitte Juli bis Mitte Oktober war eine kontinuierliche Beschickung der Extraktionsanlage durch die gestaffelten Ernteterminen und die zweischrittige Nutzung der Versuche möglich.

Insgesamt sind während der Ernteperiode etwa 20 Varianten getestet worden. Dabei wurden die folgenden Parameter variiert (Tab. 13).

Tabelle 13: Varianten der Indigoextraktion mit der halbtechnischer Extraktionsanlage am Standort Dornburg, 1998 bis 1999

Parameter	Variationsspektrum		
	1998	1999	2000
Blattmenge/Behälter	50 - 150 kg FM (1 - 3 x frische Blätter)	60 - 250 kg FM (1 - 5 x frische Blätter)	100 kg FM (2 x frische Blätter)
Verweildauer der Blätter im Wasser	24 - 48 h	24 - 96 h	48 - 144 h
Umgebungstemperatur	15 - 35 °C	14 - 40 °C	14 - 35 °C
Fällungsmittel	NH ₄	NH ₄	NH ₄ , KOH, NaOH
Belüftungsdauer	3 - 10 h	2 - 18 h	2 - 4 h
Belüftungsintensität	-	hoch, mittel, niedrig	hoch
Separationsverfahren	Filtration Zentrifugation (Labor-zentrifuge)	Filtration Zentrifugation (Kammerseparator)	Filtration

In den ersten Versuchen 1998 wurde die Extraktion als kontinuierlicher Mehrstufenprozess



durchgeführt. Die Vorgehensweise verdeutlicht Abbildung 4.

Es zeigte sich jedoch sehr schnell, dass nach diesem Verfahren nur geringe Indigoausbeuten erzielt werden können. Besonders niedrig waren die Ausbeuten des dreimal in frischem Wasser eingeweichten Erntegutes. Etwas höhere Indigogehalte wiesen die mehrmals mit frischem Erntegut beschickten Lösungen auf. Daraufhin wurde die Extraktionsdauer in jedem Behälter auf 48 h erhöht. Deutlich bessere Resultate wurden dadurch nicht erzielt. Auch ein Zerkleinern des Erntegutes verbesserte die Ausbeute nicht und führte außerdem zu einer starken Verunreinigung des Rohindigos durch Pflanzenteile (s. Tab. 15). Untersuchungen am ausgelagten Erntegut lieferten die in Tabelle 14 aufgeführten Ergebnisse.

Tabelle 14: Indican- und Indigogehalt in ausgelagtem Erntegut nach unterschiedlicher Extraktionsdauer 1998 (2 Wdh.)

Variante	Indicangehalt (mg/g FM)	Indigogehalt (mg/g FM)
Frishes Erntegut 24 h in frischem Wasser (1. Behälterfüllung)	5,28	0,27
Frishes Erntegut 24 h in Lösung (2. Behälterfüllung)	0,07	0,50
Frishes Erntegut 24 h in Lösung (3. Behälterfüllung)	0,06	0,44
Frishes Erntegut 48 h in frischem Wasser (1. Behälterfüllung)	0	0,26

Frisches Erntegut 48 h in Lösung (2. Behälterfüllung)	0,11	0,41
Frisches Erntegut gehäckselt 48 h in frischem Wasser (1. Behälterfüllung)	0	0,10

Die Untersuchungen zeigen, dass bei dem in frischem Wasser ausgelaugten Pflanzenmaterial nach einer Einweichdauer von 24 h die Indicangehalte noch recht hoch sind. Erst nach einer Dauer von 48 h ist das Material, unabhängig vom Zerkleinerungsgrad, nahezu vollständig ausgelaugt. Frisches Erntegut, dass in eine Lösung gegeben wird (2. bzw. 3. Behälterfüllung), enthält dagegen bereits nach 24 h nahezu kein Indican mehr, was wahrscheinlich durch den niedrigeren pH-Wert der Lösung im Vergleich zum frischen Wasser bedingt ist. Aufgrund dieser Tatsache erscheint ein Mehrstufenprozess nicht sinnvoll.

Der Anteil des im ausgelaugten Material enthaltenen Indigos unterschied sich bei den einzelnen Varianten nur unwesentlich. Größere Verluste durch die irreversible Umsetzung der indigobildenden Vorstufe in wasserunlösliches Indigo in der Pflanze während des Extraktionsprozesses traten nicht auf.

Die weiteren Extraktionsversuche wurden nach einem variierten Schema durchgeführt:

Einweichen des Erntegutes in frischem Wasser (48 h)



Entnahme des Erntegutes → Kompostierung



Einweichen von frischem Erntegut in der Lösung (24 - 48 h)



Entnahme des Erntegutes → Kompostierung



Einweichen von frischem Erntegut in der Lösung (24 - 48 h)



Entnahme des Erntegutes → Kompostierung



Zusatz von Ammoniak, Belüftung etc. (wie in Abb. 4 beschrieben).

Die Indigoausbeuten bei diesem Verfahren waren insgesamt höher und ausgeglichener. Am günstigsten erschien die Extraktionsdauer von 3 x 48 h zu sein (Tab. 15).

Tabelle 15: Tastvarianten der Indigoextraktion (Einstufen- und Mehrstufenprozess), Dornburg 1998

Variante ¹⁾ / Einweich- dauer	Blattmasse ²⁾ kg TM	Indigogehalt im Blatt % i. d. TM	gewonnenes Rohindigo g	Indigogehalt im Rohindigo %	Reinindigo berechnet ³⁾ gewonnen		Aus- beute %
					g	g	
1 1 x 24h 1 x 24h 1 x 24h 1 x 24h 1 x 24h	4,7	3,36	203,2	26,42	79,0	53,7	68,0
	5,2	3,47	187,4	18,06	90,0	33,8	37,6
	7,1	2,00	79,0	7,27	71,0	5,7	8,0
	8,5	2,00	171,5	17,69	85,0	30,3	35,6
	5,0	3,20	165,3	12,11	80,0	20,0	25,0
x, -				16,31	81,0	28,7	34,8
2 2 x 24h 2. Ansatz	10,4	3,47	69,1	2,39	180,0	1,6	0,9
3 2 x 24h 2 x 24h	6,5	2,60	25,2	0,90	84,5	0,2	0,2
	14,2	3,00	270,2	6,58	213,0	17,8	8,4
x, -				3,74	148,8	9,0	4,3
4 3 x 24h 3 x 24h	23,7	2,10	562,8	7,37	248,8	41,5	16,7
	16,4	3,00	486,8	5,13	246,0	24,5	10,0
x, -				6,25	247,4	32,0	13,4
5 1 x 48h gehäckselt	6,4	3,85	234,0	2,41	123,2	5,6	4,5
x, - Variante 1 - 5				6,22	156,1	25,7	11,6
6 2 x 48h 2 x 48h	15,9	3,10	300,6	11,38	246,4	34,2	13,9
	9,4	3,30	318,0	12,34	155,1	39,2	25,3
	28,0	3,00	845,8	14,64	420,0	123,8	29,5
	23,2	4,20	478,6	19,57	487,2	93,7	19,2
	18,8	3,00	476,5	18,64	282,0	88,8	31,5
	21,9	2,20	448,6	32,45	240,9	145,6	60,4
	16,3	3,10	437,2	12,24	252,6	53,5	21,2
	17,2	3,60	339,5	5,66	309,6	19,2	6,2
	x, -				15,9	299,2	74,8
7 3 x 48h	25,7	3,60	567,5	25,1	462,6	142,4	30,8
x, - Variante 6 - 7³⁾				20,5	380,9	108,6	28,3

¹⁾ Variante 1 - 5 Mehrstufenprozess, 6 - 7 Einstufenprozess ²⁾ berechnet über Blatt : Stängel-Verhältnis

³⁾ zur Bildung von 1 Molekül Indigo sind 2 Moleküle Indican nötig

Basierend auf den Ergebnissen des Jahres 1998 wurde 1999 eine Mindesteinweichdauer der ersten Behälterfüllung von 48 h gewählt. 1999 durchgeführte Untersuchungen des ausgelagerten Blattmaterials wiesen kaum Farbstoffrückstände nach dieser Extraktionszeit auf (140 Proben: $x, - = 0,026$ % Indican). Im Vergleich zu 1998 war die erzielte Indigoausbeute 1999 deutlich höher, kann aber immer noch nicht befriedigen. Der tiefblaue Niederschlag besteht wiederum nur zu maximal 30 % aus Indigotin (Tab. 16). Der Rest besteht z. T. aus anderen Indigoisomeren, teilweise aber auch unlöslichen Verbindungen aus pflanzlichen Inhaltsstoffen, wie Kalium-, Magnesium- und Phosphatverbindungen (Tab. 17).

Tabelle 16: Varianten der Indigoextraktion auf halbtechnischer Anlage, Dornburg 1999

Variante ¹⁾	Belüftung (h)	Blattmasse ²⁾ (kg TM)	Indicange- gewonnene		Indigogehalt im Rohindigo (%)	Reinindigo (100%) berechnet ³⁾ gewonnen		Aus- beute (%)
			halt im Blatt (% i.d.TM)	s Rohindigo (g)		(g)	(g)	
1 48, 24, 24, 24, 24	4	26,4	3,18	436,4	7,38	418,7	32,2	7,7
2 96, 72, 48, 48	3	29,0	1,98	418,5	16,79	287,3	70,3	24,5
3 48, 24, 24, 24	4	20,9	3,18	428,8	1,47	332,6	6,4	1,9
48, 24, 24, 24	4	20,9	3,18	368,2	11,38	332,4	41,9	12,6
–					6,43	332,5	24,1	7,3
4 96, 72, 48	3	22,9	1,98	293,2	21,78	227,0	63,9	28,1
96, 72, 48	3	22,9	1,98	269,3	16,38	226,9	44,1	19,4
–					19,08	227,0	54,0	23,8
5 48, 48, 48	18	13,3	2,04	636,0	17,95	135,6	114,2	84,2
48, 48, 48	15	10,5	2,63	487,3	13,78	138,1	67,2	48,6
48, 48, 48	14	16,7	1,00	228,1	13,66	83,8	31,2	37,2
48, 48, 48	14	14,3	2,64	106,1	18,75	188,8	19,9	10,5
48, 48, 48	13	11,0	3,15	268,3	25,59	173,6	68,7	39,6
–					17,95	144,0	60,2	44,0
6 48, 48, 48	4	13,3	2,22	302,2	17,78	147,1	53,7	36,5
48, 48, 48	4	13,6	1,80	199,1	17,44	122,3	34,7	28,4
48, 48, 48	4	15,2	1,00	250,7	18,32	76,1	45,9	60,4
48, 48, 48	4	15,6	1,00	219,7	20,27	78,3	44,5	56,9
48, 48, 48	4	14,4	1,89	177,2	6,42	136,1	11,4	8,4
48, 48, 48	4	9,5	3,15	304,3	16,17	149,6	49,2	32,9
48, 48, 48	4	10,0	3,15	251,7	17,10	157,8	43,0	27,3
48, 48, 48	4	11,1	2,63	283,2	13,69	146,2	38,8	26,5
48, 48, 48	4	11,1	2,63	148,5	15,13	145,6	22,5	15,4
48, 48, 48	4	12,2	2,04	200,4	29,35	124,5	58,8	47,2
48, 48, 48	4	14,4	2,64	371,9	14,16	190,0	52,7	27,7
48, 48, 48	4	14,4	2,64	225,0	21,66	189,7	48,7	25,7
48, 48, 48	2	13,0	1,80	331,3	21,88	116,6	72,5	62,2
–					17,64	136,9	44,3	35,0
7 48, 24, 24	4	14,4	2,39	443,5	14,08	172,1	62,4	36,3
48, 24, 24	4	16,9	2,46	173,2	10,63	207,6	18,4	8,9
48, 24, 24	4	16,9	2,46	306,2	11,08	207,6	33,9	16,3
48, 24, 24	2	13,9	2,39	521,2	12,96	165,9	67,6	40,7
–					12,19	188,3	45,6	25,6
8 48, 24, 24	2	5,9	3,64	210,0	9,49	107,2	19,9	40,7
48, 24, 24	2	5,9	3,71	115,0	22,44	109,3	25,8	18,6
48, 24, 24	2	5,9	3,71	100,0	29,54	109,3	29,5	23,6
–					20,49	108,6	25,1	27,6
9 48, 24, 24	3	16,9	2,46	223,2	11,71	207,6	26,1	27,0
48, 24, 24	1	14,2	2,39	389,4	16,07	169,5	62,6	12,6
–					13,89	188,5	44,4	19,8
10 48, 48	4	8,9	1,11	110,3	12,17	49,4	13,4	27,2
48, 48	4	10,1	1,11	156,6	16,17	55,7	25,3	45,5
48, 48	4	8,4	1,45	257,4	21,49	60,8	55,3	91,0
–					16,61	55,3	31,4	54,5
11 96	2	3,6	2,52	83,7	12,13	45,6	10,2	22,3
96	2	4,6	2,52	227,7	24,73	58,1	56,3	96,9
96	2	4,0	2,52	96,5	18,51	50,0	17,9	35,7
–					18,46	51,2	28,1	51,6

¹⁾ Die aufgeführten Zahlen bedeuten die Verweildauer des Erntegutes im Extraktionsmittel in h, z. B. Variante 1: 48 h Einweichen in klarem Wasser, dann vierfach aufeinander folgende Extraktion immer wieder frischen Erntegutes in derselben Lösung, aus der dann nach 6 Tagen (144 h) das Indican hydrolysiert und Indigo

ausgefällt wurde

2 berechnet über Blatt:Stängel-Verhältnis

³⁾ zur Bildung von 1 Molekül Indigo sind 2 Moleküle Indican nötig

Tabelle 17: Inhaltsstoffe im Rohindigo, Mischprobe 2000

Parameter	Maßeinheit	Gehalt
Glührückstand	Masse% TS	38,8
Kalium	%	1,04
Magnesium	%	4,03
Phosphor	%	3,67
Eisen	%	0,597
Aluminium	%	0,49
Mangan	%	0,201
Kalzium	%	0,143
Natrium	mg/kg TS	89
Zink	mg/kg TS	151
Barium	mg/kg TS	37
Blei	mg/kg TS	29
Chrom	mg/kg TS	19
Kupfer	mg/kg TS	17
Titan	mg/kg TS	17
Arsen	mg/kg TS	12
Nickel	mg/kg TS	9,8
Bor	mg/kg TS	2
Kobalt	mg/kg TS	1,2
Selen	mg/kg TS	0,6
Cadmium	mg/kg TS	0,7
Molybdän	mg/kg TS	< 1
Quecksilber	mg/kg TS	< 0,05

Das wichtigste Indigoisomer ist Indirubin, das in Anteilen von 1,5 bis 20 % in dem Rohindigo enthalten ist. Indirubin ist ein roter Farbstoff von geringer Lichtbeständigkeit. Sein Vorhandensein im Indigo naturalis bewirkt einen Rotstich der Färbungen. Ebenso wie beim Indigo ist seine Menge im Niederschlag starken Schwankungen unterworfen. Bisher ist unbekannt, welche Bedingungen eine Bildung von Indirubin fördern und welche sie minimieren. Laut Literatur ist generell eine alkalische Reaktion und ein Sauerstoffüberschuss in der Lösung erforderlich, damit Isatin mit Indoxyl zu Indigo reagieren kann. Dadurch sollten kurze Belüftungszeiten für eine hohe Indigotinausbeute günstig sein. Das wird durch die vorliegenden Versuchsergebnisse nur teilweise bestätigt.

Die Extraktionsversuche wurden auch im Jahr 2000 fortgesetzt. Allerdings musste aufgrund der geringen Blatterträge auf eine dreimalige Befüllung der Behälter verzichtet werden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Vorjahre erfolgte die Belüftung generell mit hoher Intensität. Außerdem wurden neben Ammoniak auch Kali- und Natronlauge zur Hydrolyse des Indicans angewandt, was allerdings hinsichtlich der Indigoausbeute keinen Effekt erbrachte (Tab. 18).

Tabelle 18: Varianten der Indigoextraktion auf halbtechnischer Anlage, Dornburg 2000

Variante ¹⁾	Belüftung (h)	Blattmasse ²⁾ (kg TM)	Indicangehalt im Blatt		Indigogehalt im Rohindigo (%)	Reinindigo (100%) berechnet ³⁾ gewonnen		Ausbeute (%)
			(% i.d.TM)	(g)		(g)	(g)	
1 48, 48 (NH ₄)	4	5,7	3,31/2,50	231,0	22,30	83,9	51,6	61,4
2 48, 48 (NH ₄)	3	4,6	3,31/3,60	112,5	26,40	79,9	56,0	70,1
48, 48 (NH ₄)	3	8,2	5,22/5,13	264,0	10,50	212,8	27,8	13,1
48, 48 (NH ₄)	3	8,2	5,22/5,13	268,7	10,50	212,4	28,3	13,3
x, -					15,80	168,4	37,4	32,2
3 48, 48 (NH ₄)	2	10,6	4,40/6,82	382,2	28,00	219,3	106,8	34,2
48, 48 (NH ₄)	2	10,9	4,40/6,82	369,0	14,70	319,8	54,3	17,0
48, 48 (NH ₄)	2	10,4	4,40/6,82	355,5	20,90	305,9	74,4	24,3
48, 48 (NH ₄)	2	11,6	3,36/4,12	271,9	14,10	241,9	38,4	17,6
48, 48 (NH ₄)	2	12,9	3,36/4,12	221,5	14,10	191,5	31,6	12,8
48, 48 (NH ₄)	2	14,6	3,36/4,12	312,6	4,90	282,6	15,3	5,5
48, 48 (NH ₄)	2	13,3	3,98/5,06	277,3	12,80	298,4	35,7	11,9
48, 48 (NH ₄)	2	13,0	3,98/5,06	308,4	35,60	291,7	109,9	37,7
48, 48 (NH ₄)	2	13,2	3,98/5,06	294,9	26,00	294,5	26,0	26,1
48, 48 (NH ₄)	2	7,8	5,06/5,25	155,9	14,50	200,3	28,4	14,2
48, 48 (NH ₄)	2	8,1	5,06/5,25	196,3	19,70	207,9	38,7	18,6
48, 48 (NH ₄)	2	7,9	5,06/5,25	181,5	18,70	201,9	34,0	16,8
48, 48 (NH ₄)	2	8,1	5,00/5,00	234,3	20,20	201,8	47,3	23,4
48, 48 (NH ₄)	2	8,4	5,00/5,00	263,9	12,80	211,3	33,7	15,9
x, -					18,40	247,8	48,2	19,7
4 48, 48 (NH ₄) in Abwasser	2	6,7	5,00/5,00	142,2	4,40	168,3	6,2	3,7
5 96, 72 (NH ₄)	2	9,9	3,98/4,38	328,6	12,20	209,5	40,0	19,1
96, 72 (NH ₄)	2	9,9	3,98/4,38	358,9	13,90	208,4	50,0	24,0
96, 72 (NH ₄)	2	9,9	3,98/4,38	331,1	10,50	209,0	34,7	16,6
96, 72 (NH ₄)	2	9,9	3,35/3,35	258,7	6,40	165,5	16,5	10,0
x, -					10,80	198,1	35,3	17,4
6 96, 72 (NaOH)	2	9,2	3,35/3,35	242,1	8,30	154,8	20,2	13,0
7 96, 72 (KOH)	2	8,8	3,35/3,35	150,3	13,40	148,1	20,2	13,6
8 144, 72 (NH ₄)	2	11,6	3,99/3,38	310,8	18,40	215,3	57,2	26,6
144, 72 (NH ₄)	2	12,0	3,99/3,38	321,8	29,60	222,0	95,2	42,9
144, 72 (NH ₄)	2	11,5	3,99/3,38	298,7	7,10	211,5	21,4	10,1
x, -					18,40	152,9	57,9	26,5
9 72, 72 (NH ₄)	2	7,2	3,35/3,35	126,4	7,60	121,1	9,7	8,0
72, 72 (NH ₄)	2	7,3	3,35/3,35	143,9	7,50	121,7	10,8	8,8
72, 72 (NH ₄)	2	7,5	3,35/3,35	213,5	5,80	125,0	12,5	10,0
x, -					7,00	122,6	11,0	8,9
10 120, 72 (NH ₄)	2	7,5	3,00/3,00	165,6	9,40	113,1	15,5	13,7
120, 72 (NH ₄)	2	8,3	3,00/3,00	207,5	6,30	124,3	13,2	10,6
120, 72 (NH ₄)	2	8,4	3,00/3,00	217,1	9,70	126,1	21,0	16,7
x, -					8,50	121,2	16,6	13,7

¹⁾ Die aufgeführten Zahlen bedeuten die Verweildauer des Erntegutes im Extraktionsmittel in h, z. B. Variante 1: 48 h Einweichen in klarem Wasser, danach Extraktion frischen Erntegutes in derselben Lösung, aus der dann nach 4 Tagen (96 h) das Indican hydrolysiert und Indigo ausgefällt wurde

³⁾ berechnet über Blatt:Stängel-Verhältnis

³⁾ zur Bildung von 1 Molekül Indigo sind 2 Moleküle Indican nötig

Wie auch im letzten Versuchsjahr waren die Indigotinausbeuten der einzelnen Versuche sehr unterschiedlich. Mit 5,5 % als Minimum und 70,1 % der Theorie als Maximum wiesen sie eine

ähnliche Schwankungsbreite wie in den vorhergehenden Versuchsjahren auf, ohne dass ein Zusammenhang zwischen den Versuchsbedingungen und dem tatsächlichen Ergebnis hergestellt werden konnte. Möglicherweise ist die Temperatur während der einzelnen Extraktionen die entscheidende Einflussgröße. Entsprechend der Aufstellung der Anlage in einem Gewächshaus wurden bei den verschiedenen Ansätzen je nach Sonneneinstrahlung Lufttemperaturen von 20 - 50 °C und mehr gemessen, während bei einem anderen Ansatz 20 °C kaum überschritten wurden. Vor der Abarbeitung eines größeren Auftrages nach Naturindigo muss deshalb zunächst im Labormaßstab abgeklärt werden, welche Extraktionszeit für eine erschöpfende Extraktion des Pflanzenmaterials bei einer ganz bestimmten Temperatur erforderlich ist. Es ist außerdem eine konstante Temperaturführung während des Extraktionsvorganges zu gewährleisten. Eine Klärung ist im Rahmen einer Diplomarbeit 2001/2002 vorgesehen.

Ein weiteres Problem des Verfahrens bestand in der Abtrennung des Indigos aus der Lösung. Die durchgeführte Filtration erwies sich für eine großtechnische Anwendung als völlig ungeeignet. Das Indigo fällt in sehr kleinen Partikeln in der Lösung aus und setzt sich kaum ab. Es war demzufolge notwendig, die gesamte Lösung zu filtrieren (ca. 300 l). Die kleinen Partikel setzen den Filter bereits nach kürzester Zeit zu, so dass die Filtration im ungünstigsten Fall ca. 4 Wochen dauerte. Einen gewissen positiven Einfluss auf die Filtrationsfähigkeit der Lösung hat eine Umgebungstemperatur unter 20 °C, wobei dieser Parameter insbesondere in den Sommermonaten, in denen extrahiert wird, kaum entscheidend beeinflusst werden kann.

Versuche zur Separation des Indigos mittels Zentrifugation in einer Laborzentrifuge (2000 U/min, Fassungsvermögen 1,5 l) erbrachten positive Ansätze. Das Indigo setzte sich gut ab, während die Lösung als Überstand abdekantiert werden konnte.

Deshalb wurde 1999 die Möglichkeit der Abtrennung des Indigos aus der Flüssigkeit mit Hilfe einer Zentrifuge untersucht. Zum Einsatz kam ein Separator der Fa. Westfalia des Types BKA 2-06-575 mit einer Durchsatzleistung von 150 l/h. Das Gerät arbeitete einwandfrei und die Trennung von Feststoff und Flüssigkeit gelang ohne größere Verluste in guter Qualität in kurzer Zeit. Bei umfangreicherer Indigoproduktion wäre ein Separator mit automatischem Stoffaustrag (Dekantor) angebracht. Unter dieser Prämisse kann die Anwendung einer Zentrifuge zur Abtrennung des ausgefällten Farbstoffes von der Flüssigkeit empfohlen werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Abtrennung der Feststoffphase besteht in der Filtration durch eine Filterpresse. Diese Vorgehensweise wurde im Labormaßstab erfolgreich getestet und ist bei entsprechendem Durchsatz in der Praxis zu empfehlen.

Entscheidend für die Überführung der Methode in den großtechnischen Maßstab sind die Kosten des Verfahrens. Anhand der Ergebnisse wurde eine überschlägige Kostenkalkulation für die Modellanlage vorgenommen (Tab. 19).

Tabelle 19: Kalkulation der Produktionskosten und des Preises für Indigoextrakt (1 t Rohindigo, ca. 20 % Indigoanteil) aus Färberknöterich (3malige Behälterfüllung)

		Preis/Einheit	Preis gesamt
Materialkosten	Rohstoffe: - 300.000 kg Frischmasse	0,20 DM/kg	60.000 DM
	Hilfsstoffe/Betriebsstoffe: - 600 m ³ Wasser (Verhältnis Blattmasse : Wasser = 1 : 1) - 4.000 l Ammoniak (0,7 % der Wassermenge)	12 DM/m ³ 2 DM/l	7.200 DM 8.000 DM
	Σ Materialkosten		75.200 DM
Fertigungskosten	- 1 VBE für 4 Monate (einschl. Lohnnebenkosten) - 0,5 VBE für 4 Monate (einschl. Lohnnebenkosten)		20.000 DM 10.000 DM
	Geräteabschreibungen ¹⁾ (10 Jahre)		10.000 DM
	Σ Fertigungskosten		40.000 DM
Herstellungskosten	Σ Materialkosten + Fertigungskosten		115.200 DM
Verwaltungsgemeinkosten	10 % (Kleinbetrieb)		11.520 DM
Gewinnzuschlag	mindestens 10 %		12.672 DM
Barverkaufspreis			139.392 DM
Umsatzsteuer	16 %		22.303 DM
Angebotspreis	1 t Indigoextrakt		161.695 DM
	1 kg Indigoextrakt		161,70 DM

1) der Kalkulation wurde ein Investaufwand von 100.000 DM zugrunde gelegt

Eine genaue Kalkulation der Investitionskosten für die Anlage war aufgrund der bisherigen Ergebnisse nicht möglich. Es deutet sich aber an, dass eine Produktion von Indigo aus Färberknöterich in einer kleineren Anlage zu einem Preis von 150 - 170 DM/kg möglich sein sollte. In größerem Maßstab lassen sich die Kosten sicherlich noch reduzieren.

Sowohl die im Projekt integrierten Textilforschungsinstitute wie auch ein Anwender aus der freien Wirtschaft (s. Anlage) bestätigten dem hergestellten Indigoextrakt sehr gute Färbereigenschaften. Ein Gehalt von durchschnittlich 20 % Reinindigo im Rohindigoextrakt, wie er bei den Versuchen erzielt wurde, reicht nach Meinung der Färber für ein gutes Färbeergebnis aus.

Bei der Kostenkalkulation ist zu berücksichtigen, dass durch die Verwendung von Ammoniak als Fällungsmittel das bei der Extraktion anfallende Abwasser als Düngemittel eingesetzt werden kann. Es weist ähnliche Nährstoffgehalte wie Gülle auf (Tab. 20).

Tabelle 20: Vergleich der Nährstoffgehalte in Extraktionsabwasser und Gülle¹⁾

	N (%)	P (%)	K (%)	pH-Wert
Extraktionsabwasser	0,67	0,007	0,49	8,1
Gülle (niedriger TS-Gehalt)	0,40	0,02	0,40	> 7

¹⁾ KERSCHBERGER et al. (1997)

Durch die geringen Feststoffanteile im Extraktionsabwasser wäre eine Ausbringung mit den Geräten zur AHL-Applikation möglich.

Entscheidend ist nun, die Technologie der Indigoextraktion in einen größeren Maßstab zu überführen, um Indigo in größeren Mengen aus einheimischem Färberknöterich zu gewinnen und die am Markt geforderten Mengen produzieren zu können.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel des vorliegenden Projektteils des Verbundvorhabens war es, das Pflanzenmaterial für nachgelagerte Extraktions- und Färbeversuche in hoher Qualität und in ausreichenden Mengen zur Verfügung zu stellen. Dazu galt es, für ausgewählte gelb-, rot- und blaufärbende Pflanzenarten die bis dahin entwickelten Anbauverfahren in Hinblick auf die genannten Prämissen zu verbessern.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Versuche zeigen auf, dass es durch agrotechnische Maßnahmen durchaus möglich ist, die Qualität des Erntegutes und den Ertrag der einzelnen Arten zu erhöhen.

Die bei *Färberwau* geprüfte zweischnittige Nutzung zur Verminderung des Stängelanteils im Erntegut erwies sich allerdings als wenig aussichtsreich, da die einschnittig genutzten Varianten in allen Jahren deutlich höhere Farbstoffträge je Flächeneinheit erreichten. Die teilweise etwas höheren Farbstoffgehalte im Erntegut der zweischnittigen Varianten konnten deren Ertragsdefizit nicht ausgleichen. Besser wäre in diesem Fall, den Stängelanteil im Rohmaterial nach der Trocknung durch eine Fraktionierung, wie sie in der Arzneipflanzenaufbereitung üblich ist, zu reduzieren. Eine Mehrschnittnutzung ist nur bei größeren Anbauflächen sinnvoll, wenn es Engpässe in der Ernte- und Trocknungskapazität erfordern. In diesem Fall sollte eine zweimalige Ernte, jeweils zum Knospenstadium der Pflanzen angestrebt werden.

Ein Gefäßversuch befasste sich mit der Ermittlung des optimalen Erntetermins und der Verteilung der Farbstoffe in der Pflanze. Es zeigte sich, dass eine Ernte zur Vollblüte insgesamt den höchsten Farbstoffgehalt garantiert, wobei generell im Blühhorizont der meiste Farbstoff enthalten ist. Auch das hängt mit dem hohen Stängelanteil der unteren Pflanzenfraktionen zusammen, der sich in der Praxis entweder durch einen Hochschnitt oder besser wiederum durch eine Reinigung des Erntegutes nach der Trocknung vermindern lässt.

Entscheidenden Einfluss auf die Qualität von *Färberwau* hat die richtige Bemessung der N-Düngungsgabe. Der N-Bedarf der Pflanzen ist relativ gering. In der Regel wird ein N-Sollwert über 100 kg/ha nicht mehr ertragswirksam, führt aber bereits zu signifikant niedrigeren Farbstoffgehalten. Deshalb sollte beim Anbau von *Färberwau* ein N-Sollwert von 60 kg/ha zu Vegetationsbeginn nicht überschritten werden.

Eine sehr gute Möglichkeit, die Erntekampagne des Färberwau zu verlängern und dadurch Arbeitsspitzen bei der Ernte und Trocknung abzubauen, ist die Spätsommer- bzw. Frühherbstaussaat der Bestände. Diese sind in der Regel ca. 6 - 8 Wochen vor der Frühjahrsaussaat erntereif und erreichten in allen Versuchsjahren einen höheren Farbstoffetrag je Flächeneinheit. Um Auswinterungsverluste zu vermeiden, ist es entscheidend, dass die Pflanzen gut entwickelt in den Winter gehen. In günstigen Jahren können diese Varianten auch zweimal beerntet werden.

In noch stärkerem Maße als beim Färberwau sind bei der *Kanadischen Goldrute* die Farbstoffe in der Blüte und den Blättern konzentriert. Der Stängel ist nahezu farbstofffrei. Bei den Wildformen mit > 1,50 m Wuchshöhe sind die unteren Stängelteile bis ca. 1 m z. Z. der Blüte fast vollkommen verkahlt. Ein Schnitt in der üblichen Stoppelhöhe (ca. 10 cm) ergibt hohe Biomasserträge mit nur relativ geringen Farbstoffgehalten. Mit einer Anhebung der Schnitthöhe auf ca. 60 - 70 cm (Möglichkeiten durch Technik begrenzt), ähnlich wie bei der Ernte von Johanniskraut, kann Material mit nahezu doppelt so hohem Farbstoffgehalt erzeugt werden. Um jedoch einen ausreichenden Wiederaustrieb zu gewährleisten ist danach ein Nachschnitt notwendig, d. h. es sind bei der Ernte erhöhte Aufwendungen erforderlich.

Dieser Mehraufwand ist nicht notwendig, wenn man kurzstänglige Ziersorten der Kanadischen Goldrute, wie 'Goldkind' oder 'Strahlengold' anbaut. Durch ihren deutlich höheren Blütenanteil und den bis auf den Erdboden beblätterten Stängel weisen sie nahezu doppelt so hohe Farbstoffgehalte wie die Wildformen auf. Damit werden die nur halb so hohen TM-Erträge ausgeglichen und etwa gleichhohe Farbstoffeträge je Flächeneinheit erzielt. Die Aufwendungen für Ernte, Transport, Trocknung und Lagerung sind aber wesentlich geringer. Auf das Betriebsergebnis wirkt sich außerdem die Möglichkeit einer zweimaligen Ernte der extrem frühen Ziervarietäten in günstigen Jahren aus.

Die Versuche zur Drillsaat der Kanadischen Goldrute belegten, dass ein solches Verfahren wegen des außerordentlich niedrigen TKG (0,02 g) und der schlechten Fließfähigkeit des Samens nicht praktikabel ist. Bei allen geprüften Varianten (Frühjahrsaussaat, Spätsommersaat, Pillierung) war der Feldaufgang sehr gering und ungleichmäßig. Als ungünstig ist die langsame Jugendentwicklung und die damit verbundene geringe Konkurrenzkraft der Goldrutepflanzen anzusehen. Das Auspflanzen vorkultivierter Jungpflanzen ist somit die einzige Möglichkeit zur Bestandesetablierung der Kanadischen Goldrute. Die durch die Pflanzung verursachten höheren Kosten fallen durch lange Nutzungsdauer (in Dornburger Versuchen bisher 8 Jahre) ökonomisch nicht zu stark ins Gewicht.

Färberhundskamillebestände sind mit einer Drillsaat problemlos zu etablieren. Dabei erwies sich eine Frühherbstaussaat gegenüber den Frühjahrsaussaaten in ertraglicher Hinsicht als überlegen. Durch die geringen Unterschiede im Farbstoffgehalt konnten bei den einzelnen Aussaatzeiten mit dieser Variante auch die höchsten Farbstoffeträge je Flächeneinheit realisiert werden. Bei einer Aussaat im Frühjahr ist eine Saatzeit Anfang April anzustreben. Wie auch bei Färberwau bildet ein Splitting der Anbaufläche in Herbst- und Frühjahrsaussaaten bei größerer Fläche eine gute Möglichkeit, Arbeitsspitzen bei Ernte und Trocknung abzubauen, da die Herbstsaussaaten in der Regel 4 - 6 Wochen vor der Frühjahrsaussaat blühen.

Eine Überführung der Färberhundskamille in den großflächigen Anbau ist möglich. Die Ernte der Blüten kann mit Maschinen, wie sie zur Blütenpflücke von Echter Kamille entwickelt worden sind, erfolgen. Die hierbei erreichten Qualitäten entsprechen durchaus den Anforderungen der abnehmenden Hand.

Mit Kartoffelvollerntemaschinen verschiedener Hersteller, einem Hopfenfechserernter sowie einem für die Pfefferminzstolonenernte umgebauten Siebkettenroder, war es möglich, die auf Damm angebauten *Krappwurzeln* verlustarm zu ernten. Entscheidend ist eine Abstimmung der Dammbreite auf die vorgesehene Erntetechnik. Der Dammanbau hat außerdem den Vorteil, dass eine mechanische Unkrautbekämpfung durch das Nachhäufeln der Dämme erfolgen kann.

Nach der Ernte ist eine Wäsche der Wurzeln unerlässlich. Diese kann in Wurzelwaschanlagen, wie beispielsweise der Baldrianwurzelwäsche, im großtechnischen Maßstab erfolgen. Eine nachfolgende schnelle und schonende Trocknung des Erntegutes verhindert Farbstoffverluste im Erntegut.

Die einzige Möglichkeit zur effizienten Herbizidanwendung beim *Färberknöterich* wird in der Voraufbauanwendung verschiedener Mittel gesehen. Wegen der Schnellwüchsigkeit der Färberknöterichjungpflanzen dürfte eine einmalige Herbizidanwendung ausreichend sein. Als mögliche Voraufbauvarianten stellten sich Patoran FL (2,0 l/ha) sofort nach der Aussaat und Roundup (3,0 l/ha) kurz vor dem Auflaufen der Pflanzen heraus. Diese Herbizide wurden in die Lückenindikationsversuche der TLL überführt, um in kurzer Zeit eine Zulassung für Färberknöterich zu erlangen.

Unerlässlich für das Erreichen hoher Biomasseerträge und Indigogehalte im Färberknöterich ist eine ausreichende N-Versorgung der Pflanzen. Es zeigte sich, dass ein N-Sollwert von 160 kg/ha zu Vegetationsbeginn die höchsten Farbstofferträge je Flächeneinheit gewährleistet. Ein Splitting der N-Gabe erbrachte in allen Versuchsjahren schlechtere Ergebnisse.

Mit der Ernte des Färberknöterichs sollte zu Bestandesschluss begonnen werden. Das so gewonnene Erntegut liefert hohe Blatterträge im 1. und 2. Schnitt, in günstigen Jahren ist sogar ein weiterer Schnitt möglich. Bei späteren Ernteterminen verschiebt sich das Blatt:Stängel-Verhältnis zugunsten des farbstofffreien Stängels und die Aufwendungen für Ernte, Transport und Extraktion steigen erheblich an. Wie die durchgeführten Versuche zu dieser Thematik belegen, ist es mit einem ausgewogenen Schnittregime möglich, eine Extraktionsanlage kontinuierlich über den Erntezeitraum von Ende Juli bis Mitte Oktober mit frischem Pflanzenmaterial zu versorgen.

Von allen genannten Arten konnte in den einzelnen Projektjahren genügend Pflanzenmaterial in der geforderten Qualität für die nachgelagerten Extraktions- und Färbeversuche bei den Projektpartnern bereitgestellt werden.

Einen weiteren Schwerpunkt stellte die *Extraktion von Naturindigo* aus Färberknöterich im Technikumsmaßstab dar. Durch die Optimierung der Prozessparameter, wie Verweildauer des Pflanzenmaterials, pH-Wert, Belüftungszeit etc., ist es im Lauf des Projektes gelungen, Rohindigo von ausreichender Qualität zu erzeugen, das den Anforderungen der abnehmenden Hand entspricht. Nicht zufriedenstellen kann dagegen die bisher praktisch erreichte Ausbeute an

Indigo. Sie erreicht im Durchschnitt nur 20 % der nach der Theorie zu erwartenden Werte. Auch die Schwankungsbreite hinsichtlich der Indigoausbeute innerhalb der bei gleichen Prozessparametern durchgeführten Versuche lässt sich bisher nicht sicher erklären. Als Arbeitshypothese wird angenommen, dass das Ergebnis der Extraktion in starkem Maße temperaturabhängig ist, da dieser Parameter in der Technikumsanlage nicht zu steuern war. In einer im Jahr 2001 begonnenen Diplomarbeit der Fachhochschule Jena soll diese Problematik endgültig abgeklärt werden. Die im ersten Projektjahr bestehende Fragestellung zur günstigsten Abtrennung des Indigos vom Extraktionsmittel konnte geklärt werden: sowohl der Einsatz von Separatoren als auch von Filterpressen ist möglich.

Die überschlägige Kalkulation der Extraktionskosten zeigte, dass Naturindigo aus Färberknöterich in kleineren Anlagen zu einem Preis von ca. 160 - 200 DM/kg erzeugt werden kann. Mit Erweiterung des Durchsatzes ist eine weitere Senkung der Kosten möglich.

Insgesamt haben die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen wiederum gezeigt, dass einer erfolgreichen Wiedereinführung der Naturfärberei von seiten des Färberpflanzenanbaus keine Hindernisse im Wege stehen. Wichtige Pflanzenarten lassen sich großflächig mit der gebräuchlichen hochentwickelten Technik (Säen, Ernten und Aufbereiten) anbauen. Wie der durch das Projekt initiierte Praxisanbau von Färberwau und Färberhundskamille in der Agrargenossenschaft Nöbdenitz im Hektarmaßstab belegte, ist das mit demselben Erfolg wie beim Anbau im Versuchsmaßstab möglich. Gegebenenfalls kann sicher das Anbauverfahren für die eine oder andere Färberpflanzenart noch optimiert werden, prinzipiell ist aber festzustellen, dass, mitaufbauend auf den Untersuchungen des vorliegenden Teilprojektes, für die wichtigen Färberpflanzen Färberwau, Kanadische Goldrute, Färberhundskamille, Krapp und Färberknöterich sichere und effiziente Anbauempfehlungen existieren, die gegebenenfalls ohne Einschränkungen in die landwirtschaftliche Praxis übertragbar sind. Sie gestatten es, pflanzliches Ausgangsmaterial von hochwertiger Qualität in beliebigem Umfang für die Färbung von Textilien, Holz, Papier und Leder preiswert zur Verfügung zu stellen.

Wesentlich für eine Ausweitung der Anwendung von Naturfarbstoffen ist jetzt es vor allem, die Prozesskette vom Anbau bis zur Extraktion ökonomisch zu bewerten sowie die Überführung in die Praxis durch ein Markteinführungsprogramm zu unterstützen.

5 Literatur

BIERTÜMPFEL, A., WURL, G.; VETTER, A.; GRAF, T.: Einfluss von N-Düngung, Erntezeitpunkt und Nacherntebehandlung auf den Farbstoffgehalt von Färberpflanzen, VD-LUFA-Kongreßband 1998, S. 187 - 190

KERSCHBERGER, M.; FRANKE, G.; HESS, H.: Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung, Jena 1997, S. 31

RUDOLPH, B.: Zur quantitativen Analytik von Pflanzenfarbstoffen, Gölzower Fachgespräche: Forum "Färberpflanzen" 1997, S. 99 - 103

WURL, G.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A.: Anbautelegramm Färberhundskamille 1997, Faltblatt

der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena-Zwätzen

WURL, G.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A.: Anbautelegramm Färberwau 1997, Faltblatt der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena-Zwätzen

WURL, G.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A.: Anbautelegramm Färberknöterich 1997, Faltblatt der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena-Zwätzen

WURL, G.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A.: Anbautelegramm Kanadische Goldrute 1997, Faltblatt der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena-Zwätzen

WURL, G.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A.: Anbautelegramm Krapp 1997, Faltblatt der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena-Zwätzen

WURL, G.; EGGERS, U.; HILL, D.: Cultivation and Extraction of Natural Dyes for Industrial Use in Natural Textile Production, Final Technical Report, 1997, 87 S.