

FARB & STOFF

Sustainable Development durch
neue Kooperationen und Prozesse

S. Geissler, E. Ganglberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

25/2003

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

FARB & STOFF

Sustainable Development durch
neue Kooperationen und Prozesse

Mag. Susanne Geissler, Dr. Erika Ganglberger
Österreichisches Ökologie-Institut

Wien, Juli 2003

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Projektleitung:

Mag. Susanne Geissler
Dr. Erika Ganglberger
Esther Egger-Rollig (Support)
Gina Roiser-Bezan (Layout)
Österreichisches Ökologie-Institut für angewandte
Umweltforschung, Seidengasse 13, 1070 Wien

Projektpartner:

Dr. Thomas Bechtold
Amalid Mahmut
Institut für Textilchemie und Textilphysik der
Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

DI Anna Hartl
DI Otto Schütz
Österreichische Vereinigung für Agrar-, Lebens- und
Umweltwissenschaftliche Forschung

Wolfgang Haertl
Schoeller Bregenz GmbH. & Co KG

Ingo Mangold
Wolford AG

Kurzfassung

1.1 Teil A

1.1.1 Motive

Kern des Projekts ist die Entwicklung von Grundlagen für die industrielle und gewerbliche Textilfärbung mit pflanzlichen Farbstoffen. Die Verwendung dieser Farbstoffe stellt eine neue Nutzungsmöglichkeit nachwachsender Rohstoffe dar und kann wesentlich zur nachhaltigen Entwicklung beitragen: Bei gleichzeitiger Nutzung erneuerbarer Rohstoffe können nicht-erneuerbare Ressourcen geschont, Umweltbelastungen über die gesamte Produktionskette reduziert, landwirtschaftliche Flächen erhalten und Arbeitsplätze mit regionaler Wertschöpfung geschaffen und gesichert werden.

1.1.2 Inhalt

Voraussetzung für die Anwendung pflanzlicher Farbstoffe in der industriellen Textilfärbung ist die Verfügbarkeit des Färbematerials. Dazu wurde in diesem Projekt die Strategie der Vernetzung von Anbietern pflanzlicher Rohstoffe und nachfragender Industrie verfolgt. Gemäß den Anforderungen zweier färbender Betriebe wurde ein optimiertes Rohstoffversorgungskonzept, beruhend auf den Säulen „Reststoffverwertung“ (Rohstoffe aus der Holz und Lebensmittel verarbeitenden Industrie) und „Primärproduktion“ (Rohstoffe aus der Landwirtschaft) erarbeitet. Optimierte bedeutet hier: (a) Bereitstellung mit möglichst wenig Ressourceneinsatz; (b) Bereitstellung mit möglichst geringer Verarbeitungstiefe und einem möglichst hohen Grad an Kreislaufschließung unter Gewährleistung der erforderlichen Echtheiten und Qualität.

1.1.3 Zielsetzung

Allgemeines Ziel war es, den Ressourceninput und die Kosten für die Verarbeitung des Rohstoffs so gering wie möglich zu halten. Das sollte durch die gezielte Zusammenführung von Anbietern und Nachfragern unter besonderer Berücksichtigung ihrer Anforderungen erreicht werden.

Im Detail wurden folgende Ziele verfolgt:

- š Nachhaltige Nutzung nachwachsender Rohstoffe basierend auf einer geringen Eingriffstiefe bei der Verarbeitung
- š Vernetzung von Anbietern und Nachfragern zur gemeinsamen Entwicklung von realisierbaren Kompromisslösungen

1.1.4 Methode der Bearbeitung

Dieses Projekt baut auf den Ergebnissen des Projekts „Potential an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie“ (2001) im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie auf. Schwerpunkt der Arbeit war die Erstellung und Optimierung nachhaltiger Produktions-Nutzungsketten, die den Weg des Färbematerials vom Rohstoff bis zum gefärbten Textil beschreiben. Die überaus komplexe Problemstellung wurde durch die Definition eines übergeordneten Ziels und mittels Diskussion und Dialog gelöst. Der Entscheidungsprozess zur Erstellung und Optimierung der Produktions-Nutzungsketten verlief projektbegleitend in Form eines Ausschlussverfahrens und umfasste die drei Kategorien „färbetechnische Machbarkeit“, „technische und logistische Machbarkeit der betrieblichen Umsetzung“ und „betriebswirtschaftliche Machbarkeit“. Die Datengrundlage für den Entscheidungsprozess wurde mittels fachspezifischer Recherchen, leitfadengestützten Interviews und experimentellen Färbeversuchen generiert.

2.1 Teil B

2.1.1 Ergebnisse

2.1.1.1 Farbkarte für Pflanzenfarbstoffe

Es wurden Probefärbungen und Echtheitsprüfungen mit Färberresede, Färberkamille, Rainfarn, Färberscharte, Rote Zwiebelschale, Spinat, Fisolen, Erbsen, Karotten, Krappwurzeln, Rhababerwurzeln, Labkraut, Färbermeister, Weintrester, Holundertrester, schwarzer Johannisbeertrester, Sauerkirschtrester, Kirschenschlempe, Rotkraut, Rote Rüben, Eschenwasser, Schwarzerlenwasser, Himbeertrester und Schwarzteetrester durchgeführt. Die Ergebnisse der Probefärbungen und Echtheitsprüfungen wurden in Form einer Farbkarte zusammengefasst.

2.1.1.2 Definition eines standardisierten Farbstoff-Produkts

Der getrocknete, zerkleinerte Rohstoff wird mengenmäßig definiert in wasserdurchlässige Beutel abgepackt, die zur Herstellung des Färbebad extrahiert werden (Extraktion erfolgt im färbenden Betrieb). Der Standardisierungsvorgang besteht in der Abmischung von verschiedenen Beuteln, wodurch der festgelegte Farbstandard erreicht wird.

2.1.1.3 betriebliche Pilotversuche mit Pflanzenfarbstoffen

In den Textilbetrieben wurden Pflanzenextrakte von Eschenrinde, Schwarzerlenrinde, Himbeertrester, Johannisbeertrester, Weintrester, grüne Walnussschale, rote Zwiebelschale, Resede und Krapp ausgefärbt. Bei der betrieblichen Wollfärbung zeigten sich Verfahrensschwierigkeiten, die im Projektverlauf durch die Entwicklung eines geeigneten Betriebsrezepts minimiert werden konnten. Aufgrund der hohen betriebspezifischen Anforderungen zeigten die betrieblichen Färbeversuche auf Polyamid in vielen Fällen nicht ausreichende Echtheitsqualitäten. Letztlich wurden Eschenrinde, Schwarzerlenrinde, Zwiebelschalen und Resede als betriebstauglich eingestuft.

2.1.1.4 Kostenabschätzung der Farbstoffbereitstellung

Im Projektverlauf wurden die Kosten der Rohstoffgewinnung, Aufbereitung und Standardisierung abgeschätzt, sowie die nachfrageseitige Zahlungsbereitschaft ermittelt. Pflanzenfarbstoffe werden ab einem Absatz von 1 Tonne pro Jahr und Farbstoff in der Herstellung betriebswirtschaftlich interessant.

2.1.1.5 Leitfaden „Innovation durch Kooperation“

Die im Projektverlauf gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen wurden in Form eines Leitfadens für Regionalentwicklungseinrichtungen, Betriebsberater mit dem Schwerpunkt Qualitätssicherung und Umweltmanagement, die Wirtschaftskammer und Weiterbildungseinrichtungen, die vor allem Klein- und Mittelbetriebe ansprechen zusammengefasst, um Hilfestellung bei der Initiierung neuer Kooperationen zu liefern.

2.1.2 Schlussfolgerungen

Die wichtigsten Empfehlungen für die Forschungs- und Förderungspolitik sind folgende:

- €# Förderung von Entwicklungsvorhaben entlang der gesamten Produktions-Nutzungskette;
- €# Gezielte Förderung der nachfrageseitigen Optimierung von Stabilisierungs- und Standardisierungsverfahren;
- €# Unterstützung der Innovationsvorhaben von Klein- und Mittelbetrieben durch die Förderung von Personalkosten (Beispiel: Innovationsassistent in Niederösterreich);
- €# Nutzung von erneuerbaren Energieträgern bei der Aufbereitung von nachwachsenden Rohstoffen (Beispiel: solar unterstützte Trocknung, Deckung des Restenergiebedarfs aus Biogas: Nutzung der Wärme aus der Kraftwärmekopplung im Sommer).

Inhalt

Kurzfassung	3
1.1 Teil A.....	3
1.1.1 Motive	3
1.1.2 Inhalt	3
1.1.3 Zielsetzung.....	3
1.1.4 Methode der Bearbeitung	3
2.1 Teil B.....	4
2.1.1 Ergebnisse	4
2.1.2 Schlussfolgerungen	4
1 Einleitung	7
1.1 Problembeschreibung.....	7
1.1.1 Untersuchungsgegenstand.....	7
1.1.2 Ausgangslage	8
1.2 Ziele des Projekts	9
1.3 Schwerpunkt der Arbeit	11
1.4 Projektinhalte	11
2 Verwendete Methode	12
2.1 Multikriterieller Entscheidungsprozess	12
2.2 Interviews und fachspezifische Recherchen	16
2.3 Färbe- und verfahrenstechnische Methoden	16
2.3.1 Färbeversuche im Labormaßstab.....	16
2.3.2 Standardisierungsversuche	17
2.3.2.1 Parameter der Rohstoffaufbereitung (exemplarisch für Eschenrinde)	18
2.3.2.2 Parameter des Färbevorgangs.....	18
2.3.2.3 Echtheitsprüfungen zur Bewertung der Farbergebnisse	19
2.4 Betriebliche Färbeversuche / Scale up.....	20
2.5 Ökonomische Methoden	20
2.5.1 Kostenabschätzung für die Rohstoffbereitstellung	20
2.5.2 Kostenabschätzung für die Standardisierung des Farbstoffs.....	21
2.5.3 Bestimmung der nachfrageseitigen Zahlungsbereitschaft	22
2.5.4 Mischkalkulation zur Preisbildung.....	22
3 Ergebnisse des Projekts und Schlussfolgerungen	23
3.1 Färbe- und Verfahrenstechnik.....	23
3.1.1 Erweiterung der Farbkarte	23
3.1.1.1 Festlegung des zu untersuchenden Pflanzenmaterials.....	24
3.1.1.2 Verfügbarkeit der Rohstoffe (Ermittlung potentieller Bezugsquellen und Materialbeschaffung für Probefärbungen).....	24
3.1.1.3 Erstellung der Farbkarte	24
3.1.2 Standardisierung.....	26
3.1.2.1 Standardisierung der Rohstoffaufbereitung.....	26
3.1.2.2 Standardisierung des wässrigen Pflanzenextrakts	28
3.1.3 Betriebliche Umsetzung	29
3.1.3.1 Betriebliche Färbeversuche auf Wolle.....	29
3.1.3.2 Betriebliche Färbeversuche auf Polyamid	31
3.1.4 Resümee der Betriebe	34

3.2	Produktions-Nutzungsketten	34
3.2.1.	Vorarbeiten zur Erstellung der Produktions-Nutzungsketten	34
3.2.2.	Dokumentation von Produktions-Nutzungsketten	35
3.2.3.	Optimieren von Produktions-Nutzungsketten	37
3.3	Beispielhafte Vernetzung von Angebot- und Nachfrageseite	40
3.3.1.	Anbieter-Nachfrager-Modellstruktur	40
3.4	Grundlagen zur Preisbildung bei Pflanzenfarbstoffen	42
3.4.1.	Rohstoffbereitstellung aus der Landwirtschaft (beispielhaft für Resede und Krapp)	42
3.4.2.	Rohstoffbereitstellung mittels Reststoffen aus Holz und Lebensmittel verarbeitenden Betrieben	43
3.4.3.	Kostenbestimmende Faktoren	43
3.4.4.	Abschätzung der Farbstoffkosten	44
3.4.5.	Farbvorgabe der Textilbetriebe und Mischkalkulation	45
3.4.6.	Nachfrageseitige Zahlungsbereitschaft	48
3.5	Hilfestellung für die Initiierung neuer Kooperationen	49
3.5.1.	Leitfaden „Innovation durch Kooperation“	49
4	Ausblick / Empfehlungen	51
4.1	Ausblick	51
4.2	Empfehlungen für die Forschungs- und Förderungspolitik	52
Anhang A	A1 Färbeverfahren A2 Pflanzenscreening A3 Verfügbarkeit der Rohstoffe	
Anhang B	B1 Überlegungen zur Materialaufbereitung B2 Standardisierung zur Rohstoffaufbereitung B3 Stabilität des Färbevorgangs B4 Betriebliche Umsetzung (Scale up) B5 Betriebliche Färbeversuche auf Polyamid B6 Infrastruktur für Bereitstellung landwirtschaftlicher Rohstoffe B7 Infrastruktur zur Aufbereitung der Farbstoff enthaltenden Rohstoffe B8 Bezugsquellen für Pflanzenrohstoffe	
Anhang C	Infrastruktur für Anbau und Trocknung von Resede und Krapp Verortung der Rohstofflieferanten und Verarbeitungseinrichtungen Verfügbarkeit der Rohstoffe Rückführung der Extraktückstände in den landwirtschaftlichen Kreislauf Produktionsketten für Resede und Krapp	
Anhang D	Produktions-Nutzungsketten als Grundlage für die Optimierung der Farbstoffproduktion	
Anhang E	E.1 Abschätzung der Produktionskosten für Resede und Krapp E.2 Preisabschätzung für Resede und Krapp bei drei Bedarfsmengenszenarien	

1 Einleitung

1.1 Problembeschreibung

1.1.1 Untersuchungsgegenstand

Kern des Projekts war die Erarbeitung von Grundlagen für die Anwendung von pflanzlichen Farbstoffen in der industriellen und gewerblichen Textilfärbung. Die Verwendung dieser Farbstoffe stellt eine alt bekannte Nutzungsform nachwachsender Rohstoffe dar, die aufgegriffen und den technischen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen des 21. Jahrhunderts entsprechend adaptiert wurde. Bei Nutzung erneuerbarer Rohstoffe sollen nicht-erneuerbare Ressourcen geschont, Umweltbelastungen über die gesamte Produktionskette reduziert, landwirtschaftliche Flächen erhalten und Arbeitsplätze mit regionaler Wertschöpfung geschaffen und gesichert werden.

Als massives Hemmnis für die breite Nutzung nachwachsender Rohstoffe war die bisher mangelnde Verknüpfung von Angebots- und Nachfrageseite festgestellt worden¹.

In diesem Projekt wurde die Strategie verfolgt, die breite Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch die Vernetzung von Anbietern und Nachfragern zu unterstützen: Landwirtschaftliche bzw. Lebensmittel und Holz verarbeitende Betriebe als Anbieter wurden mit den färbenden Betrieben der Textilbranche als Nachfrager vernetzt. Die Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen und die Nutzung bestehender Infrastruktur sollte es ermöglichen, den Ressourceninput und die Kosten für die Verarbeitung gering zu halten.

Die Vernetzung erfolgte mittels Produktions-Nutzungsketten, welche den Weg des Färbematerials vom Rohstoff bis zum gefärbten Textil beschreiben. Voraussetzung für die Erstellung der Produktions-Nutzungsketten war die Analyse einer Vielzahl von unterschiedlichsten Aspekten, beispielsweise die Anforderungen der färbenden Betriebe, pflanzliche Eigenschaften, vorhandenes Reststoffpotential, Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Primärproduktion, Standardisierung des Pflanzenmaterials, Infrastruktur für die Aufbereitung der Rohstoffe, färbetechnische Aspekte, Nachhaltigkeitskriterien, etc.. Die Optimierung der Produktions-Nutzungsketten umfasste den Gesamtprozess von der Rohstoffgewinnung über die Produktion des Färbemittels bis zum verfahrenstechnischen Prozess der Färbung und endete mit dem gefärbten Textil.

Optimiert bedeutete hier zusammengefasst:

- ≠ Ein möglichst geringer Ressourceneinsatz bei der Rohstoffgewinnung und bei der Rohstoffverarbeitung; landwirtschaftliche Primärprodukte sollen nur in Bereichen eingesetzt werden, wo die Nachfrage durch Reststoffe nicht gedeckt werden kann.
- ≠ Eine möglichst geringe Verarbeitungstiefe und ein möglichst hoher Grad an Kreislaufschließung (beispielsweise durch ein „Dazwischenschalten“ der Färbung mit anschließender Kompostierung der Rückstände aus der Fruchtsaftherstellung statt einer sofortigen Kompostierung der Rückstände) unter Gewährleistung der erforderlichen färbetechnischen Qualität.

Eine Optimierung dieser Art erfordert bei allen Beteiligten die Überwindung ihrer Systemlogik. Die zukünftigen Partner aus dem Bereich der Rohstoffbereitstellung und der nachfragenden Industrie müssen bereit sein, Kompromisse einzugehen, gewohnte Wege zu verlassen und sich auf Neues einzustellen.

¹ KROTSCHKE, C., WIMMER, R., NARODOSLAVSKY, M. (1997): Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Österreich. SUSTAIN im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Graz

Mit diesem Projekt sollte plakativ gezeigt werden, dass die Vernetzung der richtigen Akteure unkonventionelle Lösungen ermöglicht, die umweltfreundlich, regional- und sozialverträglich sowie ökonomisch tragfähig sind. Das Projekt sollte verdeutlichen, dass vor allem Offenheit und Kooperationsbereitschaft für innovative Lösungen notwendig sind.

Der Bereich der Textilfärbung mit nachwachsenden Rohstoffen ist weniger hinsichtlich der umgesetzten Mengen als hinsichtlich der Signalwirkung interessant: Anhand eines Themas, für das in der Öffentlichkeit großes Interesse besteht (Farbe und Bekleidung), besteht die Chance, die Inhalte des Impulsprogramms „Fabrik der Zukunft“ auch an die Konsumenten zu vermitteln. Denn letztendlich werden die Produkte der Fabrik der Zukunft nur erfolgreich sein, wenn sie auch nachgefragt werden.

1.1.2 Ausgangslage

Mit dem Projekt „Farbstoff liefernde Pflanzen²“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie lagen bereits wichtige Vorarbeiten für dieses Projekt vor: Prüfung der Möglichkeiten für einen Anbau von Färbepflanzen in Österreich, Ermittlung der Anforderungen von Industrie und Gewerbe an Pflanzenfarbstoffe, Erstellung einer ersten Farbkarte für Pflanzenfarbstoffe.

Angebotseite (Bereitstellung der Färbemittel)

Im Rahmen der Materialbeschaffung für die Probefärbungen hatte es sich herausgestellt, dass einige Farben aus Reststoffen der land- und forstwirtschaftlichen Produktionskette (Fruchtsafthersteller, Sägewerke, ...) gewonnen werden können. Damit stehen neben der landwirtschaftlichen „Primärproduktion“ auch noch Betriebe, die land- und forstwirtschaftliche Produkte verarbeiten und bei denen die entsprechenden Reststoffe anfallen, als potentielle Anbieter zur Verfügung. Über das textilfärberische Potential vieler Reststoffe gibt es derzeit kaum Information. Deshalb zielten die in diesem Projekt geplanten Färberversuche einerseits darauf ab, erste Kennzahlen für unterschiedliche Reststoffe mit möglichem Färbepotential zu generieren. Andererseits sollte definiert werden, wie eine möglichst breite Farbpalette, die entsprechende färberische Qualitäten aufweist und betriebswirtschaftlich machbar ist, durch den Mix von „Reststoffverwertung“ und „Primärproduktion“ zur Verfügung gestellt werden kann.

Während bei Reststoffen Daten über verfügbare Menge und Preis vorliegen, waren diese Angaben bei den landwirtschaftlich produzierten Rohstoffen nicht möglich, da sie derzeit noch nicht angebaut werden. Deckungsbeitragskalkulationen für die in Frage kommenden Färbepflanzen sind weder aus der Literatur noch aus Praxiserfahrungen bekannt. Das Wissen um Deckungsbeiträge ist jedoch für die Umsetzung notwendig. Daher erfolgte in diesem Projekt eine erste Abschätzung auf der Basis von literaturgestützten Annahmen zu Erträgen und Anbauverfahren sowie auf Basis von Recherchen zu handelsüblichen Preisen (genaue Beschreibung der Annahmen siehe Anhang E). Anhand von Bedarfsmengenszenarien und unter der Einbeziehung von Praktikern aus dem Kräuteranbau wurden Preise für Resede und Krapp bei einem Anbau in Österreich abgeschätzt. Eine exakte Bestimmung würde Anbauversuche erfordern, die im Rahmen dieses Projekts jedoch nicht durchgeführt werden konnten.

² GEISSLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Nachfrageseite (Textilindustrie)

Klarer Anknüpfungspunkt für die gewerblichen Textilfärber war die erstellte Farbkarte für Pflanzenfarben, die konkrete Ergebnisse für acht ausgewählte Färbepflanzen zeigt. Damit stehen erstmals auch für Pflanzenfarben Informationen über Farbton, Farbqualität, Nuancierbarkeit, ... zur Verfügung, die für alle herkömmlichen Farbstoffe vom Hersteller bereitgestellt werden.

Zwei sehr unterschiedliche färbende Betriebe (Schoellerwolle und Wolford) zeigten großen Gefallen an einer konkreten betrieblichen Umsetzung der pflanzlichen Textilfärbung. Durch die Einbindung der beiden Betriebe konnten Fragestellungen der Maßstabsvergrößerung und der betrieblichen Prozesstechnik in diesem Projekt thematisiert werden. Das Interesse der Betriebe an einer konkreten Umsetzung gewährleistet die Erarbeitung von praktikablen Lösungsansätzen.

Verknüpfung von Angebot- und Nachfrageseite

Die im Projekt „Farbstoff liefernde Pflanzen“³ durchgeführten Interviews zeigten, dass seitens der Landwirtschaft kaum Umsetzungsschwierigkeiten bei der Produktion der Primärrohstoffe zu erwarten sind. Im Gegensatz dazu interessiert sich die Textilindustrie zwar generell für Färbepflanzen, an eine tatsächliche Realisierung werden jedoch zahlreiche Forderungen geknüpft, die mit der landwirtschaftlichen Logistik primär nicht vereinbar sind: so sollte es möglichst nur einen Ansprechpartner für Naturfarben geben, der einerseits eine Standardisierung des Pflanzenmaterials vornimmt und andererseits Farbqualitäten und Echtheitsniveaus garantiert.

Im oben genannten Projekt wurden die unterschiedlichen Anforderungen systematisch erfasst: ausgehend von den Anforderungen der färbenden Betriebe an Logistik, Verarbeitung und Farbqualität wurden für die acht ausgewählten Färbepflanzen „Produktions-Nutzungsketten“⁴ aufgestellt. In einem weiteren Schritt wurden die einzelnen Arbeitsschritte der Produktions-Nutzungsketten mit den jeweiligen Akteuren belegt. Damit konnten Lücken im System deutlich aufgezeigt werden: Von zentraler Bedeutung ist das „missing link“ zwischen den Anbietern der unterschiedlichen Pflanzenmaterialien und der Textilindustrie, die standardisierte Farbstoffe nachfragt.

1.2 Ziele des Projekts

Ziel des Projekts war es, das „missing link“ zwischen den Anbietern der unterschiedlichen Pflanzenmaterialien und der Textilindustrie zu schließen. Gemäß den Anforderungen zweier färbender Betriebe sollte ein optimiertes Rohstoffversorgungskonzept, beruhend auf den Säulen „Reststoffverwertung“ und „Primärproduktion“, erarbeitet werden. Durch die beispielhafte Vernetzung von Anbietern und Nachfragern sollten direkte Kooperationen ermöglicht werden, die neue Einkommensquellen für Landwirtschaft und rohstoffverarbeitende Betriebe erschließen und der nachfragenden Textilindustrie die Etablierung einer neuen Produktschiene ermöglicht.

Das Projekt trägt wie folgt zu den Leitprinzipien einer nachhaltigen Technologieentwicklung bei:

³ GEISSLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

⁴ Es wurden Produktions-Nutzungsketten erarbeitet, die ökonomisch machbar, technisch umsetzbar und ökologisch vertretbar sein sollten. Unter Produktions-Nutzungsketten sind die Schritte von der Produktion der Pflanze als Rohstoff über die Gewinnung und Stabilisierung des Farbstoffs bis zur Verwendung im färbenden Betrieb zu verstehen.

Substitution fossiler Rohstoffe durch konkurrenzfähige, nachwachsende Rohstoffe

Im Rahmen des Projekts wurde gezeigt, dass mittels Erdölchemie hergestellte Textilfarbstoffe durch pflanzliche Farben ersetzt werden können („Substitution von nichtregenerativen Materialien in bestehenden Anwendungen“). Dabei wurden sowohl die Möglichkeiten einer kaskadischen Nutzung von Reststoffen der verarbeitenden Industrie / Gewerbe wie auch die Möglichkeiten der Produktion von Primär-Biomasse aus der Landwirtschaft bearbeitet.

Effizienzprinzip

Farbstoffe können durch landwirtschaftliche Primärproduktion (Anbau von farbstoffliefernden Pflanzen) oder aus ungenutzten land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen (Erlenrinde, Eschenrinde, Rückstände aus der Weinproduktion, ...) gewonnen werden. Im Projekt ging es um die Ermittlung jener Bezugsquellen, die den gewünschten Farbstoff am effizientesten bereit stellt. "Effizient" bezieht sich dabei auf Ressourceneinsatz, Kosten und soziale Auswirkungen.

Prinzip der Recyclierfähigkeit

Färbeverfahren auf der Basis pflanzlicher Rohstoffe sind nicht per se umweltfreundlich. Im Rahmen des Projektes „Farbstoff liefernden Pflanzen“⁵ wurde eine Farbkarte für Pflanzenfarbstoffe erstellt. Diese Farbkarte entstand unter den Anforderungen einer ökologischen und ökonomischen Optimierung. Für die Farbstoffgewinnung wurde beispielsweise ein wässriges Auszugsverfahren gewählt, das die Rückführung der Reststoffe aus der Färberei auf die Felder bzw. die Kompostierung der Rückstände gewährleisten sollte. Dieses Prinzip der Recyclierfähigkeit wird auch in diesem Projekt weiterverfolgt, wenn es um die Entwicklung von Farbstoffen aus Reststoffen der Lebensmittelverarbeitung geht. Darüber hinaus analysiert das Projekt, inwieweit Reststoffe aus der Holz- und lebensmittelverarbeitenden Industrie für die Färberei verwendet werden können. Damit wird insbesondere auch der Aspekt der "kaskadischen Nutzung" von Rohstoffen behandelt.

Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptationsfähigkeit und Lernfähigkeit

Sobald ein Rohstoff für eine industrielle und gewerbliche Nutzung aus der Landwirtschaft bzw. Lebensmittelverarbeitung bereitgestellt werden soll, unterscheiden sich für den verarbeitenden Betrieb Versorgungslogistik, Rohstoffqualität und Lieferfristen von den herkömmlichen Bedingungen. Das gleiche trifft jedoch auch für den Rohstoff-Anbieter zu. Dem Problem kann auf zweierlei Weise begegnet werden: (1) systemabhängige Faktoren, wie beispielsweise eine definierte Vegetationsperiode mit einem bestimmten Erntezeitpunkt, werden durch Verarbeitung zu einem unspezifischen "Intermediärprodukt" (das als Ausgangsstoff für weitere Produktionsprozesse dienen kann, wie beispielsweise Milchsäure) ausgeglichen; (2) es werden Kompromisslösungen gesucht, die sowohl für die Anbieter der Rohstoffe wie auch für Nachfrager aus Industrie und Gewerbe vorteilhaft sind. Während Nivellierungsstrategien darauf hinaus laufen, Einsatzstoffe aus der Erdölchemie möglichst ohne Systemänderung durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen, ermöglicht beidseitige Einpassung, Flexibilität, Adaptationsfähigkeit und Lernfähigkeit eine geringe Eingriffstiefe und damit eine nachhaltige Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Dementsprechend wichtig ist es, die richtigen Akteure so zu vernetzen, dass eine Produktion und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe mit minimalem Ressourceneinsatz erfolgen kann.

5 GEISLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Es handelt sich um eine Technologie mit sehr geringem Risikopotential. Störfälle technischer Anlagen mit potentiellen Auswirkungen auf ganze Landstriche und zukünftige Generationen sind ausgeschlossen. Es können keine irreversiblen Schäden eintreten.

Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Das Projekt richtet sich an die Landwirtschaft, an Industrie und Gewerbe. Landwirtschaftlichen und lebensmittelverarbeitenden Betrieben sowie Betrieben der Textilindustrie wurden neue, unkonventionelle Wege einer nachhaltigen Rohstoffnutzung gezeigt. Die direkte Kooperation zwischen Landwirtschaft und verarbeitenden Betrieben erschließt neue Einkommensquellen für die Anbieter von nachwachsenden Rohstoffen wie auch neue Produktschienen für die Nachfrager. Damit werden Arbeitsplätze gesichert, wodurch ein Beitrag zur Erhaltung der kleinstrukturierten österreichischen Landwirtschaft geleistet wird.

1.3 Schwerpunkt der Arbeit

Fokus dieses Projekts war es, sämtliche Voraussetzungen für den betrieblichen Einsatz von Pflanzenfarbstoffen zu schaffen. Auf der Basis der Anforderungen der färbenden Betriebe wurden konkrete Lösungen in Zusammenarbeit mit zwei färbenden Betrieben entwickelt, um Pflanzenfarbstoffe für betriebliche Textilfärbungen anschlussfähig zu machen. Neben der betrieblichen Umsetzung (Scale up vom Labormaßstab auf den betrieblichen Maßstab) war ein weiterer Schwerpunkt die Bearbeitung des „missing link“, also jener Vorgänge, Infrastruktur und Akteure, welche notwendig sind, um die Lücke zwischen Anbietern der Rohstoffe und der Nachfrageseite, also färbenden Textilbetrieben, zu schließen (standardisierte Aufbereitung, Standardisierung des Farbstoffs, Standardisierung des Färbeextrakts, Rezeptur zur Herstellung des Färbebads auf betrieblicher Ebene).

1.4 Projektinhalte

Die wesentlichen Projektinhalte waren:

- €# Erweiterung der Farbkarte;
- €# Festlegung/Optimierung standardisierter Aufbereitungsvorgänge für die verschiedenen Pflanzenmaterialien;
- €# Dokumentation und Optimierung von Produktions-Nutzungsketten;
- €# Erarbeitung einer modellhaften Versorgungs- und Verarbeitungslogistik in Zusammenarbeit mit den färbenden Betrieben und ihren Zulieferern;
- €# Kostenabschätzung der Rohstoffbereitstellung und Preisabschätzung der Farbstoffe;
- €# Verarbeitung der Erfahrungen zu einem Leitfaden als Hilfestellung zur Initiierung neuer Kooperationen zwischen Anbietern und Nachfragern;
- €# Ableitung von Schlussfolgerungen für die Forschungs- und Förderungspolitik in bezug auf die Zielsetzungen und Leitprinzipien der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“.

2 Verwendete Methode

In diesem Projekt wurde die Vernetzung von Anbietern und Nachfragern als Strategie verfolgt, um die Anwendung von nachwachsenden Rohstoffen in der betrieblichen Textilfärbung auf nachhaltige Weise zu fördern. Die Vernetzung von Anbietern und Nachfragern basiert auf der Erstellung von Produktions-Nutzungsketten: darunter verstehen wir die systematische Darstellung der verschiedenen Arbeitsschritte, die von der Rohstoffbereitstellung, über die Rohstoffaufbereitung bis hin zum betrieblichen Färbeverfahren notwendig sind, um zum gefärbten Produkt zu gelangen. Die Produktions-Nutzungsketten bilden die Grundlage für die Optimierung einzelner Phasen und die Optimierung des Gesamtprozesses sowie für die Suche nach Akteuren, welche die Arbeitsschritte ausführen.

Die Erstellung der Produktions-Nutzungsketten erfolgte mittels fachspezifischer Recherchen und Interviews für ausgewählte farbstoffliefernde Pflanzen, wobei die beiden Möglichkeiten der Rohstoffbereitstellung „landwirtschaftliche Primärproduktion“ und „Reststoffe“ behandelt wurden.

Grundlage für die Erstellung und Optimierung der Produktions-Nutzungsketten war die Vorgangsweise, die bereits im Projekt „Produktion von Farbstoff liefernden Pflanzen“⁶ angewendet worden war:

- ≠# Bewertungsverfahren in Anlehnung an die multikriterielle Entscheidungsanalyse und nach dem Ansatz der Post Normal Science (Entscheidungsfindung bei hoher Komplexität und Unsicherheit) (siehe Kapitel 2.1)
- ≠# Informationsbeschaffung für den Entscheidungsprozess durch Bearbeitung fachbezogener Recherchen im interdisziplinären Team und durch leitfadengestützte Interviews (siehe Kapitel 2.2)
- ≠# Experimentelle Datenbeschaffung für den Entscheidungsprozess mittels Textilausfärbungen und Echtheitsprüfungen im Labormaßstab und im betrieblichen Maßstab (siehe Kapitel 2.3)

2.1 Multikriterieller Entscheidungsprozess

Der Themenbereich „Nachhaltige Entwicklung“ stellt sich als multikriterielles Entscheidungsproblem dar. Das Ziel, eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen, lässt sich in Unterziele gliedern, deren Erfüllung zum Teil in Widerspruch zueinander steht: Die Annäherung an ein Ziel kann das Abweichen von einem anderen Ziel bewirken (MUNDA 1995⁷). Dies gilt auch für die Formulierung nachhaltiger Produktions-Nutzungsketten. Es handelt sich um eine äußerst komplexe Problemstellung, die in diesem Projekt durch Definition eines übergeordneten Ziels und mittels Diskussion und Dialog gelöst wurde. Der Entscheidungsprozess zur Erstellung und Optimierung der Produktions-Nutzungsketten verlief projektbegleitend in Form eines Ausschlussverfahrens. Die für die Entscheidungsfindung erforderlichen Informationen und Daten wurden durch Recherchen, Interviews und färbetechnische Versuche generiert (siehe Kapitel 2.2 und 2.3).

⁶ GEISSLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

⁷ MUNDA, G. (1995): Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment. Theory and Applications in Ecological Economics. Physica-Verlag Heidelberg

Das Ausschlussverfahren fand in drei Etappen statt:

- (a) Färbetechnische Machbarkeit
- (b) Machbarkeit der betrieblichen Umsetzung
- (c) Betriebswirtschaftliche Machbarkeit

Nur jene Farbstoffe eignen sich für die industrielle Färbung, die in allen drei Kategorien positiv abschneiden. Die Vorgangsweise beim Ausschluss von ungenügenden Varianten erfolgte in der Reihenfolge (a) à (b) à (c).

Die Optimierung der Produktions-Nutzungsketten erfolgte nach ökologischen, technischen und ökonomischen Kriterien, die in (a), (b) und (c) enthalten sind.

(a) Färbetechnische Machbarkeit – Kriterien im Bereich Färbetechnik

Das im folgenden Absatz beschriebene Kriterienset⁸ und die Kriteriengewichtung bildeten den roten Faden für die Ausscheidung von ungenügenden Varianten.

Kriterien für die Färbetechnik

Anforderungen an den Färbeprozess:

- ≠ Pflanzenfarbstoffe sollen eine Farbstoffgruppe⁹ bilden, denn damit kann für sämtliche Pflanzenfarbstoffe der gleiche Färbeprozess angewendet werden. Das ermöglicht eine Mischbarkeit der verschiedenen Farbstoffe.
- ≠ Ökologische Anforderungen bei Auswahl des Färbeprozesses: Vermeiden von Beizen (d.h. direktziehende Farbstoffe werden bevorzugt) und wenn Beize erforderlich, Eisenbeize oder Aluminiumbeize (Verzicht auf Cu); Einhaltung von Ökotex Standard 100;
- ≠ Ökologische Anforderung bei der Rohstoffextraktion: Verwendung von wässrigen Pflanzenauszügen, bewusster Verzicht auf Lösungsmittel und Chemikalien (Säuren, Alkalien), um Kompostierbarkeit des extrahierten Pflanzenmaterials zu gewährleisten
- ≠ Anforderungen an das zu färbende Material: Farbstoffe müssen zur Färbung von Wolle und / oder Polyamidfaser (und / oder Leinen) geeignet sein.

Durch diese Kriterien erfolgte eine Festlegung der Systemgrenzen, denn alle Pflanzenrohstoffe wurden einer wässrigen Extraktion unterzogen und in einem einbadigen Färbeverfahren direkt, bzw. mit Eisen- und Aluminium-Beize auf Wolle, Polyamid und Leinen ausgefärbt (Details siehe 2.3).

Anforderungen an das Färberesultat:

- ≠ Ansprechender Farbton
- ≠ Hohe Echtheiten des gefärbten Produkts

Kriterien für die Bereitstellung von Pflanzenmaterial durch die Landwirtschaft (Primärproduktion)

- ≠ Standortansprüche, die einen heimischen Anbau ermöglichen
- ≠ Ökologische Kriterien (kein Einsatz von Pestiziden und Mineraldünger)
- ≠ Kulturanleitungen vorhanden und verifiziert
- ≠ Hoher Farbstofftertrag pro Flächeneinheit
- ≠ Gute Mechanisierbarkeit bei der Feldproduktion
- ≠ Neue Perspektiven für Landwirte

⁸ zum Teil erarbeitet in: GEISLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

⁹ Farbstoffe einer Farbstoffgruppe lassen sich in einem gemeinsamen Färbebad verwenden und können deshalb auch abgemischt werden (erweitert die Farbpalette und bietet zusätzliche Möglichkeiten bei der Standardisierung eines Farbstoffs).

Kriterien für die Bereitstellung von Pflanzenmaterial aus Reststoffen der Holz- und Lebensmittelverarbeitung

- ≠ Anfall der Reststoffe bei der Verarbeitung in Österreich
- ≠ Verfügbarkeit gegeben (Gesamtmenge, Anfall saisonal oder kontinuierlich)
- ≠ Sortenreiner Anfall (Nutzungsbedingung)
- ≠ Frei von Stoffen, die bei der Färbung oder Kreislaufschließung (Kompostierung, Rückführung auf die Felder) beeinträchtigen würden, d.h. möglichst keine Vorbehandlung

Kriteriengewichtung

Übergeordnetes Ziel ist die praktische Umsetzbarkeit in der Textilindustrie.

Vorrangige Kriterien aus dem Set „Kriterien für die Färbetechnik“ sind folgende:

- ≠ Bilden einer Farbstoffgruppe
- ≠ Ansprechender Farbton
- ≠ Hohe Echtheiten der Farbstoffe (Mindeststandard muss erfüllt werden)

Praktisch bedeutet das zum Beispiel: Wenn die Mindestanforderungen bezüglich der Echtheiten nicht gegeben sind, wird der Farbstoff ausgeschieden, auch wenn er sehr umweltschonend ohne Beizen aufgebracht werden könnte.

Vorrangiges Kriterium aus dem Set „Kriterien zur Bereitstellung von Pflanzenmaterial“:

- ≠ Bereitstellung von Pflanzenmaterial aus Reststoffen der Holz- und Lebensmittelverarbeitung

Praktisch bedeutet das zum Beispiel: Ein Farbstoff wird nur dann als Primärprodukt hergestellt, wenn er nicht aus Reststoffen gewonnen werden kann.

Nur wenn diese Ausschlusskriterien erfüllt waren, wurden Überlegungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit in den Textilbetrieben und der ökonomischen Machbarkeit angestellt.

(b) Technische und logistische Machbarkeit der betrieblichen Umsetzung

Bei der Machbarkeit der betrieblichen Umsetzung ist zwischen allgemein gültigen Basiskriterien und jenen Kriterien zu unterscheiden, die in den Betrieben je nach Anspruch verschieden definiert sind.

Betriebsunabhängiges Basiskriterium:

- ≠ Gesicherte Rohstoffversorgung mit standardisiertem Rohstoff (d.h. Liefersicherheit und Qualitätsgarantie für die verschiedenen Pflanzenfarbstoffe)

Betriebsspezifische Ausschlusskriterien:

- ≠ Reproduzierbare Anwendung im Betriebsverfahren
- ≠ Ansprechendes Farbergebnis (Farbton)
- ≠ Ausreichende Echtheiten auf Betriebsprodukt

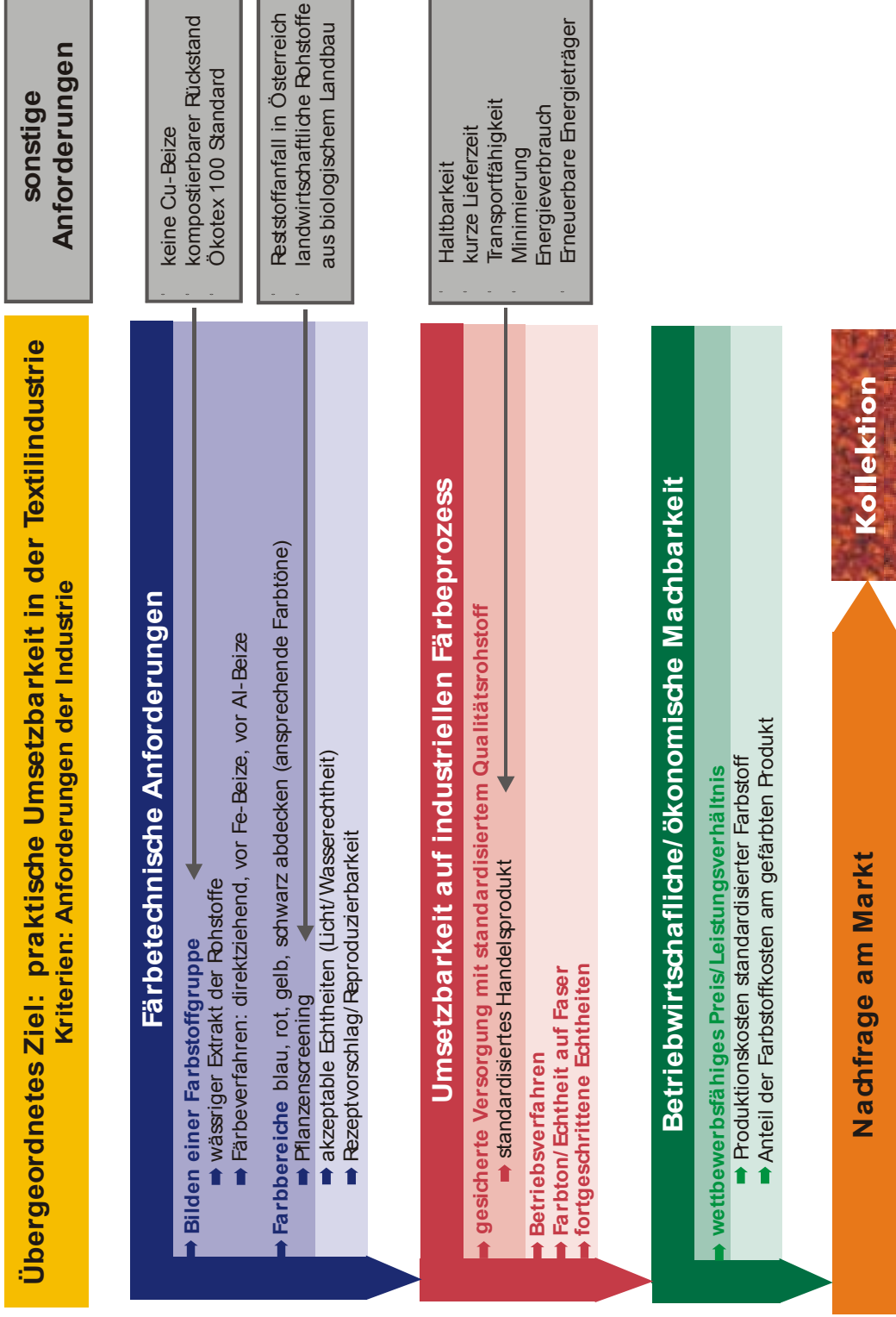
(b) Betriebswirtschaftliche Machbarkeit

Die bestimmenden Faktoren für die betriebswirtschaftliche Machbarkeit sind:

- ≠ Produktionskosten des standardisierten Farbstoff
- ≠ Anteil der Farbstoffkosten am gefärbten Produkt

Wenn Pflanzenfarbstoffe nicht teurer als herkömmliche Textilfarbstoffe sind, ist der Anteil der Farbstoffkosten am verkauften Produkt nicht relevant. Wenn die Pflanzenfarbstoffe teurer als derzeit eingesetzte Farbstoffe sind, ist der betriebsinterne Spielraum für die Verwendung von Pflanzenfarbstoffen ausschlaggebend. Je nachdem wie hoch der Anteil der Farbstoffkosten am verkauften Produkt ist, macht sich eine Erhöhung der Farbstoffkosten bei der Preiskalkulation des gefärbten Produkts bemerkbar oder nicht.

Abbildung 1 : Vorgangsweise zur Erstellung und Optimierung der Produktions-Nutzungsketten



2.2 Interviews und fachspezifische Recherchen

Interviews und fachspezifische Recherchen dienen der Beschaffung von Informationen zur Erstellung und Optimierung der Produktions-Nutzungsketten für ausgewähltes farbstofflieferndes Pflanzenmaterial. Interviews wurden in Form von leitfadengestützten Interviews geführt, fachspezifische Recherchen wurden anhand definierter Fragestellungen bearbeitet. Die Zusammenführung und Diskussion sowie die Auswertung für den Entscheidungsprozess erfolgte gemeinsam im interdisziplinären Team.

2.3 Färbe- und verfahrenstechnische Methoden

Zur Erweiterung des Farbspektrums (siehe Kapitel 3.1 bzw. Anhang A) wurden Laborversuche mit Farbstoff liefernden Pflanzen durchgeführt, von denen ansprechende Farbtöne mit erforderlichen Echtheiten durch umweltschonende Färbeverfahren zu erwarten waren (vergl. „Farbstoff liefernde Pflanzen“¹⁰). Farbstoffe, die in dieser ersten Screening – Phase gute Ergebnisse zeigten, wurden dann im Rahmen einer Maßstabsvergrößerung (Scale up) in betrieblichen Versuchen getestet. Im Vorfeld wurden Standardisierungsversuche durchgeführt, um auf Schwierigkeiten bei der betrieblichen Anpassung reagieren zu können und Mindestanforderungen bezüglich der Qualität des Färberesultats zu gewährleisten.

2.3.1. Färbeversuche im Labormaßstab

Mittels **Farbstoff-Screening** wurde getestet, welches pflanzliche Material ansprechende Farbtöne liefert und die geforderten Echtheiten erfüllt.

Für die Färbeversuche wurde zuerst der Farbstoff aus dem Rohmaterial extrahiert. Die Aufbereitung des Rohmaterials (Zerkleinerung, Stabilisierung) ist dabei produktspezifisch, die Weiterverarbeitung des Rohmaterials erfolgte stets durch Extraktion.

Bedingung für die **Extraktion des Farbstoffs** war, dass dabei keine aufwändigen Verfahrensschritte oder Lösungsmittel erforderlich sind und auch die Materialaufbereitung einfach ist. Deshalb erfolgt bei Feststoffen ein wässriger Auszug (Feststoff wird eine Stunde lang in Wasser ausgekocht), wobei für die Extraktion maximal das Färbebadvolumen an Wasser zur Verfügung steht. Der wässrige Auszug wurde als Färbebad verwendet. Flüssige Materialproben wurden direkt als Färbebad verwendet.

Der **Färbevorgang** selbst erfolgte durch die Auswahl der Farbstoffgruppe¹¹ und war deshalb definitionsgemäß für sämtliche Pflanzenfarbstoffe einheitlich (Darstellung des Färbevorgangs siehe Anhang A1). Denn durch die Anwendung eines einheitlichen Färbeablaufs wird die gemeinsame Verwendung unterschiedlicher Farbstoffe und der Beizen in Mischung möglich, wodurch zusätzliche färberische Freiheitsgrade generiert werden. Weiteres Ziel war die Verwendung einer technisch akzeptablen, d.h. betrieblich anschlussfähigen Färbeweise. Deshalb wurde auf eine farbstoffspezifische Optimierung¹² verzichtet.

¹⁰ GEISLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

¹¹ Farbstoffe einer Farbstoffgruppe lassen sich in einem gemeinsamen Färbebad verwenden und können deshalb auch abgemischt werden (erweitert die Farbpalette und bietet zusätzliche Möglichkeiten bei der Standardisierung eines Farbstoffs).

¹² Beispiel: Vielleicht wäre es möglich, mit roter Rübe einen ansprechenden Farbton mit hohen Echtheiten zu erreichen, wenn nicht bei 95°C sondern nur 60°C gefärbt wird; in diesem Projekt wurden jedoch keine Pflanzenmaterial spezifischen Variationen versucht. Mit jedem Pflanzenmaterial wird das gleiche Prozedere durchlaufen.

Beim Einsatz von Pflanzenmaterial sind 100% Färbungen bezogen auf trockenes (Kanadische Goldrute, Färberkamille, Krappwurzeln, Zwiebel, Rinde...) bzw. feuchtes Pflanzenmaterial (Fisolen, Weintrebern, rote Rüben) als Typfärbungen¹³ sinnvoll (bei jeder Ausfärbung muss die Farbtiefe über die eingesetzte Farbstoffmenge festgelegt werden, aufgrund von Erfahrungswerten sind bei Pflanzenfarbstoffen mit 100% Färbungen gute Farbstärken erreichbar). Bei einer 100% Färbung wird 1g Rohpflanzenmaterial (feucht oder trocken) pro 1g Fasermaterial verwendet. Die Pflanzenfärbungen wurden in separaten Färbebädern jeweils auf Eiweißfaser (Wolle) und Polyamid, in einigen Fällen auch auf Zellulosefaser (Leinen) durchgeführt¹⁴. Das eingesetzte Fasermaterial stammte von den beiden Textilbetrieben und war bereits nach deren Standardverfahren vorbehandelt (Waschen, Bleichen etc.). Bei Polyamid wurde Maschenware als Mustermaterial eingesetzt, bei Wolle wurde Garn gefärbt¹⁵.

2.3.2. Standardisierungsversuche

Alle Standardisierungsversuche zielen letztendlich darauf ab, ein wiederholbares Farbergebnis in Bezug auf den Farbton und die Echtheiten zu gewährleisten.

Die Standardisierung ist eine wichtige Voraussetzung für die betriebliche Umsetzung, denn ohne reproduzierbare Farbergebnisse zu garantieren, ist die Anwendung von Pflanzenfarbstoffen im Betriebsmaßstab nicht realisierbar. Um diesbezüglich anschlussfähig zu sein, mussten zwei verschiedene Fragestellungen im Vorfeld bearbeitet werden:

- ≠# Farbeinstellung um einen Pflanzenfarbstoff als solchen zu etablieren (Optimierung der Rohstoffaufbereitung, Festlegung eines Standards bezüglich Farbton und Farbtiefe)
- ≠# Farbstoffstandardisierung um die Reproduzierbarkeit des festgelegten Farbstandards zu gewährleisten.

Bei der Farbeinstellung ist einerseits die Rohstoffaufbereitung zu optimieren (Art und Zeitpunkt der Zerkleinerung, Trocknungsdauer, Trocknungstemperatur, ...), andererseits das Extraktionsverfahren zu fixieren. Hinweise bezüglich Kochzeit und Rohmaterialeinsatz liefert die durch photometrische Messung feststellbare Sättigungskurve des Extrakts, denn sobald eine Sättigung erreicht ist, führt weder eine Verlängerung der Kochzeit, noch eine weitere Rohstoffzugabe zu einer höheren Extraktkonzentration.

Die Farbeinstellung endet mit der Festlegung eines „Standards“, d.h. ein Farbton wird als Farbergebnis des entsprechenden Pflanzenmaterial festgelegt. Der festgelegte Farbton muss immer wieder erreicht werden: sobald eine neue Rohstofflieferung stattfindet, wird ein Abgleich durchgeführt. Der Abgleich erfolgt durch eine Test-Ausfärbung und dem anschließenden Vergleich mit dem Farbstandard. Der Vergleich kann entweder durch die Bestimmung des Farborts (= La/b-Wert) via Dreifilterfarbmessgerät oder auch visuell erfolgen (siehe Abbildung 2).

¹³ Die Typfärbung dient der Beschreibung eines Farbstoff, es wird der Einzelfarbstoff (d.h. nicht in Kombination mit anderen Farbstoffen der gleichen Farbstoffgruppe) ausgefärbt.

¹⁴Textile Fasertypen werden aufgrund ihres chemischen Aufbaus, wodurch unterschiedliche reaktive Gruppen für die Farbstoffaufnahme zur Verfügung stehen, unterschieden.

¹⁵In der Textilfärberei wird zwischen Garnfärbungen für hochwertige gemusterte Textilien und Stückfärbungen für einfarbige Textilien unterschieden. Im Labormaßstab wurde Wollgarn gefärbt (Strangfärbung), bei der betrieblichen Maßstabsvergrößerung wurden Garnspulen gefärbt (Spulenfärbung), weil sich der färbende Betrieb auf dieses Verfahren spezialisiert hatte. Die Polyamidfasern wurden sowohl im Labormaßstab als auch in der betrieblichen Umsetzung in verstrickter Form (Maschenware) gefärbt (Stückfärbung).

Basis für sämtliche Versuche zur Reproduzierbarkeit von Farbergebnissen ist das Vorhandensein eines stabilen Färbeprozesses (Siehe Anhang A1): erst wenn mit einem Verfahren unter Verwendung des gleichen Extrakts das gleiche Farbergebnis erzielt wird, kann man mit der Variation einzelner Parameter und der Analyse der dadurch erzielten Veränderungen beginnen.

2.3.2.1. Parameter der Rohstoffaufbereitung (exemplarisch für Eschenrinde)

Bei der Rohstoffaufbereitung und Extraktion wurden folgende Parameter variiert:

- ⚡ Zerkleinerungsgrad der getrockneten Rinde (Häcksler, Schneidemühle)
- ⚡ Rinde vor Extraktion vorwässern oder nicht
- ⚡ Mengenverhältnis von Rinde zu Wasser während der Extraktion (bei welcher Rindenmenge ist Sättigung erreicht, welche Extraktkonzentration ist erreichbar – Messung mit Photometer)
- ⚡ Extraktionszeitraum (nach welcher Kochzeit ist Sättigungspunkt erreicht – Messung mit Photometer)
- ⚡ Extraktstabilität (wie lange kann Extrakt gelagert werden)

Sämtliche Variationsversuche basierten auf folgendem Startrezept:

Herstellung des Farbbads (Extraktion des Pflanzenmaterials):

Rohmaterial und Wasser im Verhältnis 1:20 mischen, eine Stunde lang kochen, wobei das verdampfte Wasser wieder zugesetzt wird, anschließend filtrieren, Filtrat wird direkt als Färbeflotte eingesetzt.

2.3.2.2. Parameter des Färbevorgangs

Im Rahmen der Rezepterstellung werden die verschiedenen Parameter des Färbevorgangs, ihre Variationsmöglichkeiten und die damit verbundenen Auswirkungen genau analysiert, um Auskunft über die Stabilität des erreichten Farbtons zu erhalten. Selbst wenn im Labormaßstab vorab keine Schwierigkeiten auftreten, kann es bei einem labilen Verfahren im technischen Maßstab schnell zu Problemen kommen. Nur mit dem entsprechenden Hintergrundwissen können auftretende Farbton-Abweichungen entsprechend interpretiert werden und Gegenmaßnahmen¹⁶ ergriffen werden. Deshalb wurden folgende Parameter des Färbeprozesses variiert:

- ⚡ Zusatz unterschiedlicher Extraktmengen
- ⚡ Zusatz unterschiedlicher Beizenmengen (Beizenmenge absolut) – Ziel: Farbtiefe erhöhen
- ⚡ Gleichzeitiger Zusatz unterschiedlicher Beizen (Mischungsverhältnis Fe-Beize : Al-Beize) – Ziel: Nuancenbreite aufzeigen (Farbkarte zeigt nur Eckdaten für rein Fe und rein Al auf)
- ⚡ Temperatur während des Färbeprozesses
- ⚡ pH-Wert des Farbbads

¹⁶ Beispielsweise kann eine geringfügige Abweichung bei der Menge der zugesetzten Beize zu großen Auswirkungen beim Farbergebnis führen. Wenn das Färbeverfahren zu labil ist, d.h. wenn bei sehr geringfügigen Veränderungen der Parameter bereits Veränderungen des Farbergebnisses auftreten, ist das Risiko für die betriebliche Färbung zu groß und das Rezept im betrieblichen Maßstab nicht einsetzbar.

Das Startrezept für die Variationen wurde wie folgt definiert:

Einbadverfahren ohne Vor- oder Nachbeizevorgang: Der Färbeprozess beginnt mit einem Flottenverhältnis¹⁷ vorbehandelte Textilware zu Extrakt gleich 1:20. Nach 10 min bei Raumtemperatur wird auf 95°C erhitzt, nach weiteren 15 min bei 95°C erfolgt gegebenenfalls der Zusatz einer Beize ins Bad (Endkonzentration 1g/100ml FeSO₄·7H₂O bzw. Kaliumaluminiumalaun). Nach weiteren 35 min bei 95°C erfolgt das Abkühlen auf 60°C. Das Bad wird abgelassen und es folgen drei Spülgänge bei Raumtemperatur. Die Bestimmung des Farborts erfolgt durch die Farbmessung mit einem Dreifilterfarbmessgerät.

Abbildung 2: Darstellung des dreidimensionalen Farbraums

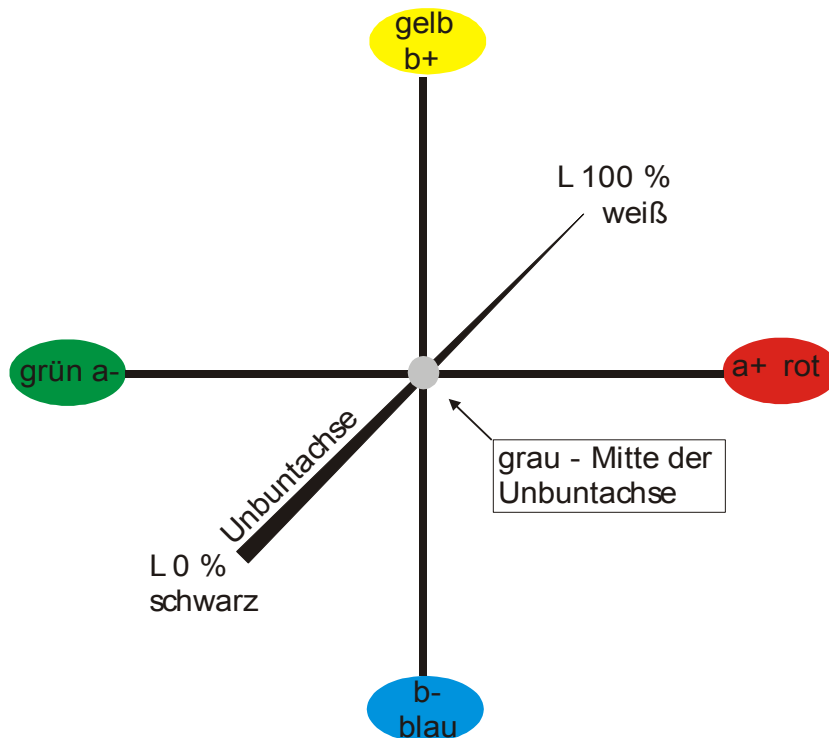


Abbildung 2: Darstellung des dreidimensionalen Farbraums veranschaulicht die besonders sensible Lage von Grau: bereits geringste Parametervariationen bewirken eine Verschiebung in Richtung rot, gelb, grün oder blau, was zu großen Abweichungen im Farbergebnis führt.

2.3.2.3. Echtheitsprüfungen zur Bewertung der Farbergebnisse

Um die Qualität der Farbergebnisse zu abzuschätzen wurden die wichtigsten Echtheitsprüfungen durchgeführt:

- ≠ Waschechtheit (40°C) nach DIN 54014: bewertet die Farbveränderung und das Anbluten auf Begleitmaterial bei einem Feinwaschvorgang auf einer Skala von 1 bis 5 (Optimum)
- ≠ Nassechtheit schwer nach DIN 540006: bewertet die Farbveränderung und das Anbluten auf Begleitmaterial bei feuchter Lagerung bei 37°C auf einer Skala von 1 bis 5 (Optimum)
- ≠ Lichtechtheit (Xenotestbelichtung und Vergleich mit Blaumaßstab): bewertet die Farbveränderung bei Belichtung auf einer Skala von 1 bis 8 (Optimum)

¹⁷ Unter Flottenverhältnis wird das Verhältnis der Masse des Färbegutes [Kilogramm] zur Flottenmenge [Liter] verstanden.

2.4 Betriebliche Färbeversuche / Scale up

Zur betrieblichen Einführung der Farbstoffe wurde den Betrieben ein wässriger Pflanzenauszug (der pflanzenspezifisch optimal aufbereitet worden war) als Färbeflotte zu Verfügung gestellt. Gleichzeitig wurde auch der Färbeprozess vorgegeben (siehe Anhang A1), wobei in Absprache mit dem jeweiligen Färbereileiter eine Anpassung an die betriebliche Maschinenausstattung und das betriebsinterne Prozedere durchgeführt wurde. Bei synthetischen Farbstoffen übernimmt diese Aufgabe der Farbenhersteller oder Lieferant unter dem Stichwort „Verfahrenstechnische Betreuung“.

2.5 Ökonomische Methoden

Entscheidend für die breite Anwendung der pflanzlichen Farbstoffe in der Textilfärberei ist der Farbstoffpreis. Derzeit gibt es noch keinen Markt und daher auch keine Preise für pflanzliche Farbstoffe. Im Spannungsfeld zwischen hohen Entstehungs- und Entwicklungskosten auf der Anbotsseite und der nachfrageseitigen Zahlungsbereitschaft¹⁸ sind folgende Schlüsselfaktoren wichtig:

- ≠ Preis, der mit dem gefärbten Produkt erzielt werden kann – betrifft Erhöhung der Zahlungsbereitschaft für Farbstoffe auf der Nachfrageseite
- ≠ Produktionskosten der Rohstoffe – betrifft Kosteneinsparungen auf der Anbotsseite
- ≠ Verkauf eines Produktportfolios oder Verkauf von Einzelfarbstoffen – betrifft Vermarktungsstrategie auf der Anbotsseite

Zur Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Machbarkeit der Nutzung pflanzlicher Farbstoffe wurde die Zahlungsbereitschaft der färbenden Betriebe abgefragt und Kostenschätzungen für die Produktion der standardisierten Farbstoffe durchgeführt. Die Preise konventioneller Farbstoffe wurden zur Orientierung herangezogen.

2.5.1 Kostenabschätzung für die Rohstoffbereitstellung

Kostenabschätzung für die landwirtschaftliche Rohstoffbereitstellung (siehe Anhang C)

Zur Ermittlung der Produktionskosten von Resede (*Reseda luteola*) und Krapp (*Rubia tinctorum*) wurde die Deckungsbeitragsrechnung als Verfahren der Teilkostenrechnung herangezogen. Dabei wurden die Kosten der Faktoreinsätze Anbau inklusive Feldvorbereitung, Ernte, Trocknung und Aufbereitung des Erntegutes berücksichtigt. Das Endprodukt ist die getrocknete, verpackte Färbetroge. Für die Färbepflanzenarten Resede und Krapp bestehen in Österreich noch keine mehrjährigen Erfahrungen sowie Ertragszahlen aus dem großmaßstäblichen Praxisanbau, es liegen auch nur wenige Versuchsergebnisse für österreichische Standortverhältnisse bzw. Produktionsverfahren im biologischen Landbau vor (vgl. Aufzeichnungen des LVZ Wies sowie HARTL und VOGL 2000, in Anhang C).

Die Abschätzung der Datengrundlagen für diese beiden Kulturen beruht deshalb größtenteils auf getroffenen Annahmen und Literaturergebnissen (u.a. Anbautelegramme, Analogschlüsse aus dem Heil- und Gewürzkräuteranbau). Für eine Kalkulation mit fundierten Daten müssten Produktionserfahrungen in mehrjährigen Anbauversuchen gewonnen und genauere Ertragsdaten ermittelt werden.

¹⁸ Die Farbstoffkosten der synthetischen Farbstoffe sind mit wenigen Ausnahmen minimal.

Preisabschätzung für die landwirtschaftliche Rohstoffbereitstellung

Preisabschätzungen wurden auf der Basis von drei Szenarien für verschieden große Abnahmemengen getroffen (pro Textilbetrieb insgesamt 500 kg, 1 t und 100 t Färbedrogen). Zur Abschätzung der Kilopreise wurde die Produktionskostenabschätzung für Resede und Krapp (Anhang C) unter Einbeziehung von Praktikern aus dem Kräuteraanbau überarbeitet.

Für die Abnahme geringer Mengen von Resede und Krapp (ca. 100 – 400 kg) wurde ein Anbau im kleinen Maßstab angenommen (Anbau in der Südsteiermark: Anbauflächen unter 1 ha, überwiegend Handarbeit, Satzrockner). Für die Abnahme größerer Mengen (100 – 200 t) wurde ein Anbau im großen Maßstab angenommen (Anbau im Burgenland: Anbauflächen über 1 ha, mechanisierter Anbau, Bandrockner). Anhand der konkreten Rahmenbedingungen (Maschinenausstattung bzw. Einsatz von Handarbeit, Kostenbewusstsein, Gewinnvorstellung) der potentiellen Produzenten wurde modellhaft eine Kilopreisabschätzung durchgeführt. Die Preisabschätzung bezieht sich auf 1 kg getrocknete, geschnittene Ware, verpackt und geliefert nach Sprögnitz in Niederösterreich, Firma Sonnentor zur Standardisierung und Abfüllung in Schlauchbeutel.

Kostenabschätzung für Rohstoffe aus lebensmittelverarbeitenden und forstwirtschaftlichen Betrieben

Wenn möglich wurden Analogieschlüsse zu bereits am Markt befindlichen Produkten (Rinde als Dekorstoff) und Dienstleistungen (Kosten für Verpackung von Tee) vorgenommen. Mittels Telefoninterviews wurde die derzeitige Nutzung der Reststoffe erhoben. In vielen Fällen werden die anfallenden Reststoffe kompostiert, wodurch beim Verarbeiter keinerlei Preisvorstellung besteht. In diesen Fällen wurde der zusätzliche Arbeitsaufwand für eine entsprechende Bereitstellung des Reststoffes abgeschätzt bzw. ermittelt, bei welchem Abgabepreis eine solche Reststoffverwertung für eine betriebliche Umsetzung Anreiz bieten würde. Für das händische Schepsen von Rinde wurde ein Praxisversuch durchgeführt, um den Zeitaufwand abschätzen zu können.

2.5.2 Kostenabschätzung für die Standardisierung des Farbstoffs

Für die Kostenschätzung wurde folgender Arbeitsablauf zur Standardisierung angenommen:

Farbstoffbeutel auf verschiedenen Fasern anfärben	1h
Visueller Vergleich mit Farbstoffstandard	0,25h
Abmischen: Zusammenstellen der Prozentanteile, um Standard zu erreichen	0,5h
Ausfärbung der Mischung auf verschiedenen Fasern	1h
Visueller Vergleich mit Farbstoffstandard	0,25h
1. Korrektur Abmischen: Zusammenstellen der Prozentanteile, um Standard zu erreichen	0,5h
Ausfärbung der Mischung auf verschiedenen Fasern	1h
Visueller Vergleich mit Farbstoffstandard	0,25h
2. Korrektur Abmischen: Zusammenstellen der Prozentanteile, um Standard zu erreichen	0,5h
Ausfärbung der Mischung auf verschiedenen Fasern	1h
Visueller Vergleich mit Farbstoffstandard	0,25h

Der Stundensatz wurde mit 35 € für eine qualifizierte Arbeitskraft angenommen und beinhaltet die Gebäude- und Materialkosten für das „Kleine Labor“ (bestehend aus Photometer, Heizbad, ev. Dreifilterfarbmessgerät) sowie die Lagerung.

2.5.3 Bestimmung der nachfrageseitigen Zahlungsbereitschaft

Seitens der Textilindustrie besteht die Anforderung, dass Pflanzenfarbstoffe hinsichtlich der Kosten mit synthetischen Farbstoffen vergleichbar sein sollen. Davon ausgehend wurde die Bandbreite der konventionellen Farbstoffkosten erhoben. Zusätzlich ist das Wissen um den Anteil der Farbstoffkosten am verkauften Produkt ausschlaggebend. Deshalb wurde von den beteiligten Betrieben eine diesbezügliche Aufstellung der anteiligen Farbstoffkosten an den Gesamtkosten des Endprodukts durchgeführt.

2.5.4 Mischkalkulation zur Preisbildung

Die Produktionskosten von Rohstoffen aus der landwirtschaftlichen Primärproduktion sind hoch im Vergleich zu den Kosten, die bei der Aufarbeitung von Reststoffen aus der Holz- und Lebensmittelverarbeitung entstehen. Dafür hat die Landwirtschaft Farbstoffe zu bieten, die mit Reststoffen nicht zu erreichen sind. Untersucht wurde, inwiefern die in der Produktion teureren landwirtschaftlich produzierten Rohstoffe durch die billigeren Farbstoffe aus Reststoffen „gestützt“ werden könnten. Dazu wurde eine Erhebung bei den färbenden Betrieben durchgeführt: ermittelt wurde, wie hoch die Nachfrage nach welchem Farbton eingeschätzt wird. Aus der prozentualen Verteilung zwischen den einzelnen Farben kann berechnet werden, welcher Anteil der Farbstoffe aus der Landwirtschaft kommen muss und welcher durch Reststoffe gedeckt werden kann. So kann ein Preis für das gesamte Portfolio an Farben berechnet werden, der als Richtpreis für den Vergleich mit konventionellen Farbstoffen dienen kann.

3 Ergebnisse des Projekts und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Projekts lassen sich in folgende Bereiche gliedern:

Färbe- und Verfahrenstechnik: Ergebnisse sind die erweiterte Farbkarte, die Standardisierung des Farbstoffs und des Färbeverfahrens für die Färbung mit Zwiebel und Rinde sowie betrieblich gefärbte Pilotprodukte.

Produktions-Nutzungsketten: Ergebnis ist die Dokumentation von Produktions-Nutzungsketten für Rohstofftypen von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum Färbeverfahren und ihre Optimierung in ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht.

Anbieter- und Nachfragerkooperation: Ergebnis ist die Belegung der Produktions-Nutzungsketten mit konkreten Personen bzw. Betrieben.

Grundlagen zur Preisbildung von Pflanzenfarbstoffen: Ergebnisse sind Kostenschätzungen der Rohstoffgewinnung, Aufbereitung und Standardisierung sowie die Ermittlung der nachfrageseitigen Zahlungsbereitschaft.

Leitfaden: Hilfestellung für die Initiierung neuer Kooperationen zwischen Anbietern und Nachfragern nachwachsender Rohstoffe: Ergebnis ist ein Leitfaden vor allem für Regionalentwickler und Betriebsberater.

3.1 Färbe- und Verfahrenstechnik

Die Anwendbarkeit der pflanzlichen Farbstoffe in der industriellen Färberei war erstes Ziel dieses Vorhabens. Zentrale Arbeitsteile des Projekts waren daher folgende: Die Ermittlung von Farbstoffen, mit welchen ansprechende Farbtöne mit erforderlichen Echtheiten erreicht werden können und welche die Anforderungen an das Färbeverfahren erfüllen (Erweiterung der Farbkarte), die Standardisierung der Farbstoffe sowie die Umsetzung auf betrieblicher Ebene (Scale up) unter Gewährleistung von reproduzierbaren Färbeergebnissen. Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte sind in den folgenden Kapiteln beschrieben; die Bearbeitung erfolgte gemäß der in Kapitel 2 dargestellten Methoden.

3.1.1. Erweiterung der Farbkarte

Ausgehend von der Farbkarte, die im Projekt „Farbstoff liefernde Pflanzen“¹⁹ erarbeitet worden war, wurden mögliche Alternativen für ein weiteres Screening von Farbstoffen ermittelt. Die erstellte Pflanzenliste wurde anhand von Potenzialabschätzungen im Bereich der landwirtschaftlichen Primärrohstoffe und anhand von tatsächlichen Verfügbarkeiten im Bereich der Reststoffe konkretisiert. Mit den verbleibenden pflanzlichen Farbstoffen wurden Färbeversuche (Probefärbungen und Echtheitsprüfungen) durchgeführt, deren Ergebnisse in der Farbkarte dokumentiert sind.

¹⁹ GEISSLER, S.; GANGLBERGER, E.; BECHTOLD, T.; SANDBERG, S.; SCHÜTZ, O.; HARTL, A.; REITERER, R.; (2001): Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen unter Aspekten der Nachhaltigkeit: Produktion von farbstoffliefernden Pflanzen in Österreich und ihre Nutzung in der Textilindustrie; Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

3.1.1.1. Festlegung des zu untersuchenden Pflanzenmaterials

Im Vordergrund der Pflanzenauswahl (Dokumentation siehe Anhang A2) standen auch diesmal die Forderungen der Textilchemie: gesucht wurden einerseits Pflanzen, die hohe färberische Qualität versprechen, und andererseits zu einer möglichst breiten Farbpalette beitragen. Abgesehen davon ist es aus Gründen der Versorgungssicherheit wünschenswert, in jedem Farbbereich mindestens zwei Pflanzen mit entsprechender färberischer Qualität zu kennen.

3.1.1.2. Verfügbarkeit der Rohstoffe (Ermittlung potentieller Bezugsquellen und Materialbeschaffung für Probefärbungen)

Färbepflanzen wie Färberresede, Rainfarn, Färberkamille werden derzeit in Österreich nicht kommerziell angebaut. Probematerial konnte in den meisten Fällen in kleinen Mengen vom Handel oder von Versuchspflanzungen bezogen werden. Für die Pflanzen Labkraut und Waldmeister konnte gar keine Bezugsquelle gefunden werden. Deshalb wurde ein kleiner Versuchsanbau initiiert, um die Probemenge für erste Färbeversuche zu erhalten. Das bedeutet aber, dass die Liefersicherheit bei einer Maßstabsvergrößerung für die betriebliche Umsetzung derzeit nicht gegeben wäre (weitere Informationen siehe Anhang A3).

Im Reststoffbereich ist die mengenmäßige Verfügbarkeit kein Problem, die zeitliche Verfügbarkeit hängt stark vom gewünschten Material ab (weitere Informationen siehe Anhang A3).

3.1.1.3. Erstellung der Farbkarte

Die umfangreiche Liste mit möglichen Alternativen färbender Pflanzen (siehe Anhang A2) wurde anhand von Potenzialabschätzungen und tatsächlichen Verfügbarkeiten im Bereich der landwirtschaftlichen Primärrohstoffe und Reststoffe konkretisiert.

Schlussendlich wurden Probefärbungen²⁰ mit Färberresede, Färberkamille, Rainfarn, Färbescharte, Rote Zwiebelschale, Spinat, Fisolen, Erbsen, Karotten, Krappwurzeln, Rhababerwurzeln, Labkraut, Färbermeister, Weintrester, Holundertrester, schwarzer Johannisbeertrester, Sauerkirschtrester, Kirschenschlempe, Rotkraut, Rote Rüben, Eschenwasser, Schwarzerlenwasser, Himbeertrester und Schwarzteetrestrester durchgeführt.

Die Ergebnisse der Probefärbungen und Echtheitsprüfungen wurden in Form einer Farbkarte zusammengefasst. Die Farbkarte enthält nicht nur die besten Ergebnisse, sondern stellt die Dokumentation der Probefärbungen und Echtheitsprüfungen insgesamt dar. Sie ist damit eine wichtige Datengrundlage für färbetechnische Optimierungen sowie die Grundlage für eine spätere Erweiterung der Farbpalette.

In das betriebliche Scale up wurden aber vorerst nur jene Färbematerialien aufgenommen, welche mit dem angewendeten Färbeverfahren (siehe Anhang A1) akzeptable Farbtöne erreichten und folgende Mindestanforderungen hinsichtlich der Echtheiten erfüllten:

≠ Wasserechtheit (schwer): mindestens 3-4

≠ Waschechtheit (Feinwäsche 40°C, pH-neutral): mindestens 3-4

≠ Lichtechtheit: größer als 3

Pflanzenmaterial, das diese Anforderungen nicht erfüllte, wurde vorerst ausgeschlossen und in diesem Projekt nicht weiterverfolgt. Die Ergebnisse der betrieblichen Färbeversuche mit Eschenrinde, Schwarzerlenrinde, Himbeertrester, Johannisbeertrester, Weintrester, grüne Walnussschale, rote Zwiebelschale, Resede und Krapp sind unter Kapitel 3.1.3 zu finden.

²⁰ Färbebad: wässriger Pflanzenauszug, Details zum Färbvorgang und zu den Bezugsquellen der Rohstoffe: siehe Anhang A1 oder Farbkarte sowie Anhang B8.

