

**Entwicklung eines Lacksystems auf Basis  
nachwachsender Rohstoffe zur  
Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von  
Biokunststoffen**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt  
**Az: 29278**

von

Dr. Ulla Eggers  
Dr. Ulrich Kluss  
Reincke Naturfarben GmbH

Dipl.Ing Jörg Günther  
Ralf Zahradnik  
Kunststoff-Institut Lüdenscheid GmbH

Buxtehude im März 2014

zu beziehen durch:

Reincke Naturfarben GmbH  
Rudolf-Diesel-Straße 4  
21614 Buxtehude

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>29278</b>	Referat	<b>21/2</b>	Fördersumme	<b>€ 104.000,-</b>
----	--------------	---------	-------------	-------------	--------------------

**Antragstitel** **Entwicklung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von Biokunststoffen**

**Stichworte**

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>24 Monate</b>	<b>2.8.2011</b>	<b>02.02.2014</b>	

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Reinke Naturfarben GmbH	Tel +49 (5824) 965443
	Rudolf-Diesel-Str. 4	Fax +49 (4161) 78369
	21614 Buxtehude	Projektleitung
	ulla.eggerts@t-online.de	Frau Dr. Ulla Eggerts
		Bearbeiter
		Frau Dr. Ulla Eggerts

**Kooperationspartner** Kunststoff-Institut Lüdenscheid  
Karolinenstr. 8  
58507 Lüdenscheid  
guenther@kunststoff-institut.de

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die Aspekte Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung sind mit dem Einsatz von Biopolymeren optimal nur durchsetzbar, wenn auch zur Oberflächenbehandlung Lacksysteme auf Basis nachwachsender Rohstoffe eingesetzt werden. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Lacksystems, dessen Bindesystem auf Basis nachwachsender Rohstoffe basiert und sich auf Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und auch auf Kunststoffe auf konventioneller Basis applizieren lässt. Besonderer Wert wurde auf eine hohe technische Performance in Anlehnung an Anforderungen für Automotive-Interior Bauteile gelegt.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Zunächst erfolgte eine Vorauswahl der Materialien, die Definition des Anforderungsprofils an das Schichtsystem und die Auswahl der Bauteil-Geometrien. Es wurden verschiedenste Vorbehandlungsmethoden, wie z.B. die Flourierung und Beflammung, um die Oberfläche der Bauteile zusätzlich positiv zu beeinflussen. Im Folgenden wurden Muster mit unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt und beschichtet. Hierbei wurde die grundsätzliche Beschichtbarkeit, die Filmbildung, die Deckkraft und Haftung bewertet. In weiteren Arbeitspaketen erfolgen Rezepturoptimierungen, weitere Applikationstests und Prüfungen.

Ein optimiertes Lack-System wurde auf eine 3D-Geometrie appliziert und die Überprüfung der Anlagentauglichkeit durchgeführt. Zusätzlich erfolgten weitere Prüfungen des Systems hinsichtlich Haft- und Kratzfestigkeit, UV- bzw. Langzeitbeständigkeit. Die Ergebnisse werden in einem Projektbericht und einer Ökobilanz für das Lacksystem dokumentiert. Der Technologietransfer soll im Anschluss über Messen und Vorträge bei unterschiedlichsten Veranstaltungen und Veröffentlichungen erfolgen.

Die Hauptaufgabe der Reincke Naturfarben bildete dabei die Herstellung des Lacksystems. Das Kunststoff-Institut Lüdenscheid stellte die nötigen Bauteile her und führte die Applikationsversuche und die zugehörigen Prüfungen durch.

Eine Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung des Lacksystems wurde von der Transferstelle Bingen TSB durchgeführt. Ein Vergleich mit konventionellen Systemen war leider nicht möglich, da für diese Systeme keine Daten vorliegen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Projektkennblatt</b>	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>II, III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Glossar</b>	<b>V</b>
<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2. Einleitung</b>	<b>2</b>
2.1 Ausgangssituation	2
2.2 Zielsetzung	2
2.3 Aufgabenstellung	3
<b>3. Durchführung Arbeitspaket 1 Vorauswahl</b>	<b>4</b>
3.1 Problemstellung	4
3.2 Vorauswahl	5
3.2.1 Marktrecherche Biokunststoffe	5
3.2.2 Substratauswahl und Anforderungsprofile	6
3.3 Anforderungen an das System Biopolymer-Biolack	7
3.4 Auswahl der Rohstoffe für die Biolack-Entwicklung	8
3.4.1. Bindemittel	9
3.4.2. Lösemittel	11
3.4.3 Additive	12
3.5 Prüfverfahren	13
3.6 Vorauswahl Bindemittel und Lackrezepturen	13
3.6.1 Vorversuche mit Bindemitteln	13
3.6.2 Anmerkungen zu Calendulaöl	14
3.6.3 Vorversuche mit Lösemitteln, insbesondere Lactate	14
3.6.4 Vorauswahl der Rohstoffe	15
3.6.5 Rezeptierungsmethoden	16
3.7 Festlegung der Substrat-Geometrie	16
3.8 Zusammenfassung Arbeitspaket 1	17
<b>4 Arbeitspaket 2 Erstversuche</b>	<b>18</b>
4.1 Herstellung von Platten aus Biowerkstoffen	18
4.2 Beschichtungsversuche inkl. Vorbehandlungen	18
4.2.1 Mustervorbehandlung – Aktivierung	18
4.3 Lackrezepte und Lackabprüfung	19
4.4 Prüfungen	20
4.4.1 Lackprüfung	20
4.4.2 Abgemusterte Bio-Kunststoffe	20
4.4.3 Oberflächenaktivierung	21
4.4.4 Verwendetes Lacksystem/Mischungsverhältnis	21
4.4.5 Technische Beurteilung des Schichtsystems	21
4.4.6 Beschichtungsablauf/Trocknung	21
4.4.7 Abprüfung nach PV 1200	22
4.4.8 Ergebnisse	23
4.5 Ergebnisse AP 2, Vorplanung AP 3 und AP 4	23

<b>5</b>	<b>Arbeitspaket 3 Haftfestes Lacksystem</b>	<b>24</b>
5.1	Rezepturoptimierung	24
5.1.1	Problembearbeitung	24
5.1.2	Problembearbeitung – Trocknung	26
5.1.3	Problembearbeitung – unruhige Oberfläche	26
5.2	Beschichtungsversuche II & Prüfungen	26
5.2.1	Polymersubstrate	27
5.2.2	Auswahl und Beschreibung der Prüfverfahren	27
5.2.3	Schnelltests	27
5.2.4	Abprüfung nach PV 1200	28
5.2.5	Auswertung der Kondenswasserkonstantklimalagerung	29
5.3	Haftfestes Lacksystem	30
<b>6</b>	<b>Arbeitspaket 4 Marktfähiges Produkt</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Arbeitspaket 5 Ökologisch und ökonomische Bilanzierung</b>	<b>33</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>VI</b>
	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>VII</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1	Produktionskapazitäten Bioplastics	2
Abbildung 2	lackierte Lüftungsblende	4
Abbildung 3	bedruckte Lüftungsblende aus WPC	5
Abbildung 4	Displayblende	17
Abbildung 5	Werkstoffplatten	18
Abbildung 6	Prüfmuster Schwarzlack auf WPC 30	28
Abbildung 7	Prüfmuster Schwarzlack auf Makrolon 2405 PC	28
Abbildung 8	Prüfmuster WPC 50 nach 3 Tagen	29
Abbildung 9	Prüfmuster WPC 50 nach 10 Tagen	30
Abbildung 10	Prüfmuster Makrolon 2405 PC nach 10 Tagen	30

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	Lackprüfung	20
Tabelle 2	abgemusterte Kunststoffe	21
Tabelle 3	Auftragsbedingungen	22
Tabelle 4	Abmusterung Navi-Blenden	27
Tabelle 5	Bedingungen der Kondenswasserlagerung	29
Tabelle 6	Rahmenrezeptur	31

## **Glossar**

## **Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen**

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat
Bayblend T65	Standartkunststoff auf Basis PC/ABS
DIY-Bereich	Do It Yourself-Bereich / Endanwender im privaten Umfeld
EGA	Ethylenglycolacetat
Glossmeter	Meßgerät zur Feststellung des Glanzgrades im Schnelltest
Grindometer	Meßgerät zur Feststellung von Korngrößen im Schnelltest
Makrolon 2405	Standartkunststoff auf Basis PC
Naturegran PV 6930	Biopolymer auf Basis PLA
OEM	Original Equipment Manufacturer
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PLA	Polylactide (Polymilchsäure)
PTT	Polytrimethylene Terephthalat
Siloxan	chemisch modifiziertes Silikonöl
Sikkativ	Katalysator zum Trocknen von Naturöl-Lacken
Sonora 3301 NC 010	Biopolymer auf Basis PTT
Terulan GP 35	Standart-Kunststoff auf Basis ABS
TiO <sub>2</sub>	Titandioxid – Weißpigment
Vestamid Terra DS	Biopolymer auf Basis PA
Wheelmark/Steuerrad	Konformitätskennzeichen der EU-Direktive 96/98 EG für die Qualitätssicherung von Schiffsausrüstungen
Werzalit S2 30	WPC Produkt aus Polypropylen und 30% Holzmehl
Werzalit S2 50	WPC Produkt aus Polypropylen und 50% Holzmehl
WPC	Wood-Plastic-Composites
ZnO	Zinkoxid

## **1 Zusammenfassung**

Die Aufgabe, einen biobasierten Lack für die Anwendung auf Biopolymeren und herkömmlichen Kunststoffen zu entwickeln, wurde auf zwei parallel ablaufenden Handlungsebenen angegangen. Das Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft NRW GmbH in Lüdenscheid hat die Auswahl, Herstellung und Abprüfung der Polymermuster übernommen. Die Reincke Naturfarben GmbH in Buxtehude war für die Lackentwicklung zuständig. Zwischen beiden Partnern wurden ständig Muster hin- und hergeschickt, so dass sich die beiden Handlungsstränge in Form von gegenseitigen Abprüfungen ständig überschneiden und ergänzen konnten, bis am Ende ein haftfestes Lacksystem festgeschrieben werden konnte.

Die Auswahl der Polymere orientierte sich an Recherchen über die Marktrelevanz von Bio-Kunststoffen und an Eigenschaftsprofilen, die für eine Nutzung als Gebrauchsgüter im Haushalt oder für Bauteile im Autoinnenraum vorausgesetzt werden.

Die Auswahl der Lackrohstoffe orientierte sich zunächst an den Produkten, die bei der Reincke Naturfarben GmbH bisher schon erfolgreich eingesetzt wurden. Nach den ersten Testreihen zeigte sich jedoch eine Lücke bei den benötigten Bindemitteln, die mit einem eigens neu entwickelten Bindemittel aufgefüllt werden konnte. Nach dem Durchlaufen mehrerer Iterationsschleifen zwischen Rezeptur, Abprüfung und Optimierung stand zuletzt ein Lacksystem, das den Anforderungen an Härte, Widerstandsfähigkeit und Haftung auf den Polymeren zunächst entsprach.

Die intensive Abprüfung im Kunststoff-Institut auf Basis der VW-Norm TL 226 für Lackierungen von Werkstücken der Fahrzeug-Innenausstattung mit Klimawechsellagerung und Kondenswasserkonstantklimalagerung offenbarte aber Schwächen am Schichtsystem: Biolack-Biopolymer was Haftung und Lackstabilität betraf. Zudem wurde durch die Applikationsmethode (forcierte Trocknung bei 50°C) und durch die Testbedingungen in der Klimakammer der natürliche Prozess der Vergilbung, dem die natürlichen Rohstoffe zwangsläufig unterliegen, stark beschleunigt und verstärkt, was zu Verfärbungen führte.

Trotz verschiedener Ansätze diese Schwächen durch den Einsatz neuer Bindemittel zu beseitigen, war es am Ende nicht möglich den hohen Anforderungen der Autoindustrie gerecht zu werden. So dass das Ziel eines marktfähigen Biolackes für Biopolymere innerhalb dieses Projekts nicht erreicht wurde. Im Zuge der vielen Versuche und Tests, die gemacht wurden, haben sich aber einige Ansatzpunkte ergeben, mit welchen Materialien und Methoden zielorientiert weitergearbeitet werden kann. Aus Sicht der Projektpartner wäre es sehr sinnvoll, im Rahmen eines Folgeprojektes diesen Weg, der auch von grundsätzlich biobasierten Materialien ausgeht, der aber Anleihen bei herkömmlichen, modernen Lackentwicklungen macht, weiter zu verfolgen.

Bei der Reincke Naturfarben GmbH wurde das Projekt dennoch als überaus erfolgreich bewertet, da die gewonnenen Erkenntnisse gewinnbringend in Produkte für die Holz- und Parkettbeschichtung eingeflossen sind. Im Bereich der Holzbeschichtung sind die Anforderungen an Härte und Widerstandskraft ähnlich hoch wie bei Gebrauchsgütern aus Kunststoff, jedoch wird eine deutlich geringere Klimaresistenz verlangt. So konnten ein Parkett-Klarlack und ein Yacht- und Bootslack auf Basis natürlicher Rohstoffe entwickelt werden, die bisher im Produktportfolio bei Reincke fehlten. Beide Produkte werden bereits erfolgreich vermarktet.

## 2 Einleitung

### 2.1 Ausgangssituation

In allen Industriebereichen wird vermehrt über den Einsatz von biobasierten Werkstoffen oder Naturfasermaterialien geforscht. Statt auf begrenzt verfügbare fossile Rohstoffe setzt die Industrie immer häufiger auf nachwachsende Biomaterialien.

Die Entwicklung von Biopolymeren ist seit einigen Jahren trotz Wirtschaftskrise ungebremst steigend und hat besonders seit 2009 einen deutlichen Entwicklungsschub erlebt. Der Markt für Biopolymere wächst in Europa seit Jahren mit Wachstumsraten von mehr als 20% jährlich.

So betrug im Jahr 2009 die weltweite Produktionskapazität bereits über 400 000 t, wobei der Bereich der nicht kompostierbaren Biopolymere noch einen sehr geringen Anteil ausmachte. Im Hinblick des zu erwartenden Marktes der technisch biobasierten Materialien ist insbesondere mit einer Steigerung der Produktionskapazitäten in

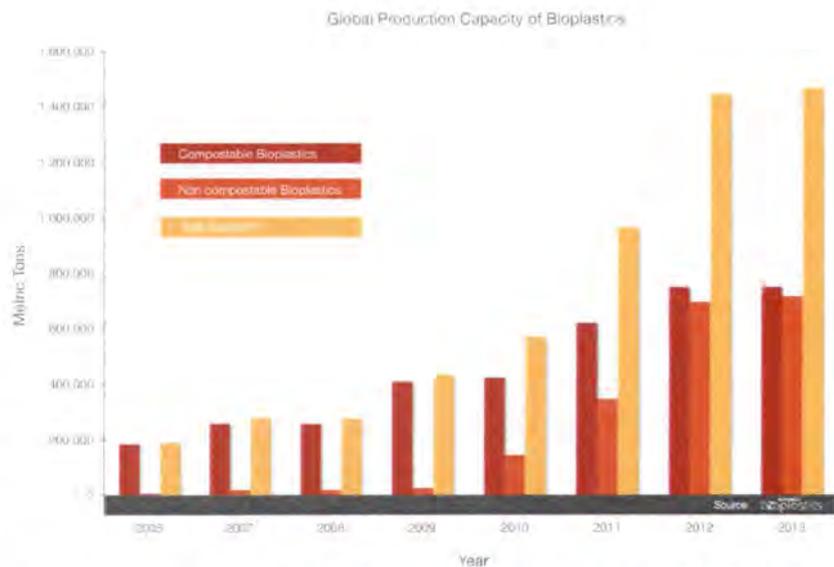


Abb. 1 Weltweite Produktionskapazitäten von 2005 bis 2009 und deren voraussichtliche Entwicklung in den kommenden Jahren (Quelle: European Bioplastics)

diesem Segment zu rechnen. Gemessen am Gesamtkunststoffmarkt von global ca. 250 Mio. t wird deutlich, dass Biokunststoffe

noch am Anfang stehen. Analysten vergleichen diese Situation mit der Markteinführung der Standardkunststoffen (PP, PE) vor vielen Jahren. Grundsätzlich gilt, dass ein wachsendes Angebot von Polymertypen mit durchaus ähnlichen Eigenschaften eine wichtige Voraussetzung darstellt, die Technologie- und Markteinführung zu beschleunigen.

### 2.2 Zielsetzung

Ziel des Projektes waren Produkte aus Bio-Polymeren, die zusätzlich mit einem Bio-Lacksystem versehen werden sollten, um dem wachsenden Gesundheitsbewusstsein und der Nachfrage nach ökologischen Produkten Rechnung zu tragen. Dazu zählen z.B. Bauteile für:

- ▶ Automotive-Interior
- ▶ Schalter & Blenden im Hausbereich
- ▶ Blenden & Gehäuse im Bereich Consumer Electronics (DECT-Telefone, Fernseher, Audiogeräte, Navigationssysteme, ...)
- ▶ Weiß Ware (Staubsauger, Kaffeeautomaten, Herd/Kühlschrank,...)

Besonderer Wert wurde auf eine hohe technische Performance gelegt, um industriellen Einsatz gerecht zu werden. Kriterien für ökologisch verträgliche Produkte sind neben der Humantoxikologie und Umweltbelastung auch Fragen der effektiven Produktion, dem Energieverbrauch, der Abfallreduktion.

### **2.3 Aufgabenstellung**

Hauptziel des Projekts war die Entwicklung eines Lacksystems, dessen Bindsystem auf nachwachsenden Rohstoffen basiert und welches sich auf Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und auch auf Kunststoffe auf konventioneller Basis applizieren lässt.

Die ersten Arbeitsschritte waren die Vorauswahl der Materialien, die Definition des Anforderungsprofils an das Schichtsystem und die Auswahl der Bauteil-Geometrien. Verschiedene Vorbehandlungstechniken wurden getestet, um die Oberfläche der Bauteile zusätzlich positiv zu beeinflussen. Im Folgenden wurden Muster mit unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt und beschichtet. Bewertet wurde die grundsätzliche Beschichtbarkeit, die Filmbildung, die Deckkraft und Haftung.

Im weiteren Arbeitspaket erfolgten Rezepturoptimierungen, weitere Applikationstests und Prüfungen.

Eine optimierte Beschichtung wurde auf eine 3D-Geometrie appliziert und die Überprüfung der Anlagentauglichkeit durchgeführt. Zusätzlich erfolgten weitere Prüfungen des Systems hinsichtlich Haft- und Kratzfestigkeit, Medien- und UV- bzw. Langzeitbeständigkeit. Die Ergebnisse werden im Projektbericht dokumentiert.

Ein optimiertes System wurde auf eine 3D-Geometrie appliziert und die Überprüfung der Anlagentauglichkeit durchgeführt. Zusätzlich erfolgten weitere Prüfungen des Systems hinsichtlich Haft- und Kratzfestigkeit, UV- bzw. Langzeitbeständigkeit. Die Ergebnisse werden in einem Projektbericht und einer Ökobilanz für das Lacksystem dokumentiert. Der Technologietransfer soll im Anschluss über Messen und Vorträge bei unterschiedlichsten Veranstaltungen und Veröffentlichungen erfolgen.

Die Hauptaufgabe der Reinke Naturfarben bildete dabei die Herstellung des Lacksystems. Das Kunststoff-Institut Lüdenscheid stellte die nötigen Bauteile her und führte die Applikationsversuche und die zugehörigen Prüfungen durch.

Eine Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung des Lacksystems wurde von der Transferstelle Bingen TSB durchgeführt. Ein Vergleich mit konventionellen Systemen war leider nicht möglich, da für diese Systeme keine Daten vorliegen.

### 3 Arbeitspaket 1 Vorauswahl

Die Aspekte Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung sind mit dem Einsatz von Biopolymeren optimal nur durchsetzbar, wenn auch zur Oberflächenbehandlung Lacksysteme aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Lacksystems, dessen Bindemittelsystem auf Basis nachwachsender Rohstoffe basiert und sich auf Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und auch auf Kunststoffe auf konventioneller Basis applizieren lässt. Besonderer Wert wird auf eine hohe technische Performance in Anlehnung an Anforderungen für Automotive-Interior Bauteile gelegt.

#### 3.1 Problemstellung

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe für Produkte des Konsumgüter-Bereichs bzw. in dauerhaften, langlebigen Produkten, wie z.B. im Bereich in der Automobilindustrie, in der Telekommunikation oder in der Gebäudesystemtechnik, mit denen der Endkunde auch direkt in Kontakt kommt, sind als noch sehr eingeschränkt zu betrachten.

Ursache hierfür ist, dass diese Produkte häufig dekorativen Ansprüchen, kombiniert mit funktionellen Aspekten (z.B. Kratz- und UV-Beständigkeit, Symbol- und Tastenbeschriftung etc.) unterliegen. Diese Anforderungen können von unbeschichteten Kunststoffbauteilen in der Regel nicht erfüllt werden. Die Wertanmutung unbeschichteter Bauteile aus Bio-Kunststoffen kann gegenüber Bauteilen aus konventionellen Werkstoffen als minderwertig bezeichnet werden, so dass allein dadurch die Akzeptanz des Endkunden gegenüber Produkten aus Biokunststoff als begründet skeptisch anzusehen ist und somit der breite Einsatz für Biokunststoffe in nachhaltigen Produkten als gefährdet anzusehen ist.

Als ein weiterer, wichtiger Aspekt ist zu benennen, dass die Grenzen der Einsetzbarkeit von Biopolymeren durch unterschiedliche, ungewollte Eigenschaften dieser limitiert sind. Hierzu zählen, je nach Werkstoff, z.B. auch negative Geruchsentwicklungen, die als K.o.-Kriterium der Automobilindustrie für den Einsatz von Biopolymeren zu bezeichnen sind. Dies ist als ein wesentliches Ergebnis einer eigenen Befragung von Experten aus dem Automotive Bereich zu beziffern.

Hierzu ist somit eine Lösung notwendig, die sowohl die Eigenschaften der Biokunststoffe hinsichtlich Lebensdauer, Beständigkeiten gegenüber Medien und Umwelteinflüssen verbessert als auch die Wertanmutung in Kombinationen mit dem Einbringen von Beschriftungsfunktionen/Symbolen etc. ermöglicht und ggf. Geruchsentwicklungen reduziert.

Als das am häufigsten eingesetzte Verfahren für die Erzielung solcher Eigenschaften bei konventionellen Kunststoffbauteilen auf Basis petrochemischer Rohstoffe kann das Lackieren benannt werden, welches häufig auch in Kombination mit dem Freilasern von Lackschichten verwendet wird (Abb. 2).



Abb.2 lackierte Lüftungsblende

Bisher existieren jedoch weder konventionelle Lacke, die speziell für Biokunststoffe geeignet und erprobt sind, noch entsprechende Lacke auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Hier setzt dieses Projekt an, mit dem Ziel, ein Lacksystem zu entwickeln, das gänzlich oder zu großen Teilen aus nachwachsenden Rohstoffen besteht und dass den hohen Anforderungen an

Gebrauchsgüter zum Beispiel in der Autoindustrie oder im Haushalt entspricht. Mit Hilfe eines solchen Lacksystems soll die Akzeptanz für den Einsatz von Biopolymeren bei Herstellern und Anwendern gestärkt werden.

### 3.2 Vorauswahl

#### 3.2.1 Marktrecherche Biokunststoffe

Verantwortlich für die Auswahl der Kunststoffe und die Methoden der Applikation war das Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft NRW GmbH (K.I.M.W.), Lüdenscheid, ein An-Institut der Fachhochschule Südwestfalen. Das Kunststoff-Institut beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Steigerung der Qualität und Wirtschaftlichkeit von Spritzgussteilen aus Thermo- und Duroplasten und nimmt speziell im Bereich der Oberflächentechnik eine Sonderstellung unter den Instituten und Forschungseinrichtungen ein. Das Institut versteht sich als Transfermedium und Bindeglied zwischen Hochschulforschung und Industrieunternehmen. Bereits 2005 wurde das Institut mit seinen Partnern bei "Kompetenznetze Deutschland" für den Bereich Oberflächentechnik Kunststoffe aufgenommen und 2009 als bestes Kompetenznetz in Deutschland ausgezeichnet. Auf dem Gebiet der Biopolymere und deren Verarbeitung verfügt das Kunststoff-Institut aufgrund einer umfangreichen Studie mit der Motorola GmbH und weiterer, bilateraler Projekte mit Unternehmen aus verschiedenen Bereichen über langjährige Erfahrungen.

In der Studie für die Motorola GmbH in 2003/2004 (1) recherchierte das Kunststoff-Institut bereits weltweit nach einsetzbaren Biopolymeren für Mobilfunkgeräte. Die Ergebnisse wurden auf der GPEC Konferenz in Detroit vorgestellt.

Im Zusammenhang mit der Studie wurde ebenfalls nach Lacken auf Basis nachwachsender Rohstoffe recherchiert und es wurde festgestellt, dass solche Lacke nicht existieren. Dieses Ergebnis wurde zusätzlich auf dem Workshop: *Nachwachsende Rohstoffe in der Beschichtungsindustrie* nochmals bestätigt (30.11.2010, Netzwerkveranstaltung Oberfläche.NRW). (2)

Das Institut führte gleichzeitig ein industriefinanziertes Firmenverbund-Projekt mit derzeit 13 Unternehmen aus den Bereichen Automotive, Elektro, Haushalt und Consumerproducts durch. Auf Basis der Studie und unterstützt durch eine Befragung der Teilnehmer des Verbundprojektes erfolgte die Vorauswahl von Substrat-Materialien für dieses Projekt. Die endgültige Festlegung erfolgte dann nach umfangreichen Vorversuchen und weiteren Befragungen unterschiedlichster Art über den Bedarf von lackierten Biopolymeren sowie der Eliminierung von Schwachstellen beim Einsatz. Mit Hilfe dieser Informationen wurde auch das Anforderungsprofil an das Schichtsystem "Biopolymer-Biolack" formuliert.

Ebenfalls wurden für dieses Projekt bereits kurze Vorversuche mit konventionellen Lacken durchgeführt. Diese wurden im klassischen Sprüh-Lackierverfahren auf Bauteile, basierend auf unterschiedlichen Biopolymeren, appliziert. Die Vorversuche zeigten, dass eine grundsätzliche Haftung der Lacke möglich ist. In der Industrie erfolgten bereits Bedruckungen und auch Lackierungen auf einzelnen Werkstoffen, die ebenfalls zeigen, dass eine grundsätzliche Machbarkeit gegeben ist.



Abb. 3 Bedruckte Lüftungsblenden aus WPC, Werzalit GmbH & Co. KG

### 3.2.2 Substratauswahl und Anforderungsprofile

Schwerpunkte bilden thermoplastische Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen und naturfaserverstärkten Kunststoffen. Untersuchungen der Werkstoffe erfolgten hinsichtlich mechanischer und thermischer Festigkeiten, Kratz- und Medienbeständigkeiten, elektrischer Eigenschaften und UV-/Alterungstests analog zu OEM Standards.

Folgendes Eigenschaftsprofil wurde für die Werkstücke postuliert:

- thermoplastisches Verhalten
  - abformbar über Extrudierung und Spritzguss
- gute innere Festigkeit ohne Versprödungstendenz
  - Bruchfestigkeit
  - Kratzfestigkeit
- alterungsbeständig
  - dauerelastisch
  - UV-Licht-stabil
- abgestimmte elektrische Eigenschaften
  - gute elektr. Isolation
  - aber geringe Neigung sich aufzuladen
- weitestgehend stabil gegen Wasser, Fett, Alkohol und Tenside
- relativ hohe Oberflächenenergien oder die Möglichkeit diese durch entsprechende Behandlungen zu erhöhen (Grundvoraussetzung für eine dauerhafte Lackierung)

Als Werkstoff für dauerhafte, nachhaltige Produkte werden konventionell bevorzugt die Werkstoffe ABS, PC/ABS und PA eingesetzt (\* siehe V Glossar)

Um diese konventionellen Werkstoffe zu substituieren, haben sich insbesondere nachfolgende Bio-Werkstoffe als potentielle Möglichkeit ergeben bzw. zeigen im Sinne der Anforderungen die beste Performance:

- PA\*, hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen:
  - ca. 60-98% nachwachsende Bestandteile
  - generell spannungsrisssbeständig
  - gute Schlagzähigkeit
  - gute Chemikalienbeständigkeit
  - gute UV-Beständigkeit
  - geringe Feuchtigkeitsaufnahme
  - Verarbeitbarkeit ähnlich herkömmlicher Polyamide
  - eher matte Oberflächen
  - relativ teuer
- PTT\*, teilweise hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen:
  - kann als guter Ersatz für PC/ABS herangezogen werden.
  - biobasierte Anteile 30-40%
  - verwindungsstabil
  - gute elektr. Isolationseigenschaften
  - sehr schöne Oberflächen mit guter Glanzhaltung möglich
  - gute Kratzfestigkeit
  - mittlere Chemikalienbeständigkeit

- relativ UV-Licht empfindlich
- relativ günstig
- PLA\* mit Glasfasern oder Bambus: Ist als besonders ökologisch anzusehen, da es teilweise auch bioabbaubar ist,
  - Rohstoffe 100% biobasiert
  - hohe Kratzfestigkeit
  - gute elektr. Isolationseigenschaften
  - transparente Werkstücke möglich
  - beständig gegen Fette, Wasser und Alkohol
  - lebensmittelrechtlich zugelassen
  - geringe Schlagfestigkeit (ohne Additive spröde)
  - relativ hohe Wasseraufnahme und Hydrolyseanfälligkeit
  - neigt in der Wärme zur Verformung
  - günstiges Material
- WPC\*, Kunststoffe wie Polypropylen mit Holzmehl als biologischem Zuschlag wird für dickwandige Bauteile bereits häufiger eingesetzt,
  - biobasierter Anteil bis 50%
  - gute Schlagzähigkeit
  - gute elektr. Isolationseigenschaften
  - gute Formbarkeit und Bearbeitungseigenschaften
  - wenig formstabil bei Wärme
  - optisch nicht optimal
  - relativ hohe Feuchtigkeitsaufnahme in Abhängigkeit vom Holzmehlanteil
  - neigt bei Alterung zu Verfärbungen (Vergrauung)

Bei vielen der genannten, negativen Eigenschaften ist davon auszugehen, dass diese durch eine geeignete Lackierung eliminiert oder zumindest reduziert werden können. Daher sollten sowohl die genannten, konventionellen Werkstoffe als auch die identifizierten Biowerkstoffe für das Projekt genutzt werden. Bei erfolgreicher Realisierung von Beschichtungsversuchen können dann in einem zweiten Schritt auch noch weitere Werkstoffe getestet werden.

Folgende Materialien wurden für das Projekt ausgewählt und bestellt:

Biopolymere\*:

Sorona 3301 NC, (PTT)

Naturegran PV 6930 weiß (PLA)

Wermalit mit 30% und 50% Holzmehl (PP + Holz, WPC)

Vestamid® Terra DS (PA)

Vergleichs-Standard Kunststoffe:

ABS

PC

### 3.3 Anforderungen an das System Biopolymer-Biolack

Bevor mit der Auswahl geeigneter Rohstoffe und der eigentlichen Entwicklungsarbeit begonnen werden konnte mussten die Anforderungen an das Schichtsystem Biopolymer-

Biolack festgelegt werden. Die Anforderungen an die Substrate wurden weiter oben schon angesprochen. Die Anforderungen an den Biolack müssen formuliert werden:

Technische Eigenschaften sollen sich an den zuständigen DIN- und EN- Normen sowie den hohen Anforderungen der Automobilindustrie für lackierte Kunststoffteile im Innenbereich orientieren:

- schnelle Trocknung
- Applikation via Spritztechnik
- gute Härte
- Kratzfestigkeit
- chemische Beständigkeit
- Wasserdampfbeständigkeit
- Klimabeständigkeit
- Oberflächengüte (Verlauf, Homogenität, Glanzgrad)
- sehr gutes Haftungsvermögen auf verschiedenen Substraten
- stabil bei Alterung (UV-stabil, geringe Versprödung)
- genügend elastisch um Wärmeverformungen des Substrats mitzumachen

Die Einsatzbereiche im Rahmen des Projektes, wie Haushaltsbereiche, Weiße Ware und Consumer Electronics, erfordern spezielle Farbgestaltungen, die weitere sehr unterschiedliche Ansprüche an die Rohstoffe stellen:

- schwarz (Risiko durch hohe Fleckempfindlichkeit)
- transparent (Risiko durch Vergilbung)
- weiß (Risiko durch Vergilbung, geringere Fleckenempfindlichkeit)

Polymere Werkstücke haben in der Regel keine oder nur eine sehr begrenzte Saugfähigkeit, dass heißt, ein Lack muss allein aufgrund starker Adhäsionskräfte zwischen ihm und dem Substrat haften. Voraussetzung für starke Adhäsion ist aber eine möglichst hohe Oberflächenenergie des Substrats (siehe Kap: AP2, 4.2.1.) gekoppelt mit einer niedrigen Oberflächenspannung des Lackes.

In der Regel trocknen bio-basierte Lacke oxidativ unter Sauerstoffeinfluss. Bei Raumtemperatur werden unter dem Einfluss von Sikkativen relativ viele freie Radikale gebildet, die für die Polymerisation verantwortlich sind (4). Bei erhöhter Temperatur verläuft die Polymerisation zwar auch radikal-initiiert, diese werden aber bei geeigneter Bindemittelauswahl in Ringschluss-reaktionen quasi fixiert. Dadurch ist die Radikalausbeute für die Polymerisation erhöht, was zu höheren Vernetzungsgraden führt. Gleichzeitig wird die Bildung von Nebenprodukten wie Aldehyde und Ketone verringert und die kleinere Zahl freier Radikale bedeutet auch eine geringere Belastung für das Substrat. Eine erhöhte Trocknungstemperatur stellt aber auch erhöhte Anforderungen an die geeigneten Substrate in Bezug auf thermische Formstabilität.

**Es gilt also insgesamt Biopolymer und Biolack optimal aufeinander abzustimmen.**

### 3.4 Auswahl der Rohstoffe für die Biolack-Entwicklung

Für die eigentliche Entwicklung des Lacksystems war die Reincke Naturfarben GmbH, Buxtehude, verantwortlich. Dieses Unternehmen verfügt über ein umfassendes Know-how für

die Entwicklung von Beschichtungssystemen auf Basis natürlicher Rohstoffe. Insbesondere die Neuentwicklung und gezielte Anpassung von natürlichen Bindemittelsystemen an die speziellen Anforderungen der Endprodukte wird hier seit vielen Jahren intensiv praktiziert. Allerdings beschränken sich die Anwendungsgebiete bisher auf die Bereiche Holzbeschichtungen und architektonische Wandbeschichtungen. Mit einem Biolack für Biopolymere wurde jetzt "Neuland betreten". Man erwartete bei Reincke aber einen erheblichen Zusatznutzen an Wissen und Erfahrungen, der gewinnbringend auch für andere Entwicklungsarbeiten sein sollte.

Sehr hilfreich für alle Entwicklungsarbeiten hat sich ein verlässlicher Kooperationsverbund mit Bindemittelherstellern und anderen Rohstofflieferanten erwiesen. So ist man bei Reincke in der Lage auf ein sehr breites und umfangreiches Know-How für alle Bereiche der Beschichtungsmittel zurückzugreifen. Insbesondere wurden schon einige spezielle Bindemittel maßgeschneidert nach eigenen Vorgaben exklusiv für Anwendungen bei Reincke Produkten hergestellt.

Reincke Naturfarben ist ein Spezialist für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen im industriellen Einsatz. Für die Industrie werden Oberflächenbeschichtungen hergestellt, die vielfältigen Anforderungen entsprechen, u.a.:

DIN 68861	Verhalten bei chemischer Beanspruchung
DIN EN 71-3	Sicherheit von Spielzeug, Migration bestimmter Elemente
DIN 53160	Prüfung der Schweiß- und Speichelechtheit
IMO FTPC Teil 5	Schwerentflammbarkeit (Wheelmark-Steuerradprüfung)

Die bisher hergestellten Bio-Lacke der Reincke GmbH weisen eine hohe Beständigkeit gegen Chemikalien des täglichen Bedarfs sowie sehr gute mechanische Festigkeiten auf. Darüber hinaus zeichnen sie sich durch einen sehr guten Flammschutz aus. Sie erreichen die Anforderungen der Wheelmark/Steuerrad Prüfung ohne Zugabe von Chemikalien. Die Erfüllung der Anforderungen der Automobilindustrie und andere Branchen, wie z.B. der Gebäudesystemtechnik.

Für den speziellen Zweck – Einsatz von Bio-Lacken auf Biopolymeren - mussten die bisher eingesetzten Inhaltsstoffe (Bindemittel, Lösemittel und Additive) entsprechend den Oberflächeneigenschaften der Biopolymere neu überprüft, bewertet und in ihrer Zusammensetzung angepasst werden. Hierzu waren theoretische Vorüberlegungen nötig, um auf Basis der bekannten Eigenschaften einen Fahrplan für die Materialauswahl und die weiteren Entwicklungsarbeiten aufstellen zu können.

### 3.4.1 Bindemittel:

Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen stehen in vielfältigen Kombinationen als reine Öle, Standöle und ÖL-Harz-Verkochungen mit unterschiedlichen technischen Eigenschaften zur Verfügung. Je nach chemischer Zusammensetzung gibt es große Abweichungen in den Schlüsselfunktionen: Trocknung, Härte/Elastizität, chemische Beständigkeit, Wasseraufnahme bzw. Wasserdampfbeständigkeit, Oberflächengüte und Substratverträglichkeit. Von großem Vorteil ist die fast unbegrenzte Mischbarkeit der Bio-Bindemittel untereinander, so dass es möglich ist, gewünschte Eigenschaften sehr genau einzustellen.

Bei den reinen Ölen, die für die Bindemittelproduktion eingesetzt werden, unterscheidet man zwischen trocknenden Ölen und halbtrocknenden Ölen (5). Trocknende Öle weisen einen hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren auf, die in der Lage sind, mit

Luftsauerstoff relativ schnell zu polymerisieren. Bei halbtrocknenden Ölen ist der Gehalt an einfach ungesättigten Fettsäuren größer, weshalb sie langsamer aber auch gleichmäßiger in der Molekülstruktur trocknen. Ist die Polymerisationskinetik, wie bei den schnell trocknenden Ölen eher unstrukturiert, das heißt zweidimensionale und dreidimensionale Vernetzungen sind zeitlich stark überlagert, kann es zu Spannungen, Versetzungen und mikrokristallinen Strukturen kommen, die einen negativen Einfluss auf die Filmgüte haben. Bekannt sind die gekräuselten Oberflächen von reinem getrocknetem Holzöl, die zum Teil sogar für dekorative Zwecke gezielt eingesetzt werden. Es hat sich deshalb grundsätzlich als vorteilhaft erwiesen, so genannte Standöle oder Öl-Verkochungen einzusetzen, wobei gezielt Öle mit verschiedenen Trocknungsmustern gemischt werden. Hierzu werden die reinen Öle unter Sauerstoffausschluss auf Temperaturen zwischen 250°C und 300°C erhitzt und bis zum Erreichen einer gewissen Viskosität gekocht. Bei diesem Vorgang kommt es zu einer Vorpolymerisation, die sich glättend und beschleunigend auf die spätere Polymerisationskinetik auswirkt. Insgesamt sind im Vergleich zur Trocknung reiner Lack-Öle deutlich höhere Molekülgrößen erreichbar, was zu einer signifikanten Verbesserung vieler Eigenschaften führt.

Als reine Öle werden in Bindemitteln häufig Leinöl, Distelöl, Rizinenöl (dehydratisiertes Rizinusöl) und Holzöl eingesetzt.

Leinöl (Lackleinöl) ist das bekannteste und am häufigsten eingesetzte, trocknende Öl. Aufgrund seiner speziellen Fettsäurezusammensetzung zeigt es eine besonders schnelle Antrocknung, die dann im weiteren Verlauf eher zögernd zur Aushärtung führt. Aus diesem Grund wird ein reiner Leinöl-Lack zwar schnell trocknen aber noch relativ lange weich bleiben bis er seine gute Endhärte erreicht hat, die später sogar (besonders unter UV-Licht-Einfluss) in Sprödigkeit umschlägt. Deutlich bessere Lackeigenschaften hat Leinöl, wenn es zu Standöl verkocht wurde. Härte, Glanz, Wetterbeständigkeit und Dauerelastizität des Filmes werden positiv beeinflusst.

Distelöl (Safloröl) ist als reines Lack-Öl wenig geeignet, da es nur langsam trocknet und einen eher weichen Film bildet. Dieser bleibt aber dauerelastisch und ist relativ UV-stabil. Es wird deshalb in der Regel in Bindemitteln mit anderen Ölen und/oder Harzen verschnitten.

Produkte mit Ricinenöl zeigen eine gute Härte, Witterungsbeständigkeit und vergilben kaum. Aufgrund seiner speziellen Molekularstruktur trocknet es relativ schnell aber im Vergleich zu Holzöl ist die dreidimensionale Vernetzung nicht so ausgeprägt.

Für eine gute Wasser- und Chemikalienbeständigkeit werden häufig Holzöl, Holzöl-Standöl und Holzöl-Verkochungen eingesetzt. Holzöl hat hervorragende Qualitäten als Holzschutzöl. Es trocknet sehr schnell und bildet einen sehr beständigen, hartelastischen Film, der leider sehr zum Vergilben neigt. Einschränkungen beim Einsatz von Holzöl für Gebrauchsgüter sind aus Gesundheitsgründen gegeben. Es ist mit Xi-reizend und R 43-Sensibilisierung durch Hautkontakt zu kennzeichnen. Für den geplanten Einsatzbereich der Biopolymere, u.a. Consumer Electronics mit viel Hautkontakt, sollten daher im Rahmen des Projektes Holzöl möglichst durch andere natürliche Öle, z.B. Ricinenöl, oder Calendulaöl ersetzt werden.

Calendulaöl hat sich in Versuchen als sehr guter Ersatzstoff für Holzöl erwiesen. Das Öl hat einen angenehmen, dezenten Geruch und zeigt eine besonders gute Penetration in saugfähige Untergründe. Es vereint die technischen Vorteile des Leinöls und die des Holzöls. Die konjugierten Doppelbindungen der Calendulasäure ermöglichen eine intensive Vernetzung

der Moleküle beim Trocknen, so dass, wie beim Holzöl, sehr belastbare Oberflächen entstehen.

Neben den natürlichen Ölen werden vor allem Harzester aus natürlichem Kolophonium und mehrwertigen Alkoholen eingesetzt, um die Eigenschaften von Lack-Ölen zu verbessern. So werden heute die effektivsten natürlichen Bindemittel gewonnen, indem verschiedene Öle oder Standöle mit Maleinat- Pentaerithryt- oder Phenolharzestern verkocht werden. Je höher der Anteil an Harzestern desto härter und widerstandsfähiger sind die Beschichtungen, die aus diesen Bindemitteln hergestellt werden. Im Sinne der Ökologie sollte beim Biolack auf Phenolharzester verzichtet werden.

Als alternative Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen, neben den bewährten Ölen und Harzen stehen weitere Biopolymere wie Polymilchsäure, Schellack, Cellulosederivate oder modifizierte Stärken sowie Hybridbindemittel wie Urethanöle, epoxidierte Öle oder spezielle Alkydharze als Bindemittel zur Diskussion. Das Hauptziel beim Einsatz dieser Produkte besteht darin, die Nachhaltigkeit unter Beibehaltung der Qualität in die heutigen lösemittelhaltigen Lacksysteme zu integrieren.

### 3.4.2 Lösemittel

Die klassischen natürlichen Lösemittel, wie Balsamterpentinöl (zu kennzeichnen mit X<sub>n</sub>, N) und Orangenschalenöle (zu kennzeichnen mit X<sub>n</sub>,N), werden aus toxikologischen Gründen bei Reincke Naturfarben nicht eingesetzt und verbieten sich auch für die Entwicklung eines Biolackes. Unter dem Aspekt „Gesundheit vor Natürlichkeit“ werden als Kompromiss im Bereich der Lösemittel vor allem aromatenfreie Isoparaffine aus Erdöl eingesetzt. Wichtige Auswahlkriterien für den Einsatz der Isoparaffine sind bessere Humanverträglichkeit und Geruchsneutralität. Diese Lösemittel garantieren eine gute Verarbeitung und Trocknung der Produkte. Sie haben keine hohe Lösekraft und reagieren nicht mit den Oberflächen. Es muss gezeigt werden, dass sich daraus keine Nachteile im Haftungsverhalten des Biolackes auf den Biopolymeren ergeben.

Die bisher eingesetzten konventionellen Lacksysteme für Polymere enthalten aggressivere Lösemittel, wie z.B. Aceton. Sie sollen die Oberflächen anlösen, um dadurch eine gute Haftung zu gewährleisten. Zu prüfen ist, wieweit die Anlösung Einfluss auf die Stabilität des Polymers hat

Für die Bio-Lacke sollten daher auch neue Lösemittel auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wie z. B. Lactatester eingesetzt werden. Diese Lösemittel wurden bereits von Lackentwicklern auf ihre Einsatzmöglichkeiten hin, auch im Naturfarbenbereich getestet. Im DIY-Bereich hat sich der Einsatz aus Geruchsgründen nicht durchgesetzt. Durch die andere Applikationstechnik beim Einsatz auf Biopolymeren (Spritzverfahren in Kabinen mit Absaugung) wird es dagegen keine Einschränkungen geben. Typische Vorteile dieser Produkte sind:

- hohe Lösekraft
- mischbar mit Aliphaten
- mischbar mit Wasser
- sehr gute Pigmentbenetzungseigenschaften
- sehr gutes Eindringvermögen in poröse Materialien
- biologisch abbaubar

- toxikologisch unbedenklich und unschädlich für die Umwelt
- aus nachwachsenden Rohstoffen
- erhältlich in verschiedenen Polaritäten von Methyl-lactatester bis Ethyl-Hexyl-lactatester

Auf Grund ihrer Eigenschaften können Lactatester in weiten Bereichen der Beschichtungsindustrie eingesetzt werden, um aromaten- oder glycolhaltige Lösemittel zu ersetzen. Schon heute werden sie als Ersatz von EGA (Ethylenglycolacetat) benutzt.

Auf Kunststoffoberflächen können Lactatester die Oberfläche leicht anlösen und so eine bessere Haftung der Lacke auf den Substraten bewirken. Dabei wird eine Quellung und Verformung der Kunststoffoberfläche vermieden.

Es war auszutesten, in wie weit sie als Komponenten für die Biolackentwicklung in Frage kommen.

### 3.4.3 Additive

Nicht alle Eigenschaften eines Lackes können allein durch Bindemittel und Lösemittel festgelegt werden. Erst durch den Einsatz von Additiven wird ein Lack komplett und bekommt seinen "Feinschliff". Oberflächeneigenschaften wie Glanz, Mattierung, Verlauf, Kratzfestigkeit, Wasserfestigkeit, u.a. können optimiert werden. Hierfür stehen eine große Anzahl von synthetischen Additiven entweder auf Basis von Siloxan- oder Silikonverbindungen oder auf Basis funktioneller Polymere zur Verfügung. Zur Einstellung der Viskosität werden häufig Polyacrylate oder Polyurethane als Verdickungsmittel eingesetzt. Zur Erhöhung der Chemikalienbeständigkeit und der Kratzfestigkeit kommen vielfältig Montanwachse zum Einsatz. Nicht zuletzt sind die Sikkative zu nennen, ohne die ein oxidativ trocknendes Lacksystem nicht funktionieren kann. All diese Substanzen stellen wichtige Bausteine der herkömmlichen Lackchemie dar. Daneben werden aber auch hier natürliche Wachse und biobasierte Additive (z.B. Verdickungsmittel auf Rizinusölbasis) sowie eine Vielzahl verschiedener, mineralischer Zuschläge herangezogen.

Es muss versucht werden, einen Biolack möglichst ohne synthetische Additive zu komponieren. Nur da, wo es unumgänglich ist, z.B. bei der Trocknung oder der Einstellung der Oberflächenspannung sollten sie eingesetzt werden.

Aus der Erfahrung empfehlen sich folgende Additive:

- hydrophobierte Bentonite und Hectorite oder quellbare Rizinusderivate zur Einstellung der Viskosität
- Schichtsilikate und Glasmehl als Füllstoffe und Stabilisatoren (sie erhöhen gleichzeitig Härte und Kratzfestigkeit)
- mikronisiertes Titandioxid und/oder Zinkoxid als UV-Schutzmittel und für eine bessere Vernetzung
- pyrogene Kieselsäure als Mattierungsmittel und zur zusätzlichen Viskositätsstabilisierung
- mikronisiertes Carnaubawachs zur Erhöhung der Wasserabweisung und der Kratzfestigkeit

- Polydimethylsiloxan-Additive zur Verbesserung der Verlaufseigenschaften und für eine bessere Substratbenetzung
- silikonhaltige Entlüftungs- und Entschäumungsmittel
- Spezielle Aminverbindungen zur Verhinderung von Hautbildung
- Sikkative auf Basis von Metall-Ethylhexanoaten
- spezielles Cobalt Sikkativ auf Polymerbasis ohne die bekannten gesundheitlichen Nachteile der üblichen Cobaltseifen.

### 3.5 Prüfverfahren

Als Referenz für hohe Anforderungen im Bereich der Automobilindustrie ist hier die VW Norm TL 226 – Lackierung auf Werkstoffen der Fahrzeug-Innenausstattung zu nennen, sowie die Daimler Norm DBL 7384 Beschichten von Kunststoffteilen im Fahrzeuginnenraum. (Anlage 1, 2). An diesen Normen orientieren sich häufig weitere Industrie-Branchen. Da die Durchführung der kompletten Prüfung dieser Norm einen extrem hohen Kosten- und Zeitaufwand bedeutet, hat das Kunststoff-Institut für die Erprobung von neuen Lacksystemen eine Kurzzeitprüfung, speziell für die Erprobung neuer Lacksysteme, entwickelt und führt diese bereits seit einigen Jahren erfolgreich für Lackhersteller und Anwender neuer Lacke durch. Diese Prüfungen decken alle unterschiedlichen Anforderungsarten an ein System ab, (Haft- und Kratzfestigkeit, Medienbeständigkeit, Umwelteinflüsse), sind jedoch schneller und kostengünstiger als die Gesamtprüfung durchführbar und erlauben dadurch die schnelle Modifikation der Systeme bei Nichtbestehen einzelner Prüfungen. Daher sollen diese auch für dieses Projekt Anwendung finden.

### 3.6 Vorauswahl Bindemittel und Lackrezepturen

#### 3.6.1 Vorversuche mit Bindemitteln

Zusätzlich zu den angesprochenen theoretischen Überlegungen über Eigenschaften und Nutzungsmöglichkeiten, war es unumgänglich eine große Zahl von Vorversuchen mit den in Frage kommenden Rohstoffen sowie mit im Holzbereich schon erprobten Rezepturen durchzuführen:

Die Produkte und Bindemittel wurden allein und/oder im Blend hinsichtlich der Trocknung, der Mischbarkeit untereinander, der Mischbarkeit mit den gängigen Lösemitteln und Ihrer Filmeigenschaften wie Härte und Wasseraufnahme untersucht. Nach den Erfahrungen, die im Bereich der Holzlacke vorhanden waren, wurden reine Lack-Öle und ihre Standöle sowie deren Blends nur untergeordnet berücksichtigt.

Alle zu untersuchenden Bindemittel und Bindemittelmischungen wurden in Form einer 50%igen Lösung in Isoparaffin mit einer Standard-Sikkativmischung versetzt. Nach einer Reifezeit von 30 Minuten wurden diese dann für die Trocknungsversuche auf Glasstreifen in einer Schichtdicke von 60 µm und für die Oberflächenuntersuchungen auf Glasplatten in einer Schichtdicke von 100 µm aufgezogen. Die Standard-Sikkativmischung enthielt 0,06% Cobalt, 0,12% Zirkonium und 0,05% Mangan, Metallgehalt jeweils bezogen auf den Bindemittelgehalt der Probe. Die Trocknungszeiten wurden dann mit einem Simex Drying-Recorder nach ASTM D5894, die Filmhärte nach 24 h und nach 7 Tagen mit einem Pendelgerät nach König, DIN ISO 1522 und die Kratzfestigkeit mit der so genannten Erichsen-Tiefung nach DIN ISO 1520 ermittelt. Daneben wurden die Filme visuell auf Homogenität und Störungen untersucht.

Zur Bestimmung der Wasserfestigkeit wurden die Glasplatten 7 Tage nach den Messungen für exakt 1h in ein Wasserbad bei 20°C getaucht und die Eintrübungen visuell verglichen. In die Untersuchungen wurden zunächst auch Schellack als alternatives Biopolymer sowie ein urethanisiertes Sonnenblumenöl und ein fertiges Leinöl-Alkyd-Produkt mit aufgenommen. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Anlage 3 aufgelistet. Nach einer ersten Auswertung zeigte sich, dass die vorhandenen und bekannten Bindemittel wahrscheinlich nicht ausreichen. Als besonders geeignet hat sich das BM 9002 erwiesen, das als Standard für viele Reincke Produkte eingesetzt wird. Allerdings lässt das Haftungsvermögen auf Kunststoffflächen sehr zu wünschen übrig, was auch durch Verschneiden mit verschiedenen Standölen und anderen Bindemitteln nicht wesentlich verbessert werden konnte. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde zusammen mit einem Hersteller ein neues, harzreiches Bindemittel (BM 75) entwickelt, das sich durch hervorragende Haftungseigenschaften auf Kunststoffen auszeichnet.

Der Schellack zeichnete sich durch eine sehr schnelle (rein physikalische) Trocknung aus. Filmoptik und Filmhaptik waren besser als bei jeder anderen Mischung. Im Gegensatz zu den ölhaltigen Bindemitteln benötigte Schellack nicht Tage um auszuhärten, sondern die Endhärte war nach wenigen Stunden erreicht. Sie lag aber deutlich unter den Werten der anderen Proben. Zudem war die Schellackfläche relativ anfällig für Wasserflecken und Verkratzungen. Ein weiterer Aspekt führte letztlich zur Entscheidung, Schellack nicht weiter in die Entwicklungsarbeit mit einzubeziehen. Schellack ist in den Möglichkeiten seiner Rezeptierung zu Lacken sehr eingeschränkt. Als Lösemittel kommt quasi nur Ethanol in Frage und er kann nur mit wenigen anderen Rohstoffen kombiniert werden.

Die Daten der Reincke Fertigprodukte und der Fremdprodukte dienen zur Orientierung und relativen Einstufung der Bindemitteldaten.

### **3.6.2 Anmerkungen zu Calendulaöl**

Obwohl Calendulaöl als gute Alternative für das unter Gesundheitsaspekten problematischere Holzöl gilt, wurde es bei der Rohstoffauswahl zunächst nicht berücksichtigt. Es konnte keine geeignete Quelle gefunden werden, die Calendulaöl in einer für Lacke entsprechenden Qualität liefern konnte. Was der Markt bis dato anbot war Kosmetik-Ware, die für Lack-Zwecke viel zu teuer war. Die Recherchen über Unternehmen, die in der Lage und Willens sind Calendula-Saat zu extrahieren zeigten bisher keine Erfolge, so dass der Einsatz dieses Öles in Naturfarben vorerst auf Eis gelegt wurde. Zudem ist das Holzöl in den ausgewählten Bindemitteln immer mit anderen Ölen und Harzen verköcht, wodurch sich die gesundheitlichen Nachteile deutlich abschwächen.

### **3.6.3 Vorversuche mit Lösemitteln insbesondere der Lactate**

Grundsätzlich sind Isoparaffine als Verdünnungsmittel in Naturfarben gut geeignet, solange sie außer Benetzung und Viskositätseinstellung keine weiteren Aufgaben übernehmen sollen. Ihre geringe Lösekraft im Vergleich zu herkömmlichen Lösemitteln lässt sie außerstande erscheinen, die Substratflächen anzulösen. Dennoch wird es auf allen hydrophoben Oberflächen zu Spreitungerscheinungen kommen, was die Benetzung mit den Bindemitteln erleichtert. Bei der Auswahl der Isoparaffine sind einige Punkte zu berücksichtigen.

- der Flammpunkt sollte 61°C nicht unterschreiten, sonst müssen die resultierenden Produkte als Gefahrgut gekennzeichnet werden

- um das oben angesprochene Spreitungsverhalten merkbar zu erzielen, sollte ein Restaromatengehalt von etwa 0,05% vorhanden sein
- die Verdunstungszahl muss hoch genug liegen, damit der oxidativen Trocknung eine gute physikalische Vortrocknung voransteht.
- Es sollte eine Restpolarität besitzen, um eine Ausflockung der Harzsäuren aus den Bindemitteln zu verhindern

Unter Berücksichtigung dieser Punkte hat sich der Einsatz eines Isoparaffins der Qualität "Shellsol D60" als am besten geeignet erwiesen. Dementsprechend wurden die Bindemittel in den Vorversuchen schon in diesem Isoparaffin gelöst.

Mit einer Reihe der oben angesprochenen Lactatester wurden Verträglichkeitstests mit den wichtigsten Bindemitteln durchgeführt. Hierzu wurden Verdünnungsreihen angelegt, die visuell auf Eintrübungen untersucht wurden (Anlage 4). Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Umgebungs-empfindlichen Harzsäuren gelegt. Es zeigte sich, dass ab einem Öl/Harz-Verhältnis von 7:3 mit keinem der Lactatester eine klare Lösung möglich war, während Öle und Standöle in den Lactatester mittlerer Polarität gut löslich waren. Auch die Bindemittel mit einem hohen Harzanteil (BM 9002, BM75) waren insgesamt schlechter löslich. Für die Entwicklung eines Biolackes kommen nach diesen Versuchen nur die beiden Lösemittel n-Propyllactat und n-Butylactat in Frage, sofern die Rezeptur einen Harzgehalt deutlich unter 30% im Bindemittelanteil aufweist. Aufgrund der Vorversuche konnte man davon ausgehen, dass der Harzanteil in einem Biolack sehr hoch sein muss, um genügend Härte und Widerstandsfähigkeit zu bekommen, daher wurden die Lactatester nicht weiter mit in die Entwicklungsarbeiten einbezogen.

### 3.6.4 Vorauswahl der Rohstoffe

Unter Einbeziehung aller theoretischen Überlegungen, der vorhandenen Erfahrungen und der Vorversuche wurden folgende Rohstoffe in die enge Auswahl genommen:

- Bindemittel
  - BM 9002, Verkochung von Holzöl/Ricinenöl-Standöl mit Maleinatharzester (Harzanteil 20%), Polyresol 9002 der Fa. Weseroil GmbH in Varel
  - BM 4030, Verkochung von Holzöl und Ricinenöl zu hochmolekularem Standöl Polyresol 4030 der Fa. Weseroil GmbH in Varel
  - Rokralux SE 160, Verkochung von Sojaöl und Holzöl mit Maleinatharzester Robert Kraemer GmbH & Co.KG in Rastede
  - BM 75, Verkochung von Leinöl/Holzöl-Standöl mit Maleinatharzester mit D60 auf eine Viskosität von 90 Poise eingestellt (Harzanteil 30%), **Neuentwicklung** mit der biopin processing GmbH, Jever
  - Maleinatharzesterlösung in D60 (50%ig), Umsetzung von Kollophonium mit Maleinsäureanhydrid und Diglycol, Erkamar 2110 der Fa. Robert Kremer GmbH & Co.KG in Rastede
  - Pentaharzesterlösung in D60 (50ig), Verkochung von Kollophonium mit Pentaerythrit der Fa. Eastman Chemicals, Kingsport Tennessee
  - eventuell Standöle des Holzöls und des Ricinenöls von der Weseroil GmbH
- Lösemittel
  - Isoparaffin Shellsol D60

### ➤ Additive

- hydrophobierter Hectorit, Bentone 38 der Fa. Elementis Specialties, Köln
- mikronisiertes Zinkoxid, Bayoxide z-activ der Fa. Bayer, Leverkusen
- mikronisiertes Titandioxid, UV-Titan L530, Sachtleben Chemie, Duisburg
- Glasmehl, Mikro-Glaskugeln der Fa. Potters Ballotini GmbH, Kirchheimbolanden
- Kaolin, ASP 400, ASP 170 der Fa. BASF,
- pyrogene Kieselsäure, Gasil HP 340 der Fa. PQ Corporation, Philadelphia
- Polydimethylsiloxan, BYK 331, Verlaufshilfsmittel der Fa. BYK-Additives GmbH, Moosburg
- silikonhaltiges Entlüftungs- und Entschäumungsmittel, BYK 067A der Fa. BYK-Additives GmbH, Moosburg
- Aminhaltiges Hautverhinderungsmittel, Antiskin Ascinin 0444, OMG Borchers
- Zirkonhaltiges Sikkativ, Octasoligen Zr18 HS, OMG Borchers GmbH, Langenfeld
- Manganhaltiges Sikkativ, Octasoligen Mn10 HS, OMG Borchers GmbH, Langenfeld
- Zinkhaltiges Sikkativ, Octasoligen Zn16 HS, OMG Borchers GmbH, Langenfeld
- Cobalthaltiges Sikkativ, ECOS ND 15 der Fa. Umicore, Belgien

### 3.6.5. Rezeptierungsmethoden

Grundlage für die Erarbeitung von Rezepturen waren die Erfahrungen, die man bei Reincke mit der Entwicklung von Parkettölen und Holzlacken hatte. So wurden bekannte Basisrezepturen zu Grunde gelegt und mit verschiedenen Bindemittelmischungen durchgespielt. Dabei blieben die Anteile an Additiven zunächst konstant und nur der Lösemittelanteil variierte je nach Bindemittelzusammensetzung um eine möglichst gleich bleibende Viskosität einzustellen. Dadurch, dass ein vielversprechender Rezeptansatz meistens mehrere Optimierungsfolgen hatte, von denen dann wiederum eine für die weitere Optimierung ausgesucht wurde, konnten einzelne Eigenschaften sehr gezielt und effektiv angepasst werden. Die Bewertung der jeweiligen Rezeptur erfolgte über eine Eigenschaftsmatrix in der neben den lacktechnischen Grunddaten auch Haftungswerte auf den verschiedenen Biopolymeren und den Referenzkunststoffen aufgelistet wurden. Die Daten der Matrix ergaben dann die Hinweise auf Möglichkeiten der Verbesserung und Optimierung.

### 3.7. Festlegung der Substrat-Geometrie

Im weiteren Schritt erfolgte die gemeinsame Festlegung einer geeigneten Geometrie für die Untersuchungen. Die ersten Untersuchungen erfolgen auf einer einfachen Plattengeometrie (DIN A 5), wofür ein Werkzeug im Institut vorhanden war und welches genutzt werden konnte. Für die Geometrie eines Versuchsbauteils eignete sich ein am Institut vorhandenes Spritzguss-Werkzeug für eine Displayblende (Abb.: 4), welches bereits über das Check.NRW Projekt „S2B“ (Fk 28 03 367 02) finanziert wurde. Das Werkzeug beinhaltet bereits verschiedene Sondertechnologien, wie z.B. die induktive Temperierung, welche die Oberfläche der Bauteile zusätzlich positiv beeinflussen kann. Für den Einsatz mit Biopolymeren musste allerdings eine neue Düsenseite (= ein halbes Werkzeug) gebaut werden, da das vorhandene Werkzeug über ein Heißkanalsystem verfügt, welches als inkompatibel mit den Biomaterialien zu bezeichnen ist. Ein Angebot vom ursprünglichen Hersteller

dieses Werkzeugs (Gigaset GmbH, ehem. Siemens Home & office), wurde eingeholt, das den ortsüblichen Aufwendungen entsprach. Die Vergabe der Werkzeugänderung an einen anderen Anbieter wurde aufgrund des geplanten Einsatzes der genannten Sondertechniken als nicht machbar angesehen. Die Verwendung eines alternativen, vorhandenen Werkzeugs war nicht möglich, da für Biopolymere spezielle Werkzeuge erforderlich sind und sie nicht ohne weiteres mit Werkzeugen für konventionelle Kunststoffe verarbeitet werden können.



Abb. 4 *Displayblende*

### 3.8 Zusammenfassung Arbeitspaket 1

Das AP1 wurde vollständig abgeschlossen. Lediglich der Werkzeugumbau konnte zu dem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen werden, da hier längere Bearbeitungszeiten nötig waren und einige Iterations Schleifen zur Konstruktion durchlaufen werden mussten.

- 1) Das Anforderungsprofil für die Biopolymere und das Schichtsystem sowie für die Bauteiltests wurde definiert.
- 2) Die Vorauswahl der Bindemittel und Basislackrezepturen wurde abgeschlossen. Neben einigen bewährten Standardbindemitteln wurde ein neues Bindemittel zusammen mit einem Bindemittelhersteller entwickelt und zur Produktionsreife geführt. Die Eigenschaftsmatrix für die Beurteilung der Lackrezepturen wurde aufgestellt. Die Vorgehensweise zur eigentlichen Rezepturentwicklung wurde festgelegt.
- 3) Tests zur Extraktion von Calendulaöl wurden durchgeführt, es konnten bisher aber keine geeigneten Hersteller akquiriert werden. Dieses fette Öl zeigte in Voruntersuchungen sehr gute Eigenschaften in Bezug auf Haftung und Trocknung und sollte als weiteres, ökologisches Bindemittel überprüft werden.
- 4) Zum Lösen der Naturbindemittel wurden zunächst Isoparaffine eingesetzt. Um auch im Lösemittelbereich natürliche Rohstoffe zu berücksichtigen, wurden verschiedene Lactatester getestet. Die hydrophoben Lactatester zeigten auf den Kunststoffen gute Verläufe, während die hydrophilen Lactatester keine ausreichende Benetzung aufwiesen. Ein Schwachpunkt aller Ester war die ungenügende Lösekraft für Naturharze, so dass ab einem Harzanteil > 25% keine klaren Produkte herstellbar sind.
- 5) Die Geometriedetails für das 3D-Werkzeug wurden erarbeitet und fixiert. Der Werkzeugumbau wurde bereits beauftragt.
- 6) Die Abmusterung der Platten aus den Bio-Werkstoffen ist erfolgt und die Platten wurden zunächst unvorbehandelt versendet.
- 7) Für die Vorbehandlung wurden Angebote für eine Beflammungsanlage eingeholt und bewertet. Die Bestellauslösung erfolgte daraufhin.

## 4 Arbeitspaket 2 Erstversuche

### 4.1 Herstellung von Platten aus Biowerkstoffen

Zu den jetzt vorrangigsten Aufgaben gehörte die Herstellung von geeigneten Musterplatten aus den ausgesuchten Materialien und der Versand an die Reincke Naturfarben GmbH, damit die ersten Lackrezepturen auf den Originalpolymeren ausgetestet werden können. Nachdem das letzte, schwer zu beziehende, Biopolymer eingetroffen war, wurde die Musterplattenproduktion gestartet. Hierbei hat sich herausgestellt, dass ein Biopolymer zu einer verstärkten Korrosion der Werkzeugoberflächen führt. Dadurch mussten Recherchen zur Auswahl einer Werkzeugbeschichtung durchgeführt werden. Diese war mit einem etwas erhöhten Zeitaufwand belegt. Es hat sich herausgestellt, dass für diese Beschichtung eine erhöhte Schichtdicke nötig war (30µm), woraus vor der Beschichtung eine Werkzeugänderung des Demonstrationswerkzeugs resultierte. Letztlich konnten alle Musterplatten hergestellt werden.



Abb. 5 Werkstoffplatten

### 4.2. Beschichtungsversuche inkl. Vorbehandlungen

#### 4.2.1 Mustervorbehandlung - Aktivierung

Die Biopolymermusterplatten wurden zum Teil im Kunststoffinstitut schon mit verschiedensten herkömmlichen und biobasierten Lacken via Spritztechnik beschichtet. Durch einfache Prüfungen (Gitterschnitt, Kreuzschnitt, Klimawechselprüfung) konnte so die grundsätzliche Lackierfähigkeit der Materialien bekräftigt werden. Es hat sich gezeigt, dass grundsätzlich bessere Lackierergebnisse resultierten, wenn die Oberflächen der Platten vorher "aktiviert" wurden. Unter Aktivierung versteht man hier eine Erhöhung der Oberflächenenergien, so dass es eine bessere Korrelation mit den eher hydrophoben Lacken ergab. Die für eine Aktivierung notwendigen Apparaturen waren schon vorhanden. Allerdings handelt es sich um relativ aufwendige und teure Methoden wie Korona-, Atmosphären- und Niederdruckplasma-Behandlung oder eine Fluorierungsanlage. In der gängigen Praxis wird aber in der Regel mit einer einfachen Beflammungsanlage gearbeitet, die im Rahmen dieses Projektes jetzt angeschafft wurde.

Mit Hilfe so genannter Prüftinten (z.B. Arcotest Prüftinten zur Messung der Oberflächenenergie) kann die Oberflächenenergie sehr schnell ermittelt werden (3). Die Tinten sind gefärbte Flüssigkeiten mit genau eingestellter Oberflächenspannung. Beim Auftragen einer breiten Linie auf eine Oberfläche werden sich diese Tinten zusammenziehen und Einzeltropfen bilden, sofern Oberflächenenergie und Oberflächenspannung nicht korrelieren. Der Strich bleibt bestehen wenn Korrelation herrscht. Jeder Tinte ist ein bestimmter Oberflächenenergiewert zugeordnet, was vom Hersteller mit Hilfe anderer Methoden kalibriert wurde. Die Tinte deren Strich sich nicht mehr zusammenzieht ergibt direkt den Wert der Oberflächenenergie. Mit Hilfe dieser Methode konnte gezeigt werden, dass die Aktivierung der Oberflächen gerade bei Kunststoffen zu einer

signifikanten Erhöhung der Oberflächenenergien führen, was wiederum eine deutlich bessere Lackierbarkeit mit hydrophoben Lacken (Lösemittellacke) bedeutet. Es hat sich aber auch gezeigt, dass es große Unterschiede unter den Biopolymeren gibt. So weisen die WPC-Typen Werzalit 30 und Werzalit 50 nur Oberflächenenergien von  $< 30$  mN/m auf während das Naturegran VP 6930 (PLA) Werte zwischen 41 und 44 mN/m hat. Dies könnte bedeuten, dass das PLA-Material auch ohne Aktivierung gut lackierbar ist, während das WPC auf jeden Fall vorbehandelt werden muss.

### 4.3 Lackrezepte und Lackabprüfung

Nach der gängigen Praxis im Hause Reincke werden zur Lackherstellung zunächst die harzreichen Bindemittel mit einem Dissolver intensiv mit einem Teil des Lösemittels vermischt. Dann wird das Thixotropierungsmittel Bentone 38 eingearbeitet und mit einer kleinen Menge Ethanol aktiviert. Es folgen die Additive ZnO (Hilfsmittel zur besseren dreidimensionalen Vernetzung), TiO<sub>2</sub> (UV-Schutz), BYK 067A als Entlüftungsmittel und Kaolin als Stabilisator und zur Verbesserung der Oberflächengüte. Parallel wird mikronisiertes Wachs in kleinen Mengen Bindemittel und Lösemittel eingeschmolzen und während der Abkühlungsphase mit einem Ultraturrax\* intensiv homogenisiert. Die Ansätze werden zusammengeführt und weitere Zeit intensiv dispergiert. Anschließend wird der Gesamtansatz mittels einer Perlmühle verrieben und homogenisiert. Dieser so genannte Perlmühlansatz wird mit den nicht so harzreichen Bindemitteln aufgefettet, bevor die Additive BYK 331 (Verlaufshilfsmittel) und Ascinin Antiskin 0444 als Hautverhinderungsmittel eingearbeitet werden. Der Homogenisierungserfolg in der Perlmühle und die Dauer der Dispergierungen werden über die resultierenden Korngrößen (Grindometer) gesteuert. Am Ende erfolgt die Viskositätseinstellung mit der entsprechenden Lösemittelmenge.

Auf dieser für die meisten Rezepturen anwendbaren allgemeinen Vorschrift basiert auch die Rezeptur für das Reincke Universal Hartöl, das schon erfolgreich vermarktet wird. In den Vorversuchen hat sich gezeigt, dass dieses Öl was Härte und Kratzfestigkeit angeht ganz gut abschneidet und das es einem Biolack für Biopolymere vielleicht am nächsten kommt. Es enthält relativ wenig mineralische Zuschläge, was auch für einen Biolack postuliert werden muss. Deshalb wurde es als Ausgangsbasis für die Entwicklung eingesetzt. Das Reincke Hartwachsöl kommt nicht in Frage, da es als spezielles Fußbodenöl entwickelt wurde und zwingend die Einarbeitung in eine saugfähige Oberfläche voraussetzt. Andere Produkte wie der Möbellack sind zu weich. Im Zuge der Entwicklung hat sich dann aber gezeigt, dass doch mit einer ganz anderen Bindemittelzusammensetzung gearbeitet werden musste. Die Additive sind weitestgehend die gleichen geblieben.

Im Anhang finden sich exemplarisch ausgefüllte Eigenschaftsmatrizen/Prüfprotokolle sowohl für die bekannte Basisrezeptur (Reincke Universal Hartöl, Beginn der Entwicklung, Anlage 5) als auch für die nach Abschluss der ersten Entwicklungsstufe festgelegte Rezeptur (KL 127/11, Anlage 6), die dann in drei Versionen als Klarlack als Mattlack und als Schwarzlack an das Kunststoffinstitut zur weiteren Abprüfung ausgeliefert wurde.

Zur Formulierung des Mattlackes wurden 3,5% Diatomeenerde sowie 2,5% pyrogene Kieselsäure mit dem Dissolver intensiv eingearbeitet. Die Mattierungsmittel können nicht im Perlmühlansatz mit vermahlen werden, da die für die Mattierungswirkung maßgebliche Primärkorngröße dort zerrieben wird.

Zur Formulierung des Schwarzlackes wurden 12% einer Farbpaste, bestehend aus Pigmentruß und Eisenoxidschwarz fein dispergiert in die Lackbasis unter Lösemittelzugabe, untergerührt.

Ein ebenfalls vorbereiteter Weißlack wurde zunächst in der Entwicklung zurückgestellt, da das benutzte Weißpigment zu stark verdickend wirkte und die Viskositätskorrektur mit Lösemittel wiederum zur Sedimentation führte. Hier ist weitere Entwicklungsarbeit zu leisten.

## 4.4 Prüfungen

### 4.4.1. Lackprüfung

Zur Beurteilung der Qualität und der Biopolymertauglichkeit wurden folgende Messgrößen herangezogen (siehe Eigenschaftsmatrizen in Anlage 5 + 6)

Test/ physikalische Größe	Methode
Viskosität:	Auslaufbecher nach DIN 53211, 4mm und Haake Rotationsviskosimeter Searle Typ nach DIN 53019
Korngrößenfeinheit:	Grindometer Typ 232 nach DIN 53203/ISO1524
Streich- und Rollverlauf	optische Prüfung auf Glas- und Holzflächen, Beurteilung des Streich- oder Rollwiderstandes
Verlauf:	Ablaufverhalten auf Kontrastbogen mit einem BYK/Gardner Verlaufsprüfrakel in Anlehnung an DIN 55677/ASTM 2801
Dichte	Dichtekugel nach DIN 53217 T3/ISO 2811-2
Filmhomogenität:	Optische Beurteilung
Trocknungszeit:	Simex Drying-Recorder, 30 µm-Filme auf Glas nach ASTM D5894
Filmhärte:	Pendelhärte nach König, DIN ISO1522 Filmhärte nach Buchholz DIN ISO 2815
Kratzfestigkeit:	Erichsentiefung nach DIN ISO 1520
Glanzgrad	Gloss-Meter PCE-GM 100 nach DIN ISO 2813
Haftfestigkeit:	Gitterschnittprüfung in Anlehnung an DIN ISO 2409 mit Klebebandabriss (TESA®4657)

Tab. 1 Lackprüfung

### 4.4.2 Abgemusterte Bio- Kunststoffe

Die im Rahmen des Projekts abgemusterten 3D- Bauteile wurden auf dem hierfür überarbeiteten Werkzeug (Navi Blende) abgemustert. Es handelt sich um fünf Biobasierende und zwei Standardkunststoffe.

<b>Biobasierend</b>	<b>Standard</b>
WPC 50	ABS Terluran GP 35
WPC 30	PC/ABS Bayblend T65
Sorona 3301 (PTT)	
Naturegran PV 6930 (PLA)	
Vestamid DS 18 (PA)	

#### lab, 2 abgemusterte Kunststoffe

Bei der Abmusterung hat sich das Bauteil aus PV 6930 PLA leicht verformt. Es wurde aber weiter abgemustert, um zu sehen, wie sich das Material bei der Lackierung sowie bei der Abprüfung verhält.

#### 4.4.3 Oberflächenaktivierung

Im Rahmen der Erstversuche wurde festgestellt, dass die beiden Bio Kunststoffe WPC 30 und WPC 50 nur mit einer Oberflächenaktivierung Haftung aufweisen. Hierfür wurden die beiden Kunststoffe mit der Beflammungsanlage, die im Rahmen dieses Projektes angeschafft wurde, vorbehandelt. Bei allen anderen Kunststoffen war eine Oberflächenaktivierung nicht nötig.

#### 4.4.4 Verwendetes Lacksystem / Mischungsverhältnis

Es wurde ein 1-K oxydativ trocknendes Lacksystem getestet, das auf einer Kombination aus verschiedenen Öl-Harz-Verkochungen hergestellt wurde. Folgende Ausführungen kamen zum Einsatz:

- Schwarz
- Klarlack
- Matt

#### 4.4.5 Technische Beurteilung des Schichtsystems

Die Testlacke wurden im Kunststoff-Institut auf die Musterbauteile via Spritztechnik appliziert und nach der Trocknung umfangreichen Stabilitätstests unterzogen. Beim Öffnen der Dosen war auf allen Lacken eine „Hautbildung“ durch Trocknungsprozesse zu erkennen. Die Haut ließ sich entfernen. Beim Aufrühren der Lacke war festzustellen, dass die Systeme sich absetzten. Der „Bodensatz“ ließ sich aber gut aufrühren. Die Lacke waren für eine spritztechnische Applikation noch zu viskos. Deshalb wurden sie mit 2-3% Universal-Verdünnung eingestellt.

#### 4.4.6 Beschichtungsablauf /Trocknung

Die Lackerversuche erfolgten durch eine Handapplikation mit einer industrietauglichen Lackierpistole der Fa. Sata mit einem 1,4mm Düsensatz. Das spritzfertige Material ließ sich gut lackieren. Es waren keine Besetzungsstörungen zu erkennen. Aufgefallen ist beim Lackieren, dass sich viele kleine Stippen zeigten. Dies wurde als ein Materialfehler im Lack festgehalten, der später zu korrigieren war.

Technische Daten:

- Luftfeuchte 50 - 60%
- Spritzdruck 3,5 – 4 bar
- Trocknung 3 – 4 Std. bei ca.30°C

Grundmaterial	Bio-Lack Matt	Bio-Lack Klarl.	Bio-Lack Schwarz	Vorbehandlung
<b>ABS</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	nein
<b>PC</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	nein
<b>Werzalit 30%</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	ja
<b>Werzalit 50%</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	ja
<b>Naturegran PV6930</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	nein
<b>Vestamid</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	nein
<b>Sorona</b>	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	1 K Material Verd. UN-Verd. MIPA 2-3%	nein

Tab. 3 Auftragsbedingungen:

#### 4.4.7 Abprüfung nach PV1200

Zur Prüfung des Verhaltens unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, wie sie z.B. im Innenraum eines PKW Jahreszeiten-abhängig auftreten, wurden die Prüfmuster in einer Klimakammer unter verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtwerten gelagert. Nach den Vorgaben der PV 1200 (Vorschrift für Klimawechsellaagerungstest) sollen Temperatur und Luftfeuchtigkeit dabei zyklischen Veränderungen unterliegen. Die Untersuchungen im Kunststoffinstitut wurden entsprechend einer Automobil-Standardprüfung durchgeführt. Die Klimawechsellaagerung erfolgte wie in der TL 226 nach den Vorgaben der Fa. Audi (96 h nach PV 1200). Die Dauer eines Zyklus der PV 1200 beträgt 720 min (12 h). Es wurden gemäß den Vorgaben der Fa. Audi somit 8 Zyklen durchlaufen.

Die Aufwärm- und Abkühlzyklen der PV 1200 sind wie folgt aufgebaut:

- 60 min Aufheizphase, auf +80 °C und 80 % rel. Feuchte,
- 240 min Haltezeit, bei +80 °C und 80 % rel. Feuchte,
- 120 min Abkühlphase, auf -40 °C,
- 240 min Haltezeit, bei -40 °C,
- 60 min Aufheizphase, auf +23 °C, ab T = 0 °C wird die rel. Feuchte auf 30 % geregelt.

Die Beurteilung hinsichtlich möglicher Veränderungen erfolgte täglich jeweils nach 2 Zyklen.

Für die Beurteilung der Oberflächeneigenschaften der Schichtsysteme wurden folgende Prüfungen herangezogen:

- -Gitterschnittprüfung in Anlehnung an die DIN EN ISO 2409 bzw. TL 226 Punkt 3.7. Der Gitterschnitt wurde aufgrund der Artikelgeometrie mittels Cuttermesser eingebracht. Für den anschließenden Klebebandabriss wurde das Klebeband Typ „Tesa® 4657“ verwendet.
- Kreuzschnittprüfung (Andreaskreuz) TL 226 Punkt 3.7.2. Der Kreuzschnitt wurde mittels Cuttermesser eingebracht. Für den anschließenden Klebebandabriss wurde das Klebeband Typ „Tesa® 4657“ verwendet. Die Bewertung erfolgte auf dem Klebebandabriss.

- -Kratzbeständigkeit mittels Erichsen Härteprüfstab Typ 318 mit 10 N Belastung und 0,75 mm Prüfnadel (TL 226 Punkt 3,8)

#### 4.4.8. Ergebnisse:

- a) Der Bio Kunststoff PV 6930 zeigte eine deutliche Verformung ab einer Temperatur von 50°C, deshalb ist hier die weitere Prüfung abgebrochen worden. Es wird aber geprüft, ob ein temperaturstabileres PLA\_Material auf dem Markt zur Verfügung steht. Das soll eventuell bei einer zweiten Abmusterung benutzt werden.
- b) Die getesteten Filme zeichneten sich in der Gitterschnittprüfung durch eine sehr gute bis gute Härte (GT 0-1) aus. Die guten Oberflächeneigenschaften wurden in der Kratzprüfung bestätigt.
- c) Die Trockenzeiten für diese oxydativ trocknenden Naturöl-Systeme liegen bei 3-4 h. Das ist für Naturöl-Produkte eine gute Trockenzeit. Für die Anwendung in der Automobil-Industrie sind diese Trockenzeiten noch zu lang und müssen reduziert werden
- d) Nach zwei Zyklen der Prüfung nach PV 1200 wurde bei allen Lacksystemen eine Verfärbung ins bräunliche festgestellt werden. Ursache für die bräunlichen Verfärbungen der Oberflächen sind Vergilbungsprozesse, die auf die spezielle chemische Zusammensetzung der eingesetzten Bindemittel zurückzuführen sind. Die eingesetzten mehrfach ungesättigten Naturöle (Leinöl, Holzöl, Ricinenöl) bringen zwar eine gute Härte und eine gute Trocknung, sind aber auch anfällig für Folge- und Nebenreaktionen durch die, neben geruchsintensiven Aldehyden und Ketonen auch Chromophore gebildet werden. Die Filme neigen zur Vergilbung. Dies ist ein weiterer Produktmangel, den es zu bearbeiten gilt. Bei den bisherigen Nutzungen der Öle unter Standard-Wohnbedingungen (0°C – 35°C, 50 – 60 % Luftfeuchtigkeit) führen diese Prozesse nur zu einer leichten Verfärbung. Bei den härteren Bedingungen der Klimawechsellagerung für die Automobilindustrie (80°C/-40 °C) verstärken sich diese Prozesse offensichtlich.

Die Ergebnisliste der Klimawechsellagerung liegt als Anlage 7 bei.

#### 4.5 Ergebnisse AP 2 , Vorplanung AP 3 und AP 4

Diese Arbeitpaket wurde damit erfolgreich angeschlossen

1. Die Beflammungsanlage wurde geliefert. Bei dem Material Werzalit S2 30% und 50% konnte, wie erwartet, zunächst keine Haftung erzielt werden. Daher wurden die Platten durch Beflammung aktiviert. Durch diese Maßnahme konnten zunächst subjektiv gute Haftfestigkeiten erzielt werden.
2. Die ersten fertigen Lacksysteme wurden erstellt und in der Abprüfungsphase getestet. Zum Einsatz für Öllacke kommen Bindemittelkombinationen aus harten, weichen und zähelastischen Naturöl-Naturharzester-Verkochungen. Für diesen Zweck wurde ein neues zähelastisches Bindemittel entwickelt, ausgetestet und mit in die Lackentwicklung

einbezogen. Auf Basis einer Grundrezeptur wurden ein Klarlack, ein Mattlack und ein Schwarzlack an das Kunststoffinstitut zur weiteren Abprüfung bemustert.

3. Der Einsatz von Calendulaöl, anderen bisher wenig untersuchten Naturölen oder anderen Biopolymeren wurde ebenso wie Entwicklungsarbeiten zu möglichen 2K-Systemen mit forcierter Trocknung durch Wärme oder UV-Strahlung zunächst hinten angestellt, da der zeitliche und der materielle Aufwand den Rahmen dieses Projektes sprengen würden. Die theoretischen Möglichkeiten in diesen Bereichen sind aber so interessant, dass sie weiter verfolgt werden sollten mit dem Ziel einer verbesserter Generation für Biolacke auf Biokunststoffen.
4. Untersuchungen auf Basis von Schnelltests in Anlehnung an die Vorgaben der Automobilindustrie haben ergeben, dass die Schichtsysteme Biolack auf Biopolymer zu guten Lackergebnissen kommen, die auch einer Wechselklimalagerung gut standhalten.
5. Nachteile der entwickelten Lacke waren zum einen eine unruhige Lackoberfläche (Stibben) und zum anderen eine signifikante Vergilbung. Zudem war die Trocknung mit 3-4 h für die Ansprüche der Autoteilehersteller zu langsam. Dies sind Ausschlußkriterien für eine kommerzielle Verwertung solcher Produkte und müssen abgestellt werden.
6. Im Zuge einer Überarbeitung der Rezepte sollten die oben genannten Schwachstellen beseitigt werden. Bei den Stibben reicht eine einfache physikalische Filtration um das Problem zu lösen. Deutlich schwieriger wird das Thema Vergilbung anzupacken sein. Im Zuge der Bindemittelauswahl hat sich gezeigt, dass unter den reinen Naturrohstoffen allein die Bindemittel eine ausreichende Performance liefern, die mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten. Diese sind aber auch für die Vergilbung verantwortlich. Auch das Thema Trocknung muss im weiteren Verlauf des Projektes angegangen werden.

## 5. Arbeitspaket 3 Haftfestes Lacksystem

### 5.1. Rezeptoptimierung/ -neuerstellung

#### 5.1.1. Problembearbeitung – Vergilbung – Neue Bindemittel

Um die in AP 2 festgehaltene Vergilbungsneigung abzustellen oder zu verringern können nur Bindemittel auf Basis halbtrocknender Öle, wie Safloröl, Sonnenblumenöl, Walnussöl oder Sojaöl herangezogen werden. Im Bindemitteltest (AP 1) waren ein Fertigprodukt und ein Bindemittel, die beide Sojaöl enthalten mitgetestet worden. Die Performance hat sich aber bei beiden als eher schwach herausgestellt. Dies deutet auf das Hauptproblem bei der Verwendung von halbtrocknenden Ölen als Lackrohstoffe hin. Durch die geringere Zahl an Doppelbindungen ist zwar eine vordergründige Trocknung möglich, aber die dreidimensionale Vernetzung ist wenig ausgeprägt, was die Filme weich und wenig widerstandsfähig macht [PM07]. Aus diesem Grund werden diese Bindemittel meist mit härteren verschnitten. Es werden aber auch sehr viel weniger Folge- und Nebenreaktionen während der Trocknungsphase ausgelöst, wodurch die Filme deutlich weniger vergilben und eine bessere Langzeit UV-Stabilität besitzen. Der Einsatz dieser Öle könnte zu brauchbaren Ergebnissen führen, wenn sie in Form von Urethanölen, Epoxiölen, UV-Ölen oder Alkydharzen chemisch modifiziert werden. Hier ist die Grenze zu herkömmlichen Lacken

aber schnell überschritten und es ist nicht das Ziel dieses Projektes, Lacke zu entwickeln, die schon wie Sand am Meer überreichlich am Markt vorhanden sind.

Um in dieser Richtung dennoch ein Stück voranzukommen, wurden weitere Versuche mit einer Reihe von alternativen Bindemitteln durchgeführt (Anlage 8), die den Angaben der Hersteller nach als nicht gilbend gelten. Geprüft wurden die Trocknungseigenschaften (oxidativ-kalt und oxidativ-forciert) sowie Haftung (Gitterschnitt), Härte (Erichsen und König) und ein einfacher Wasserbelastungstest (1,0 ml Wasser mit Eppendorf Pipette appliziert – zeitabhängige Eintrübung des Bindemittelfilmes).

Getestet wurden neue Formulierungen mit

- Langölkalkydharz, mittelviskos auf Basis trocknender Fettsäuren
- Urethansiertes Langölkalkydharz auf Basis von Leinöl
- Langölkalkydharz, hochviskos auf Basis von Sojaölfettsäure
- Urethansiertes Sonnenblumenöl

Geplant waren darüber hinaus Versuche mit epoxidierten Naturölen als Komponente in 2K-Systemen. Die ersten einfachen Vorversuche mit gängigen Härtern zeigten aber dass diese Bindemittel schwer zu steuern sind und es viel Erfahrung bedarf, um erst einmal eine streichfähige Basis zu bekommen, die als Film abgeprüft werden kann. Diese Erfahrung muss erst gesammelt werden, weshalb auch dieses Kapitel zunächst vertagt wurde.

Den Ergebnissen (Anlage 8) war zu entnehmen, dass sich diese „weitergeführten“ Naturstoffbindemittel in der Performance nicht nennenswert von den reinen Naturstoffen unterscheiden. In Haftung und Härte nahmen sie nur eine gute Mittelstellung ein und auch die Trocknung war nicht besser wie bei den gut trocknenden Bindemitteln. Im Verhältnis zu den Naturbindemitteln auf Basis nicht gilbender Öle zeigten sie aber eine deutlich bessere Performance. Das urethansierte Alkydharz wies eine außerordentlich gute Wasserfestigkeit auf, die unter Umständen auch für andere Produkte genutzt werden kann. Es wäre also sinnvoll, mit Ihnen weiter zu arbeiten oder sich weitere entsprechende Bindemittel anzuschauen.

Bei den Bindemittelmischungen zwischen Naturölbinder und Alkydharzen zeichnet sich ein Trend ab, der unter Umständen generell für einen Biolack nach den hier durchgeführten Mustern gilt und der sich auch schon während der Entwicklungsarbeiten andeutete:

- ist der Biolack eher weich und wenig widerstandsfähig, weist er meist eine gute Haftung auf.
- ist der Lack hart und widerstandsfähig, ist die Haftung meist verringert

Ein möglicher Weg mit nicht gilbenden Bindemitteln zu guten Lacken zu kommen, wäre die Verbesserung der Eigenschaften über spezielle, meist synthetische Additive, die gezielt Einfluss auf die Molekülvernetzung nehmen. Diese Additive müssten unter Umständen schon in die Entwicklung von neuen Bindemitteln mit einfließen. Dies ist ein sehr weites und komplexes Feld und Entwicklungsarbeiten in diese Richtung würden den Umfang und die Möglichkeiten dieses Projektes sprengen.

### 5.1.2. Problembearbeitung - Trocknung

Als Trockenstoffe wurden Gemische aus organischen Verbindungen der Metalle Co/Zr/Mn und Zn eingesetzt und die Trocknung der Lacke war optimal eingestellt. Es ist zwar grundsätzlich möglich, die schnell trocknenden Öle auf Zeiten unter 1 h zu drücken, nur sind hierfür große Mengen an Sikkativen vor allem an Cobalt-haltigen Sikkativen notwendig. Dies ist aus ökonomischen, ökologischen und gesundheitlichen Gründen jedoch nicht zu vertreten.

Ein Aspekt, der grundsätzlich bei der Trocknung von lösemittelhaltigen Lacken zu berücksichtigen ist, ist die Überlagerung von physikalischer Trocknung (Verdunstung des Lösemittels) und oxidativer Trocknung. Erst, wenn das Lösemittel weitestgehend verdunstet ist, können die oxidativen Prozesse starten. Im Falle dieser Biolackrezeptur wurde mit sehr viel Naturharz gearbeitet. Naturharze haben die Eigenschaft, Lösemittel im Lack gewissermaßen festzuhalten und die Verdunstung zu behindern. Auch hier kann zur Verbesserung der Trocknungseigenschaften angesetzt werden:

Versuche mit einem Lösemittel, das eine deutlich höhere Verdunstungszahl hat (Shellsol D40), haben gezeigt, dass Harzlösungen mit diesem Lösemittel schneller physikalisch trocknen. So konnte die Trocknungszeit des hier verwendeten Maleinatharzesters in 50%iger Lösung in D40 um bis zu 30% gegenüber dem D60 verkürzt werden. Der Nachteil des Shellsol D40 ist sein niedriger Flammpunkt von 40°C der dazu führt, dass alle mit ihm hergestellten Produkte als Gefahrstoffe zu kennzeichnen sind.

Nun ist es auch möglich, Harze zu finden, die in der Lage sind, Lösemittel schneller abzugeben. Auch dies bedeutet, einen erheblichen Aufwand zu treiben, da eben auch alle anderen Eigenschaften stimmen müssen.

Eine Trockenzeit von 3-4 h unter Normalbedingungen (20°C, 60% rel. Luftfeuchtigkeit) ist für Naturstoffe ein guter Wert. Aufgrund der Verdunstungsproblematik sollte die Trocknung mit Hilfe eines Heißluftgebläses noch beschleunigt werden. So wurden im Kunststoffinstitut die Prüfmuster auch in einem Trockenschrank getrocknet. Die Zeiten konnten so (bei 50 °C) auf unter eine Stunde gedrückt werden. Nicht alle Biopolymere blieben bei dieser forcierten Trocknung formstabil und die transparenten Lacke zeigten wieder deutliche Vergilbung.

### 5.1.3 Problembearbeitung - unruhige Oberfläche - Stippen

Obwohl die pulverförmigen und körnigen Bestandteile der Rezeptur in einer Perlmühle vermahlen wurden (Kornfeinheiten unter 20µm) zeigten sich auf den Lackoberflächen Stippen. Dies könnten Verunreinigungen während des weiteren Verarbeitungsprozesses sein, oder möglicherweise Rekrystallisationen von zermahlenden Partikeln, die sich wieder zu größeren Gebilden zusammenfinden. Man kennt dieses Verhalten vor allem von Wachsen. Abhilfe schafft hier eine Filterung des fertigen Lackes durch einen feinen (25µm) Gewebefilter.

## 5.2. Beschichtungsversuche II & Prüfungen

Da es bis zu diesem Zeitpunkt nicht möglich war, eine neue Rezeptur zu erarbeiten, wurde noch einmal mit den vorhandenen Lacken gearbeitet. Diesmal standen die Applikation der Lacke auf eine 3D-Geometrie (Navi-Blenden) und die Überprüfung der Anlagentauglichkeit des Lacksystems im Vordergrund. Hierzu wurde eine Roboter-Lackieranlage verwendet, die zum Teil vom Land NRW im Rahmen eines Förderprojekts bezuschusst wurde. Die

Trocknung wurde forciert in einem Trockenschrank mit Gebläse bei 50°C durchgeführt. Applikation und Trocknung wurden als sehr positiv bewertet mit den oben genannten Einschränkungen.

Zur Bewertung wurden wieder die üblichen Kriterien hinsichtlich Haft- und Kratzfestigkeit, Medien- und UV- bzw. Langzeitbeständigkeit herangezogen.

### 5.2.1 Polymersubstrate

Für die Abmusterungen der Referenzmuster wurden ursprünglich die konventionellen Kunststoffe Terluran GP 35 (ABS) und ein Bayblend T65 schwarz (PC/ABS) ausgewählt. Zwischenzeitlich wurde das Material PC/ABS vom Markt genommen und durch ein modifiziertes Material Makrolon 2405 (PC) ersetzt, das jetzt für die Abmusterung der Navi-Blenden genommen wurde. Dieser Kunststoff hat einen ähnlich hohen Marktanteil und auch die Vorversuche in Bezug auf Hafteigenschaften waren positiv.

Folgende Materialien wurden jetzt für die Abmusterung der Navi-Blenden verwendet:

Biobasierend	Biobasierend
Wood Plastic Composite=WPC 50 (PP)	Terluran GP 35 (ABS)
Wood Plastic Composite=WPC 30 (PP)	Makrolon 2405 (PC)
Vestamid DS 18 (PA)	
Sorona 3301 (PTT)	
Naturegran PV 6930 (PLA)	

Tab. 4 Abmusterung Naviblenden

### 5.2.2. Auswahl und Beschreibung der Prüfverfahren

Die Auswahl der einzelnen Prüfungen basiert auf den beiden Automobil Prüfstandards (bezogen auf Beschichtungen im Automobilinnenraum) VW/AUDI TL 226 (04/2006) und Mercedes-Benz DBL 7384 (04/2009). Hierbei wurde die grundsätzliche Haftung mittels Gitterschnitt DIN EN ISO 2409 geprüft. Ebenso wurden wieder die Klimawechselagerung „PV1200“ nach den Vorgaben der Fa. Audi und zusätzlich die Kondenswasserkonstantklimalagerung „KK“, jeweils aus den beiden Automobilprüfungen, mit einbezogen.

Beim Bestehen der zwei Prüfungen PV 1200 und KK sollen zwei weitere Prüfungen herangezogen werden, die ebenso Teilauszüge aus der Automobilprüfung sind.

- Prüfungen mit Medien: Prüfung der Cremebeständigkeit
- Weiterführende Prüfmöglichkeiten: Sonnensimulation z.B. DIN 75220

### 5.2.3 Schnelltests

Wie schon zuvor (AP 2) konnten Härte, Haftung und Kratzfestigkeit der lackierten und getrockneten Muster ohne Nachbehandlung auch mit der neuen Verarbeitung durchaus überzeugen.

### 5.2.4 Abprüfung nach PV 1200

Die Prüfobjekte wurden 3 Tage nach der Lackierung in einer Klimakammer einem Zyklus aus Aufheizung und Abkühlung bei geregelter Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Dieser Zyklus wurde mehrfach durchlaufen, um eine Lagerung unter verschiedenen Klimaverhältnissen zu simulieren. Die Beurteilung hinsichtlich möglicher Veränderungen erfolgte täglich jeweils nach 2 Zyklen. Die Ergebnisse sind in den nachstehenden Abbildungen 5. und 6. dargestellt.

Im Gegensatz zu den ersten Abprüfungen mit diesem Lacksystem (Anlage 7) waren diesmal schon nach 2 Zyklen erste Abrisserscheinungen sichtbar. Offensichtlich wurde durch die forcierte Trocknung die Haftung auf den Polymeren beeinträchtigt.



Abb.: 6  
*Prüfmuster: Schwarzlack auf WPC 30*

Schon nach zwei Zyklen zeigen sich deutliche Abrisserscheinungen mit ausgefransten Schnittkanten (ISO: 3, ASTM: 2B). Dieses Bild verändert sich allerdings mit zunehmender Zyklen-Anzahl nicht mehr sehr stark.



Abb.: 7  
*Prüfmuster: Schwarzlack auf Makrolon 2405 PC*

Die Haftung erscheint etwas stärker zu sein. Es zeigen sich starke Rand-Zerfransungen aber ohne vollständige Abrissflächen (ISO: 2, ASTM: 3B). Auch hier wird durch zunehmende Zyklenanzahl das Bild nicht mehr stark verändert.

### 5.2.5 Auswertung der Kondenswasserkonstantklimalagerung (KK)

Die Proben wurden gemeinsam unter folgenden Bedingungen getestet:

<b>Prüfbedingungen</b>	Klimakammer
Temperatur	40 °C
Lagerung der Proben	hängend
Dauer der Lagerung	240 Stunden gesamt, Zwischenbeurteilung nach 3 Tagen
Start der Lagerung	05.04.2013
Ende der Lagerung	15.04.2013

Tab. 5 Bedingungen der Kondenswasserlagerung

Die Bewertung der Proben erfolgte visuell hinsichtlich einer Veränderung des Lacksystems.

Zwischenbeurteilung nach 3 Tagen:

Bei allen getesteten, lackierten Bauteilen konnte man ein deutliches „Auskreiden“ bzw. „Abwaschen“ sehen (Abb.: 7). Offensichtlich haben die Lacke erhebliche Mengen Wasser aufgenommen und sind stark aufgequollen. Die Beurteilung der Haftung mittels Gitterschnitt- und Kreuzschnittprüfung sowie die Prüfung der Kratzbeständigkeit mittels Erichsen Härteprüfstab erfolgten aufgrund der visuellen negativen Beurteilung nicht.

Auswertung nach 10 Tagen:

Die Lackoberflächen sind so ziemlich komplett zerstört (Abb.: 8 + 9). Blasenbildung sowie großflächige Abplatzungen sind zu sehen. Eine Haftung ist nicht mehr gegeben.



Abb.: 8  
*Prüfmuster WPC 50 nach 3 Tagen*  
 Deutlich sind die Eintrübungen und Verfärbungen zu erkennen. Die Bauteile waren anfangs braun.



Abb.: 9  
*Prüfmuster WPC 50 nach  
 10 Tagen  
 Zerstörung der Lackflächen*



Abb.: 10  
*Prüfmuster Makrolon 2405  
 PC nach 10 Tagen*

Nach Ende der Kurzttests und den zwei Testreihen PV 1200 und KK ist grundlegend eine Haftung gegeben, sodass man sagen kann, dass die Bindemittelbasis eine gute Ausgangsposition für weiterreichende Entwicklungsarbeit ist. Die nicht bestandenen Testreihen sind Bestandteile einer Automobilprüfung, die schon für klassische, lösemittelhaltige Systeme schwer zu erfüllen ist. Hier sollte zukünftig der Anspruch zurückgeschraubt und eine abgeschwächte Zykluszeit gewählt werden.

### 5.3 Haftfestes Lacksystem

Die Rezeptur KL 327/11 basierend auf Leinöl, Holzöl, Rizinenöl, Sojaöl und Kolophoniummaleinatharzester war das Ergebnis des ersten Projekt-Abschnittes. Der Lack wurde in dreifacher Ausführung als Mattlack, Glanzlack und Schwarzlack getestet. Er zeichnete sich zunächst durch gute bis sehr gute Eigenschaften in Bezug auf Haftung, Härte, Kratzfestigkeit, und Widerstandsfähigkeit gegen einfache physikalische und chemische Belastungen aus.

Darüber hinaus ließ er sich gut spritztechnisch applizieren. Nicht zufrieden konnte man hingegen mit der Trocknungsgeschwindigkeit, der Vergilbungsresistenz und den Ergebnissen der Kondenswasserkonstantklima-Tests sein. Es hat sich gezeigt, dass es nicht möglich ist, mit einfachen, schnellen Rezepturänderungen diese Mängel, deren Ursachen vielfältig und komplex sind und die sich gegenseitig bedingen zu beseitigen. Hierfür werden neue sehr viel weiterführende Entwicklungsarbeiten und Untersuchungen notwendig, die im Rahmen dieses Projektes nicht mehr durchgeführt werden können. Somit wird die vorläufige Rezeptur festgeschrieben.

### Richtrezeptur für die Lackbasis

Rohstoff	Beschreibung	Verarbeitung	Rezeptur %
Bindemittel 1 BM 75	Leinöl-Holzöl- Maleinatharz, zähelastisch	Vorlage im Kessel	28,0
Bindemittel 2 Erkamar 2010	Maleinatharzester in D60	mit Dissolver einarbeiten	8,0
Thixotropie- Komponenten	Bentone 38/Ethanol	mit Dissolver einarbeiten	1,5
Additiv für Vernetzung	mikronisiertes ZnO	Mit Dissolver einarbeiten	1,5
Additiv für UV-Schutz	mikronisiertes TiO <sub>2</sub>	Mit Dissolver einarbeiten	0,5
Additiv für Härte	Glasmehl (Mikroperlen)	Mit Dissolver einarbeiten	3,0
Additiv für Stabilisierung	Kaolin	Mit Dissolver einarbeiten	4,0
Additiv für Hydrophobierung	Mikrowachs	Mit Dissolver einarbeiten	3,0
Additiv für Entlüftung	BYK 067A	Mit Dissolver einarbeiten	0,5
		Den Ansatz mit einer Perlmühle homogenisieren	
Lösemittel	Shellsol D60	Zum Spülen der Perlmühle	10,0
Bindemittel 3 BM 4030	Holzöl-Ricinenöl- Maleinatharz, sehr hart	Mit Dissolver einrühren	15,0
Bindemittel 4 Rokralux SE 160	Soja-Holzöl-Maleinatharz, weich	Mit Dissolver einrühren	10,0
Additiv für Verlauf und Glätte	BYK 331	Mit Dissolver einarbeiten	0,3
Additiv für Hautverhinderung	Ascinin Antiskin 0444	Mit Dissolver einarbeiten	0,2
Lösemittel	Shellsol D60	mit Dissolver einarbeiten	14,5
Summe			100,0

Tab. 6 Rahmenrezeptur

Diese Lackbasis kann bis zu 15 Gew% an Pigmenten (außer Titanweiß) bzw. 4 Gew% an Mattierungsmittel aufnehmen, ohne dass sich die lacktechnischen Eigenschaften merklich verändern.

Die Sikkativierung erfolgt in der Regel bei der Einrichtung als Klar- Matt- oder Farblack und variiert mit den jeweiligen Zusätzen.

Zusammen mit den Sikkativen oder kurz vor der Applikation erfolgt die Einrichtung auf Spritzfähigkeit durch den Zusatz von Lösemittel. Auch dessen Menge variiert mit den jeweiligen Zusätzen.

Der Meilenstein „haftfestes Lacksystem“ wurde erfüllt, aber mit den bisher eingesetzten Bindemitteln konnten nicht alle erforderlichen Eigenschaften erreicht werden. Es zeigt sich, dass ein Lack, der ausschließlich auf naturreinen Rohstoffen basiert, den Anforderungen an einen Kunststofflack für Gebrauchsgegenstände nicht vollkommen genügen kann.

Auch lacktechnisch werden noch Verbesserungen gefordert bei:

#### 1) Vergilbung:

Die bisher eingesetzten Bindemittel auf Basis ungesättigter Öle brachten eine hohe Härte und gute Trocknung. Sie sind allerdings auch die Ursache für Vergilbungen bei den hohen Temperaturen in der Klimawechselkammer. Der Ersatz der bisherigen Bindemittel durch nicht gilbende Öle würde zwar das Problem der Vergilbung beseitigen, aber eine schlechtere Härte und langsamere Trocknung mit sich bringen. Durch die Kombination mit neuen Bindemitteln auf Basis nicht gilbender Öle könnten die Verfärbungen möglicherweise eingeschränkt werden.

#### 2) Trockenzeiten verkürzen:

Die Trockenzeiten für die bisher eingesetzten oxidativ trocknenden Naturöl-Systeme liegen bei 3-4 h. Das ist für Naturöl-Produkte eine gute Trockenzeit. Für die Anwendung in der Automobil-Industrie sind diese Trockenzeiten noch zu lang. Neue Bindemittel sollten mit neuen Kombinationen von Trockenstoffen und weiteren Katalysatoren variiert werden.

## 6. Arbeitspaket 4 Marktfähiges Produkt

Das Ziel, einen marktfähigen Biolack für Biopolymere zu entwickeln, wurde im Rahmen dieses Projektes trotz einer Verlängerungsphase von 6 Monaten nicht erreicht. Viele Überlegungen, Erkenntnisse und die Auswertung der letzten Untersuchungen haben aber gezeigt, dass es sich lohnt, weiter an diesem Thema zu arbeiten. Die Projektpartner sind sich einig, dass es wichtig ist, hierfür ein Folgeprojekt aufzulegen, das sich mit den aufgezeigten Möglichkeiten, doch zum Ziel zu kommen, beschäftigen soll. Hierzu kann es sogar sinnvoll sein, weitere Projektpartner aus der Lackbranche hinzu zuziehen, um das Know-How für neue Wege zu erweitern.

- Neue Hybridbindemittel (Alkyde, Epoxyharze, Urthanharze auf Naturstoffbasis) sind zu akquirieren und auszutesten, in wie weit sie die vorhandenen reinen Naturbindemittel ergänzen können ohne den Pfad eines „Biolackes“ zu verlassen.
- Neue Additive können eventuell direkt in den Polymerisationsmechanismus eingreifen und für bessere Eigenschaften sorgen.
- Neue Wege der Aushärtung (2K-Systeme, UV-Härtung) müssen gefunden und ausgetestet werden.

Bei der Firma Reincke Naturfarben GmbH wird das Projekt dennoch als sehr erfolgreich bewertet, denn die bisher gewonnenen Erkenntnisse und die Ergebnisse haben sich schon positiv auf die Entwicklung und Verbesserung von Öl-basierten Holzbeschichtungen für die industrielle Parkettherstellung ausgewirkt. Die Erkenntnisse zur Kombination hart-weich-zähelastisch, die Entwicklung eines neuen Bindemittels, die auf Holz außergewöhnlich gute Performance der Richtrezeptur und nicht zuletzt die Entdeckung eines Langölkalkydharnes mit einer sehr guten Wasserfestigkeit, all dies sind Aspekte, die auch in die Weiterentwicklung von Reincke Parkett- und Holzölen eingeflossen sind.

So konnten aus der Richtrezeptur Produkte abgeleitet werden, die es bisher bei Reincke nicht gab. Ihre mechanische Widerstandsfähigkeit, Härte, Wasserbeständigkeit und die kurzen Trockenzeiten ermöglichen, dass sie als schichtbildende Ölsiegel im Bereich Holzfußböden/ Parkettversiegelung eingesetzt werden können oder sogar als Yacht- und Bootslack höchsten Anforderungen genügen. Für beide Bereiche wurden marktfähige Produkte jetzt erfolgreich angeboten. Ein Klarlack-ähnliches Produkt für die Parkettversiegelung war bis dato auf dem Markt der Naturbaustoffe nicht vorhanden.

## **7. Arbeitspaket 5 Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens**

Für den Abschlussbericht sollte eine ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens in Abgrenzung zum Stand der Technik erstellt werden.

Erste Aufstellungen der erforderlichen Unterlagen zeigten schnell, dass diese Arbeit für Reincke Naturfarben im Rahmen des Projektes personell nicht durchzuführen war. Anfragen bei verschiedenen Instituten und Universitäten ergaben, dass diese Arbeit gern übernommen werden könnte. Allerdings lagen die Kostenvoranschläge für die Durchführung im Bereich von 20.000 – 100.000 €.

Erst durch die Zusammenarbeit mit dem Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH der Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung in Bingen konnte ein machbarer Weg gefunden werden. Das Institut übernahm die Erstellung einer „Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe“. Diese Studie ist von Reincke Naturfarben zusätzlich zum Projekt aus eigenen Mitteln finanziert worden.

Ziel der Studie war es, ein Lacksystem auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf seine Umweltwirkungen hin zu untersuchen. Ursprünglich sollte als Referenzsystem eine konventionelle Beschichtung dienen. Die Umweltwirkungen einer konventionell/synthetischen Beschichtung konnten aufgrund der Datenlage jedoch nicht analysiert werden, da

- keine vollständigen Rezepturen
- keine verlässlichen Angaben zu Lieferanten und damit zu Transportwegen
- keine Angaben zur Produktion

zu erhalten waren. Deshalb musste die Studie auf die Bilanzierung der Umweltwirkungen des im Projekt für den Parkettmarkt erfolgreich entwickelten Produktes „Öllack für Holzparkett“ beschränkt werden.

Die durchgeführte Studie orientiert sich an den normativen Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044. Hierbei wurden, je nach Möglichkeit, stets die Vorketten der

einzelnen Prozesse in die Systemgrenzen aufgenommen. Als funktionelle Einheit wurde die Herstellung einer Tonne des verarbeitungsfähigen Lacksystems definiert. Als Systemgrenze wurde der Ansatz „Cradle to Gate“ gewählt. Somit bilden die Werkstore der Reincke Naturfarben GmbH die Grenze der Betrachtung.

Gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 14040/14044 wurden für die Bilanzierung vorrangig Primärdaten aus den Prozessen des Herstellers erhoben. Wo dies nicht möglich war, wurde auf Daten aus gängiger Literatur oder eigener Berechnung zurückgegriffen. Daten, wie die Bereitstellung von elektrischem Strom, die vom Produktionsstandort unabhängig sind, werden innerhalb dieser Studie durch Durchschnittswerte beschrieben.

Die Wirkungsabschätzung wurde mit Hilfe der Bilanzierungssoftware Umberto NXT LCA der Ifu Hamburg GmbH mittels des Charakterisierungsmodells „ReCiPe Midpoint (H) w/o LT“ durchgeführt

Die durchgeführte Ökobilanz weist nur wenige signifikante Parameter auf. Diese finden sich in den Wirkungskategorien Menschliche Gesundheit, Ökosystem Qualität, Klimawandel und Ressourcen. Diese Kategorien werden maßgeblich durch die Herstellung des Naturharzes, des Alkydharzes, des Paraffins, der verwendeten Pflanzenöle und der mit der Beschaffung der Rohmaterialien verbundenen Transportprozesse beeinflusst. Der vollständige Bericht ist als Anlage 9 (extern) beigelegt.

Ökonomisch gesehen sind die ölbasierten Biolacke durchaus marktfähig. Der Öllack für Holzparkett ist eines der Produkte, die im Rahmen des Projektes entwickelt wurden und mittlerweile erfolgreich als High-Quality-Produkte für Holzböden im Industriebereich eingesetzt werden. Ihre Qualität rechtfertigt den höheren Preis, der durchaus auch bezahlt wird.

## Literaturverzeichnis

- (1) 10th Annual Global Plastics Environmental Conference (*GPEC* 2004), February 18 & 19, 2004, *Detroit*
- (2) Nachwachsende Rohstoffe in der Beschichtungsindustrie ; 30.11.2010, Netzwerkveranstaltung Oberfläche.NRW
- (3) arcotest Firmenbroschüre über Testtinten zur Prüfung der Oberflächenenergie nach DIN ISO 8296, Arcotest GmbH, Mönshheim
- (4) Peter Mischke, Filmbildung in modernen Lacksystemen, Farbe und Lack Edition, Vincentz-Verlag 2007
- (5) BASF-Handbuch Lackiertechnik, BASF Coatings AG, Vincentz-Verlag 2002

## **Anlagenverzeichnis**

Anlage 1	Kurzzeitprüfungen von Lackierungen im Automobilbereich
Anlage 2	Optimale/Erweiterte Prüfungen
Anlage 3	Vorversuche mit fertigen Produkten und Bindemitteln
Anlage 4	Verdünnungsreihen mit Lactatestern
Anlage 5	Eigenschaftsmatrix Hartöl Universal
Anlage 6	Eigenschaftsmatrix Biolack
Anlage 7	Klimawechselagerung
Anlage 8	Prüfbericht alternativer Bindemittel
Anlage 9	externer Bericht „Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe“

## Anlage 1

### Kurzzeitprüfungen von Lackierungen im Automobilinnenbereich (Prüfungen orientieren sich an der TL 226:2006-04 und der DBL 7384:2009-04)

<b>Eigenschaft/Prüfung</b>	<b>Prüfstandard</b>	<b>Beschreibung / Bemerkung</b>	
Probenkonditionierung	DBL 7384 / Pkt. 9.1.1 TL 226 / Pkt. 3.5	Lagerung für 48 h bei 60 °C	
Gitterschnittprüfung oder Andreaskreuz	TL 226 Pkt. 3.7.1 DIN EN ISO 2409	inkl. Klebebandabriss	
Kratzprobe mit Messer	DBL 7399, Teil 2, Abschnitt 5.1	Schälprüfung	
Kratzbeständigkeit	TL 226 / Pkt. 3.8	Erichsenprüfung bei 5 N und 10 N	
Kratzbeständigkeit	DBL 7384 / Pkt. 9.1.10	Schmissbeständigkeit bei 4 N und 10 N	
Hydrolyselagerung	DBL 7384 / Pkt. 9.1.18 TL 226 / Pkt. 3.12.1 (TL 226 fordert 72 h)	120 h bei $\geq 96$ % rel. Feuchte in einem Exsikkator inkl. Auswertung mittels Gitterschnitt, Erichsenprüfung und Kratzprüfung mit Messer	
Reibechtheit mittels Crockmeter	TL 226 / 3.12.3.2	100 Hübe trocken 100 Hübe feucht Als Reibpartner dient Baumwollgewebe	
Abriebsverhalten mittels Crockmeter und Medien	TL 226 / Pkt. 3.13.3	10 Hübe mit einem Baumwolltuch getränkt in: - Spülmittellösung - Scheibenreiniger - Waschbenzin - Spiritus - Synthetischer Schweiß A - Synthetischer Schweiß B	
Cremebeständigkeit	TL 226 / Pkt. 3.14 PV 3964	Prüfung erfolgt mit 2 Testflüssigkeiten der Firma Thierry inkl. Auswertung mittels Gitterschnitt, Erichsenprüfung und Kratzprüfung mit Messer	

## Anlage 2

### Optionale / Erweiterte Prüfungen

Eigenschaft/Prüfung	Prüfstandard	Beschreibung / Bemerkung	
Klimawechseltest	PV 1200	8 Zyklen (4 Tage) $T_{\min}$ : -40 °C / $T_{\max}$ : 80 °C	
Kondenswasser- Konstantklima	TL 226 / Pkt. 3.11.1 DIN EN ISO 6270-2	10 Tage Lagerung bei 40 °C / ~100 % rel. Feuchte (mit Tropfenbildung)  inkl. Auswertung mittels Gitterschnitt, Ericksenprüfung und Kratzprüfung mit Messer	
Tropfentest	TL 226 / Pkt. 3.13.1 DBL 7384 / Pkt. 9.1.9	Folgende Medien werden verwendet: - Spülmittellösung - Scheibenreiniger - Waschbenzin - Spiritus - Synthetischer Schweiß A - Synthetischer Schweiß B - Coca-Cola - Orangen-Saft - Nivea-Sun LF 15 - Nivea Creme - Sonnenmilch-Testgemisch	
Heißwassertest	DBL 7384 / Pkt. 9.1.7	Die Probe wird vollständig 2 h in $70 \pm 3$ °C warmem, bewegtem VE-Wasser gelagert. Die Beurteilung erfolgt nach 1 h und nach 24 h nach Entnahme aus dem Wasser. inkl. Auswertung mittels Gitterschnitt, Ericksenprüfung und Kratzprüfung mit Messer	

## Vorversuche mit fertigen Produkten und Bindemitteln

Probenbezeichnung	Probenzusammensetzung* Bindemittel + Isoparaffin (1:1)	visuelle Prüfung flüssig	Trocknung	Pendel- Härte*** nach 24 h	Pendel- Härte nach 7 Tagen	Kratzfestigkeit nach 7 Tagen Ericksen-Tiefe	visuelle Prüfung Film	Wasser- festigkeit*****
Möbellack Reincke	Leinöl/Holzöl/Malinatharzester	klar	3-4 h	25	48	0,8 - 1,0 N****	klar, homogen, ohne Störungen	3
Klarlack Reincke	Sojaöl/Holzöl/Malinatharzester	klar	6-7 h	23	44	1,0 - 1,2 N	klar, homogen, ohne Störungen	2
Hartwachsöl Reincke	Holzöl/Rizinenöl/Malinatharzester/ mineralische Additive, Mikrowachs	trüb	5-6 h	32	62	1,4 - 1,6 N	trüb-matt, homogen, ohne Störungen	2
Universal Hartöl Reincke	Leinöl/Holzöl/Rizinenöl/ Malinatharzester/Urethanöl/ mineralische Additive/Mikrowachs	trüb	5-6 h	34	60	1,2 - 1,4 N	trüb-matt, homogen, ohne Störungen	2
Bootslack	Leinölalkyd	klar		35	57	1,5 - 2,0 N		
BM 9002	Holzöl/Rizinenöl/Malinatharzester	klar	2-3 h	30	55	1,2 - 1,4 N	klar, homogen, leichte Stibben	2
BM LE 160	Leinöl/Maleinharzester	klar	4-5 h	22	31	0,5 - 0,7 N	klar, homogen, ohne Störungen	3
BM SE 160	Safloröl/Maleinatharzester	klar	7-8 h	18	27	0,3 - 0,5 N	klar, homogen, ohne Störungen	3
BM VP 5672	Ricinenöl/Maleinatharzester	klar	7-8 h	17	28	0,3 - 0,5 N	klar, Schlieren, leichte Störungen	4
BM 4030	Ricinenöl/Holzöl-Standöl	klar	5-6 h	38	79	2,0 - 2,5 N	leicht gekräuselt, ohne Störungen	2
BM 75 (Neuentwicklung)	Leinöl/Holzöl/Malinatharzester	klar	3-4 h	30	58	1,5 - 2,0 N	klar, homogen, ohne Störungen	1 - 2
BM-Blend 1	BM 9002/Maleinatharzester (9:1)	klar	4-5 h	33	61	1,2 - 1,4 N	klar, homogen, leichte Stibben	2
BM-Blend 2	BM 9002/Pentaharzester** (9:1)	klar	2-3 h	31	54	1,2 - 1,4 N	klar, homogen, leichte Stibben	2
BM-Blend 3	BM 9002/BM 75 (5:5)	klar	4-5 h	28	52	1,5 - 2,0 N	klar, homogen, leichte Stibben	1 - 2
BM-Blend 4	BM 9002/BM 75/Maleinatharzester (6:3:1)	klar	5-7 h	32	61	1,5 - 2,0 N	klar, homogen, leichte Stibben	1 - 2
BM-Blend 5	BM 9002/BM LE160 (5:5)	klar	5-7 h	24	32	1,0 - 1,2 N	klar, homogen, leichte Stibben	3
BM-Blend 6	BM 9002/BM LE160/Pentaharzester (4:4:2)	klar	6-7 h	26	34	1,2 - 1,4 N	klar, homogen, leichte Stibben	3
BM-Blend 7	BM 9002/BM SE 160 (5:5)	leicht trüb	7-9 h	22	29	1,0 - 1,5 N	trüb-matt, Schlieren, viele Störungen	3
BM-Blend 8	BM 9002/BM 4030 (6:4)	klar	5-6 h	33	66	1,5 - 2,0 N	klar, homogen, ohne Störungen	2
BM-Blend 9	BM 9002/BM 4030/Maleinatharzester (6:3:1)	klar	5-6 h	33	68	2,0 - 2,5 N	klar, homogen, ohne Störungen	2
BM-Blend 10	BM 4030/BM 75 (5:5)	klar	4-5 h	35	68	2,0 - 2,5 N	klar, homogen, ohne Störungen	1 - 2
BM-Blend 11	BM 4030/BM 75/Maleinatharzester (2:6:2)	klar	4-5 h	37	73	2,5 - 3,0 N	klar, homogen, ohne Störungen	1
BM-Blend 12	BM 4030/BM 75/Pentaharzester (2:6:2)	klar	3-4 h	36	69	2,5 - 3,0 N	klar, homogen, ohne Störungen	1
BM-Blend 13	BM 4030/BM LE160 (5:5)	klar	6-7 h	29	34	1,6 - 1,8 N	klar, homogen, ohne Störungen	1 - 2
BM-Blend 14	BM 75/BM LE 160 (5:5)	klar	4-5 h	28	36	1,5 - 2,0 N	klar, homogen, ohne Störungen	1 - 2
Schellack	Schellack-Lösung in Ethanol 30%ig	klar	< 1 h	27	29	1,5 - 1,8 N	klar, homogen, ohne Störungen	2 - 3
VK 531	Urethanisiertes Sonnenblumenöl (100%)	klar	2-3 h	19	36	1,2 - 1,4 N	klar, homogen, ohne Störungen	1 - 2

\* Für die Fertigprodukte wurden teilweise die reinen Öle und/oder deren Standöle eingesetzt

\*\* Kollophonium mit Pentaerithryl verestert

\*\*\* Pendelhärte nach König, angegeben ist die Anzahl der Schwingungszyklen, nicht die Schwingungsdauer

\*\*\*\* Kraftaufwand für erste deutlich sichtbare Spur

\*\*\*\*\* visuelle Einschätzung

## Anlage 4

### Verdünnungsreihen mit Lactatestern

Bindemittel	Ethyllactat	n-Propyllactat	n-Butyllactat	Ethylhexyllactat
Leinöl, 50%ig	klar	klar	klar	klar
Holzöl-Standöl 10P*, 50%ig	trüb	klar	klar	klar
Safloröl, 50%ig	klar	klar	klar	klar
Leinöl/Holzöl-Standöl 90P*, (8:2), 50%ig	trüb	klar	klar	klar (Rühren)
Holzöl-Standöl 90P, 50%ig	trüb	klar	klar	klar (Rühren)
Holzöl/Ricinenöl-Standöl 90P, 50%ig	trüb	klar	klar	trüb (Temp)
BM 9002, 60%ig	trüb	klar	klar	klar (Rühren)
BM 9002, 30%ig	trüb	klar	klar	klar (Rühren)
BM 9002, 10%ig	2 Phasen	trüb (Temp)** rev***	trüb (Temp) rev	2 Phasen
BM 4030, 60%ig	trüb	klar	klar	klar (Rühren)
BM 4030, 30%ig	trüb	klar	klar	trüb (Temp)
BM 4030, 10%ig	trüb	klar (Temp)	klar (Temp)	trüb (Temp) rev
BM 75, 60%ig	trüb	trüb (Temp)	klar (Rühren)	trüb (Temp) rev
BM 75, 30%ig	2 Phasen	trüb (Temp) rev	trüb	2 Phasen
BM 75, 10%ig	2 Phasen	trüb	trüb	Flockung
Leinöl/Maleinatharzester (9:1), 60%ig	klar	klar	klar	klar
Leinöl/Maleinatharzester (8:2), 60%ig	klar	klar	klar	klar (Rühren)
Leinöl/Maleinatharzester (7:3), 60%ig	trüb	trüb (Temp) rev	trüb (Temp) rev	trüb (Temp)
Leinöl/Maleinatharzester (5:5), 60%ig	Flockung	Flockung	trüb	trüb
Leinöl/Maleinatharzester (6:4), 60%ig	Flockung	Flockung	Flockung	Flockung
Leinöl/Maleinatharzester (9:1), 30%ig	trüb	trüb (Temp)	trüb (Temp)	klar
Leinöl/Maleinatharzester (8:2), 30%ig	trüb	trüb (Temp) rev	trüb (Temp) rev	trüb (Temp)
Leinöl/Maleinatharzester (7:3), 30%ig	Flockung	trüb	Flockung	Flockung
Leinöl/Maleinatharzester (5:5), 30%ig	Flockung	Flockung	Flockung	Flockung
Leinöl/Maleinatharzester (6:4), 30%ig	Flockung	Flockung	Flockung	Flockung

\* Standöl bis zu einer Viskosität von 10 Poise verkocht

\*\* (Temp) bedeutet, dass die Trübung beim Erwärmen auf 40°C verschwindet

\*\*\* rev. Bedeutet das die Aufklärung beim Erhitzen während des Abkühlens wieder verschwindet

**Eigenschaftsmatrix/Prüfprotokoll**

**Prüfnummer:** Hartöl Universal

**Datum:** 23.05.2012

**Lackbasis:** Holzöl/Ricinenöl/Maleinatharzester, Holzöl-Ricinenöl-Standöl, Lösemittel D60, Standard Additive

**Trocknung:** 5-6 h      **Viskosität:** 65-68 Sek, 4 mm      **Festkörper:** 51,50%      **Glanzgrad:**  
**auf Glas** 45-50

**Dichte:** 0,91      **Durchtrocknung:** nach 5-6 h Offenzeit erfolgt sehr abruptes Anziehen und eine Durchtrocknung innerhalb weniger Minuten

**Ablaufverhalten:** sehr homogen, ohne Brucherscheinungen

**Oberfläche:** seidenmatt, hartelastisch, sehr kratzfest      **Pendelhärte:**  
**auf Glas** 60 - 65

**Fingernageltest:** kratzfest und spurfest nach 72h

	PC/ABS T65 unfluoriert	PC/ABS T65 fluoriert	ABS GP 35 unfluoriert	ABS GP35 fluoriert	PV 6930 unfluoriert	PV 6930 fluoriert	Sorona 3301 unfluoriert	Sorona 3301 fluoriert	Weralit 50 unfluoriert	Weralit 50 fluoriert	Weralit 30 unfluoriert	Weralit 30 fluoriert
<b>Kreuzschnitt:</b>	1	0-1	1	0-1	0	0	1-2	1	2-3	2	2-3	2-3
<b>Schnittbild:</b>	leicht brüchig	zerfranst	zerfranst	zerfranst	zerfranst							
<b>Buchholzhärte: 24h/48h</b>	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/70	40/50	40/50	50/60	50/60	50/60	50/60
<b>Erichsentiefe 48h</b>	1,2 N	1,2 N	1,4 N	1,4 N	1,4 N	1,4 N	1,2 N	1,4 N	1,2 N	1,2 N	1,2 N	1,2 N
<b>Lackbild:</b>	homogen ohne Stibben	homogen leichte Stibben	homogen leichte Stibben	homogen leichte Stibben	homogen leichte Stibben							
<b>Farbe:</b>	farblos matt	farblos matt	farblos matt	farblos matt	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	farblos matt	farblos matt	farblos matt	farblos matt
<b>Deckkraft:</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Prüfer:** Ulrich Kluß

**Unterschrift:**

**Eigenschaftsmatrix/Prüfprotokoll Biolack**

**Prüfnummer:** KL 327-11

**Datum:** 18.11.2012

**Lackbasis:** Leinöl, Holzöl, Rizinenöl, Sojaöl, Kolophoniumharzester

**Trocknung:** 3-4 h                      **Viskosität:** 74-76 Sek, 8 dpas                      **Festkörper:** 71,59%                      **Glanzgrad:**  
**auf Glas** 104

**Dichte:** 0,945                      **Durchtrocknung:** nach 3-4 h Offenzeit erfolgt sehr abruptes Anziehen und eine Durchtrocknung innerhalb weniger Minuten

**Ablaufverhalten:** klarer Film mit sehr geringer Stibben-Belegung (Notwendigkeit der Filterung gegeben, 25µm-Filter)

**Oberfläche:** glänzend, hartelastisch, kratzfest                      **Pendelhärte:**  
**auf Glas** 80-85

**Fingernageltest:** kratzfest und spurfest nach 48h

	PC/ABS T65 unfluoriert	PC/ABS T65 fluoriert	ABS GP 35 unfluoriert	ABS GP35 fluoriert	PV 6930 unfluoriert	PV 6930 fluoriert	Sorona 3301 unfluoriert	Sorona 3301 fluoriert	Werzalit 50 unfluoriert	Werzalit 50 fluoriert	Werzalit 30 unfluoriert	Werzalit 30 fluoriert
<b>Kreuzschnitt:</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	1-2	0-1	1-2	0
<b>Schnittbild:</b>	glatt	glatt	glatt	glatt	leicht brüchig	glatt	leicht brüchig	glatt	leicht zerfranst	leicht brüchig	leicht zerfranst	leicht brüchig
<b>Buchholzhärte: 24h/48h</b>	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70	50/70	50/60	50/60	50/75	50/75	50/75	50/75
<b>Erichsentiefe 48h</b>	1,5 N	1,5 N	1,6 N	1,6 N	1,7 N	1,7 N	1,6 N	1,5 N	1,3 N	1,3 N	1,3 N	1,3 N
<b>Lackbild:</b>	homogen leichte Stibben											
<b>Farbe:</b>	farblos	farblos	farblos	farblos	leicht gelblich	leicht gelblich	leicht gelblich	leicht gelblich	farblos	farblos	farblos	farblos
<b>Deckkraft:</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Prüfer:** Ulrich Kluß

**Unterschrift:**



## Prüfbericht alternative Bindemittel

## Anlage 8

Formulierung: Anreibung mit Bentone 38, ZnO und 40% D60  
 Substrat: Werzalit 30% (WPC)  
 Applikation: Rakelaufzug 50µm,  
 Filmlager bei Untersuchung: 72 h

		Trocknung standart	Trocknung forciert 50°C	Gitterschnitt mit Abriss	Ericksen-Tiefe*	Pendelhärte n. König	Wassertest**
Langölkalkydharz auf Basis trocknender Fettsäuren		5-6 h	2-3 h	1-2	0,8 - 1,0 N	34	++
Urethanisiertes Langölkalkydharz auf Basis Leinöl		3-4 h	3-4 h	2-3	1,2 - 1,4 N	36	++++***
Langölkalkydharz auf Basis von Sojaölfettsäuren		7-8 h	5-6 h	1-2	0,8 - 1,0 N	24	+
Urethanisiertes Sonnenblumenöl		2-3 h	1-2 h	1-2	0,8 - 1,0 N	29	++
BM-Mischung 1 Urethanisiertes Langölkalkydharz mit BM 4030 (5:5)		3-4 h	3-4 h	2-3	1,6 - 1,8 N	58	+++
BM-Mischung 2 Soja-Alkydharz mit BM 4030 (5:5)		5-6 h	4-5 h	2	1,0 - 1,2 N	42	++
BM-Mischung 3 Urethanisiertes Sonnenblumenöl mit BM 4030 (5:5)		3-4 h	1-2 h	2	1,2 - 1,4 N	41	+++

\* Kraftaufwand bei dem eine erste Spur sichtbar ist

\*\* destilliertes Wasser, visuelle Begutachtung

\*\*\* keine Spuren nach mehrfacher Auffrischung des Tropfens

# Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe

**TSB-Projektnummer:245205**

**Datum: 23.04.2014**

**Auftraggeber: Reincke Naturfarben GmbH**  
Rudolf-Diesel Str. 4  
21614 Buxtehude

**Wissenschaftliche Begleitung:**  
Transferstelle Bingen (TSB)  
Berlinstraße 107a  
55411 Bingen

**Projektleitung:**  
Dipl.-Ing. Joachim Walter  
Prof. Dr. Oliver Türk

**Bearbeitung:**  
Franziska Beringer, M.Sc.

# Vorstudie zur ökobilanziellen Betrachtung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Auftraggeber: Reincke Naturfarben GmbH

Frau Ulla Eggers Rudolf-Diesel Str. 4 21614 Buxtehude	04161 / 8754 ulla.eggerts@t-online.de <a href="http://leinos.de/">http://leinos.de/</a>
---	---

Wissenschaftliche Begleitung:

Transferstelle Bingen (TSB) Berlinstraße 107a 55411 Bingen	06721 / 98 424 0 info@tsb-energie.de <a href="http://www.tsb-energie.de">www.tsb-energie.de</a>
--	---

<b>TSB-Projektnummer: 245205</b>	<b>Datum: 23.04.2014</b>
----------------------------------	--------------------------

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Joachim Walter	06721 / 98 424 250 walter@tsb-energie.de
Prof. Dr. Oliver Türk	0173 / 3045997 tuerk@tsb-energie.de

Bearbeitung:

Franziska Beringer, M.Sc.	06721 / 98 424 225 beringer@tsb-energie.de
---------------------------	---



Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung • Berlinstr. 107a • 55411 Bingen  
im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Legende der Stoffstromnetze .....</b>	<b>V</b>
<b>1. Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele und Untersuchungsmethode.....	1
1.2 Datenerhebung und Auswertung .....	1
1.3 Ergebnisse.....	1
<b>2. Einführung .....</b>	<b>2</b>
2.1 Hintergrund und Problemstellung .....	2
2.2 Zielstellungen des Projektes .....	2
2.3 Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes .....	3
2.4 Beschreibung der Methode der Ökobilanzierung.....	3
<b>3. Ziel und Untersuchungsrahmen .....</b>	<b>4</b>
3.1 Ziel der Bilanz .....	4
3.1.1 Funktion und funktionelle Einheit.....	4
3.2 Systemgrenzen .....	4
3.3 Hilfsmittel und Konventionen.....	4
3.3.1 Abschneidekriterien .....	4
3.3.2 Annahmen.....	5
3.3.3 Allokationsverfahren.....	6
3.3.4 Gutschriften.....	6
3.3.5 EDV-Programme zur Unterstützung der Datenaufbereitung.....	6
<b>4. Sachbilanz .....</b>	<b>7</b>
4.1 Allgemeine Vorketten .....	7
4.1.1 Strombereitstellung .....	7
4.1.2 Transportprozesse.....	7
4.1.3 Primär und Sekundärenergieträger .....	8
4.2 Landwirtschaftliche Vorketten .....	8
4.2.1 Anbau und Bearbeitung .....	8
4.3 Herstellung des Lacksystems.....	8
4.4 Datenaufnahme .....	9
4.4.1 Prozessübersicht.....	9
<b>5. Wirkungsabschätzung.....</b>	<b>12</b>
5.1 Menschliche Gesundheit .....	14
5.2 Ökosystem Qualität .....	15
5.3 Klimawandel .....	16
5.4 Ressourcen.....	17
<b>6. Auswertung.....</b>	<b>18</b>

6.1	Einschränkungen.....	18
6.2	Signifikante Parameter .....	18
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>23</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VIII</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>IX</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 Zusammensetzung Deutscher Strommix .....	7
Abbildung 5-1 Ergebnisse der Wirkungskategorien für „Öllack für Holzparkett“ .....	13
Abbildung 5-2 Ergebnisse der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit.....	14
Abbildung 5-3 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität .....	15
Abbildung 5-4 Ergebnis der Wirkungskategorie Klimawandel .....	16
Abbildung 5-5 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen.....	17
Abbildung 6-1 Ergebnisse Humantoxizität .....	19
Abbildung 6-2 Ergebnisse Radioaktive Strahlung .....	19
Abbildung 6-3 Ergebnisse Landwirtschaftliche Fläche .....	20
Abbildung 6-4 Ergebnisse Stadtfläche .....	20
Abbildung 6-5 Ergebnisse Klimawandel.....	21
Abbildung 6-6 Ergebnisse Nicht-regenerative Energie .....	22
Abbildung 6-7 Ergebnisse Ressourcenverbrauch .....	22

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Wirkungskategorien.....	3
Tabelle 3-1 Betrachtete Stoffströme .....	5
Tabelle 3-2 Annahmen .....	5
Tabelle 4-1 Verwendete Transportstrecken .....	8
Tabelle 4-2 T1 - Produktion Leinöl.....	9
Tabelle 4-3 T2 - Herstellung BM75 .....	9
Tabelle 4-4 T3 - Herstellung BM4030.....	9
Tabelle 4-5 T4 - Herstellung SD6403 .....	10
Tabelle 4-6 T5 - Herstellung Isoparaffin D40.....	10
Tabelle 4-7 T6 und Subnetz T1 - Herstellung Permalyn 6610.....	10
Tabelle 4-8 T7 - Dissolver.....	10
Tabelle 4-9 T8 - Perlmühle .....	11
Tabelle 5-1 Ergebnisse .....	12
Tabelle 5-2 Ergebnisse der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit.....	14
Tabelle 5-3 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität .....	16
Tabelle 5-4 Ergebnis der Kategorie Klimawandel .....	16
Tabelle 5-5 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen.....	17

## Legende der Stoffstromnetze



T1

### Transitionen

Sind durch Prozesse und Materialien charakterisiert, die an dieser Stelle im Prozess umgewandelt oder transportiert werden (Abkürzung T)



P1

### Input-Stellen

Markieren die dem System zugeführten Energie- oder Materialströme



P2

### Output-Stellen

Leiten Abfälle, Emissionen und Produkte aus dem System aus



P3

### Connection

Leiten die Energie- und Materialströme direkt an die nächste Transition weiter und grenzen zwei aufeinander folgende Prozesse gegeneinander ab

## **1. Zusammenfassung**

### **1.1 Ziele und Untersuchungsmethode**

In einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt „Entwicklung eines Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von BIO-Kunststoffen“ erprobte die Reincke Naturfarben GmbH in Zusammenarbeit mit dem Kunststoff Institut Lüdenscheid den Einsatz eines Lacksystems zur Beschichtung auf BIO-Kunststoffen.

Ziel der Studie ist es, ein Lacksystem auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf seine Umweltwirkungen hin zu untersuchen. Ursprünglich sollte als Referenzsystem eine konventionelle Beschichtung dienen, deren Umweltwirkungen aufgrund der Datenlage jedoch nicht analysiert wurden.

Die hier durchgeführte Studie orientiert sich an den normativen Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044. Hierbei wurden, je nach Möglichkeit, stets die Vorketten der einzelnen Prozesse in die Systemgrenzen aufgenommen.

Als funktionelle Einheit wurde die Herstellung einer Tonne des verarbeitungsfähigen Lacksystems definiert. Als Systemgrenze wurde der Ansatz Cradle to Gate gewählt; somit bilden die Werkstore der Reincke Naturfarben GmbH die Grenze der Betrachtung.

### **1.2 Datenerhebung und Auswertung**

Gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 14040/14044 wurden für die Bilanzierung vorrangig Primärdaten aus den Prozessen des Herstellers erhoben. Wo dies nicht möglich war, wurde auf Daten aus gängiger Literatur oder eigener Berechnung zurückgegriffen. Daten, wie die Bereitstellung von elektrischem Strom, die vom Produktionsstandort unabhängig sind, werden innerhalb dieser Studie durch Durchschnittswerte beschrieben.

Die Wirkungsabschätzung wurde mit Hilfe der Bilanzierungssoftware Umberto NXT LCA der Ifu Hamburg GmbH mittels des Charakterisierungsmodells „ReCiPe Midpoint (H) w/o LT“ durchgeführt.

### **1.3 Ergebnisse**

Die durchgeführte Ökobilanz weist nur wenige signifikante Parameter auf. Diese finden sich in den Wirkungskategorien Menschliche Gesundheit, Ökosystem Qualität, Klimawandel und Ressourcen. Diese Kategorien werden maßgeblich durch die Herstellung des Permalyn der Firma Eastman, des Alkydharzes (Fa. Worlée), des Paraffins (Möller Chemie), der verwendeten Pflanzenöle und der mit der Beschaffung der Rohmaterialien verbundenen Transportprozesse beeinflusst. Die genannten signifikanten Parameter können nur im beschränkten Maß von der Fa. Reincke Naturfarben GmbH beeinflusst werden, da sie außerhalb der Produktionsstätte der Firma hergestellt werden. Dennoch besitzt Reincke gemäß dem ganzheitlichen Ansatz der Ökobilanzierung nicht nur die Verantwortung innerhalb der eigenen Produktionsstätte, sondern immer auch für die Wahl seiner Zulieferer. Hier stellt sich die Frage, ob ein Lieferantenwechsel, nach Möglichkeit auch mit geringerer Transportentfernung, zur Verbesserung der Nachhaltigkeit des betrachteten Produktes beitragen kann. Hierfür könnte die Fa. Reincke interne Vergabekriterien festsetzen.

## 2. Einführung

### 2.1 Hintergrund und Problemstellung

Lacke bilden auf Oberflächen eine wasser- und luftundurchlässige Schutzschicht (Lackfilm) und dienen daher in erster Linie dem Schutz von Oberflächen. Sie werden aber auch aus optischen und ästhetischen Gründen verwendet [1]. Lacke werden in Klar- und Decklacke unterteilt. Bei Naturlacken kann weiterhin zwischen Schellack, Naturharz-Klarlack und Naturharz-Decklack unterschieden werden.

Der wichtigste Bestandteil der Naturharz-Lacke sind die Harze. Diese oxidieren in Verbindung mit Sauerstoff und härten so den Lack [2]. Sowohl konventionelle als auch Naturlacken bestehen aus den Hauptbestandteilen:

- Bindemittel,
- Pigmente,
- Füllstoffe,
- Hilfs- und Wirkstoffe und
- Lösungsmittel

Bei Naturlacken werden überwiegend nachwachsende Rohstoffe eingesetzt [3]. Obwohl Lacke in ihrer ursprünglichen Form rein natürlich hergestellt wurden, konnten sich synthetische Harze aufgrund ihrer zahlreichen technischen Vorteile durchsetzen.

Auf Grund des Klimawandels, der daraus resultierenden Klimaschutzmaßnahmen und der Änderung von Rohstoffverfügbarkeiten, erlangen Naturlacke erneutes Interesse. Die wichtigsten Vorteile nachwachsender Rohstoffe sind deren „CO<sub>2</sub>-Neutralität“ und die Möglichkeit, sie in fast allen Ländern der Welt produzieren zu können [4].

Die Hersteller von Naturlacken sind sich weitgehend einig, dass die Komponenten Pigmente, Bindemittel und Additive aus natürlichen Rohstoffen bestehen müssen.

Im Bereich der Lösungsmittel herrscht jedoch Uneinigkeit: während einige Hersteller hier auch auf Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe setzen, verlassen sich andere Hersteller auf herkömmliche (petrochemische) Produkte. Mit einem Anteil von knapp 40 % gehören Lösungsmittel zum Hauptbestandteil der Lacke und sollen dementsprechend umweltverträglicher produziert werden. Als Produkt biogenen Ursprungs bieten natürliche Lösungsmittel den Vorteil, dass sie den natürlichen Treibhauseffekt nicht verstärken: frei werdende Treibhausgase, die aus der Natur entnommen wurden, werden am Ende des Produktlebens dem natürlichen Kreislauf wieder zugeführt. Weitere Vorteile biogener Lacke liegen im relativ geringen Energieaufwand und dem niedrigen Verbrauch von Kohlendioxid der Herstellung sowie dem geringeren Aufkommen an chemischem Müll [3].

### 2.2 Zielstellungen des Projektes

Ziel des Projektes ist die Bilanzierung der Umweltwirkungen für einen „Öllack für Holzparkett“ der Marke Leinos. Die Umweltwirkungen des Produktes wurden in den folgenden Schadenskategorien untersucht. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 2-1 Wirkungskategorien**

Wirkungskategorie	Einheit	Wirkungskategorie	Einheit
Agricultural Land Occupation	m <sup>2</sup> a	Metal Depletion	kg Fe-Eq
Climate Change	kgCO <sub>2</sub> -Eq	Natural Land Transformation	m <sup>2</sup>
Fossil Depletion	kg-Oil-Eq	Ozone Depletion	kg CFC-11-Eq
Freshwater Ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	Particulate Matter Formation	kg PM10-Eq
Freshwater Eutrophication	kg P-Eq	Photochemical Oxidant Formation	kg NMVOC
Human Toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	Terrestrial Acidification	kg SO <sub>2</sub> -Eq
Ionizing Radiation	kg U235-Eq	Terrestrial Ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq
Marine Ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	Urban Land Occupation	m <sup>2</sup> a
Marine Eutrophication	kg N-Eq	Water Depletion	m <sup>3</sup>

Quelle: [5]

## 2.3 Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes

Untersuchungsgegenstand ist das Verfahren zur Herstellung des Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe sowie der vorgelagerten Prozesse (Upstream) zur Beschaffung der Rohmaterialien. Vereinfachend werden nicht alle Inhaltsstoffe des Lacksystems in den Bilanzierungsrahmen aufgenommen.

## 2.4 Beschreibung der Methode der Ökobilanzierung

Eine Ökobilanz, oder auch Life Cycle Assessment (LCA), ist ein Analyseinstrument, mit dessen Hilfe der gesamte Lebenszyklus eines Systems und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen erfasst und so eine Aussage zur Umweltverträglichkeit, bzw. der Nachhaltigkeit des untersuchten Systems getroffen werden kann. Weiter findet eine Bewertung aller In- und Outputs, in Form von Stoff- und Energieströmen sowie der daraus resultierenden Umweltbelastungen statt. Die ökologischen Auswirkungen werden in Wirkungskategorien unterteilt, die je nach Ziel der Studie gewählt werden können [6]. Es ist möglich, Produkte aber auch einzelne Prozesse, Dienstleistungen oder vollständige Produktionsstandorte zu bilanzieren [7].

Bei der vorliegenden Ökobilanzierung handelt es sich um eine sogenannte „Screening LCA“, die nur die relevanten Inhaltsstoffe des Produktes berücksichtigt und demnach auch lediglich die Umweltwirkungen der ausgewählten Eingangsstoffe bilanziert. Die vollständige Betrachtung kann in einem Folgeprojekt durchgeführt werden. Weiter handelt es sich hierbei um einen „Cradle to Gate“-Ansatz, der ausschließlich die Prozessketten der Produktion der Fa. Reincke sowie die vorgelagerten Prozesse betrachtet (von der Wiege bis zum Werkstor). Eine vollständige Ökobilanz favorisiert, das betrachtete System vollständig über dessen Lebensweg nach dem Ansatz „Cradle to Grave“ (von der Wiege bis zur Bahre) zu bilanzieren.

Die Durchführung der vorliegenden Studie orientiert sich an den normativen Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und 14044. Betrachtet wurden die Hauptbestandteile der Ökobilanz

- Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung und
- Auswertung

## **3. Ziel und Untersuchungsrahmen**

### **3.1 Ziel der Bilanz**

Ziel der Studie ist die Erfassung der Umweltwirkungen, die aus den Vorketten und der Herstellung des Lacksystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe resultieren.

#### **3.1.1 Funktion und funktionelle Einheit**

Gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 14040 und 14044 muss die Funktion oder der Nutzen des untersuchten Produktsystems eindeutig beschrieben werden. Mit der Festlegung der funktionellen Einheit wird eine Größe etabliert, auf die alle In- und Output Daten normiert werden. Hierdurch wird die Vergleichbarkeit verschiedener Systeme ermöglicht [8].

Als Funktion wurde die Herstellung des untersuchten Produktsystems betrachtet. Als funktionelle Einheit dient eine Tonne des verarbeitungsfähigen Lacksystems.

### **3.2 Systemgrenzen**

Als Funktion wurde die Herstellung der untersuchten Produktsysteme festgelegt. Daher werden alle Prozesse betrachtet, die mit der Produktion des Lacksystems verknüpft sind.

Ausgehend vom Verfahren des Produktsystems wurden zudem die Vorketten der Prozesse wie Rohstoff- und Energiebereitstellung in die Systemgrenzen der Bilanz aufgenommen. Die Umwelt dient hierbei sowohl als Quelle (z.B. Entnahme von Kohle aus der Lagerstätte) als auch als Senke (z.B. Emissionen in die Atmosphäre). Die Studie wird gemäß dem Ansatz Cradle to Gate („Von der Wiege bis zum Werkstor“) erstellt. Eine Erweiterung der Systemgrenzen auf den Ansatz Cradle to Grave („Von der Wiege bis zur Bahre“) ist innerhalb einer Folgestudie machbar. Der Bilanzraum kann dem Prozessschaubild im Anhang I entnommen werden (Erstellung mittels [5]).

### **3.3 Hilfsmittel und Konventionen**

#### **3.3.1 Abschneidekriterien**

Nach den Vorgaben der zugrundeliegenden Normen ist es möglich, innerhalb einer Ökobilanz Stoff- und Energieströme, die als nicht relevant eingestuft werden, zu vernachlässigen. Hierzu werden bei der Definition der Systemgrenzen sogenannte Abschneidekriterien (Einschränkungen) formuliert. So ist es möglich, Stoff- und Energieströme, deren Massenanteil am Gesamtsystem weniger als 1% beträgt, aus dem Bilanzierungsvorgang auszuschließen [8]. Innerhalb der vorliegenden Studie wurden, ungeachtet der 1%-Regel, Stoffströme abgeschnitten, die mehr als 1% Massenanteil am Gesamtsystem besitzen. Begründet ist dies im beschränkten Zeitrahmen der Studie. Die folgende Tabelle zeigt, welche Stoffströme in die Bilanzierung aufgenommen und welche vernachlässigt wurden:

**Tabelle 3-1 Betrachtete Stoffströme**

Kürzel	Hersteller	Anteil am System	Bez. auf Fertigungsansatz 1.000 kg
<b>BM 75</b>	<b>biopin</b>	<b>20,00%</b>	<b>255</b>
<b>BM 4030</b>	<b>Weseroil</b>	<b>10,00%</b>	<b>127</b>
<b>Worléekyd SD 6403</b>	<b>Worlée</b>	<b>18,00%</b>	<b>229</b>
<b>Permalyn™ 6110</b>	<b>Eastman</b>	<b>7,50%</b>	<b>96</b>
<b>Isoparaffin D40</b>	<b>Möller Chemie</b>	<b>23,00%</b>	<b>293</b>
ADDID 2000	Evonik	5,00%	<b>In Bilanzierung vernachlässigt</b>
Bentone 38	Elementis	0,60%	
Ethanol 99%	BCD	0,60%	
Bayoxide z-activ	OMG Borchers	3,00%	
Ceridust 9615 A	Clariant	3,00%	
Speriglas 7010 CP00	Potters	5,00%	
BYK 333	BYK	0,40%	
TEGO Airex 936	Evonik	0,70%	
TEGO TWIN 4100	Evonik	0,60%	
ECOS ND 15	Umicore	0,80%	
Octasoligen Zirkonium 18 HS	OMG Borchers	1,20%	
Octasoligen Calcium 10 HS basisch	OMG Borchers	0,60%	
<b>Gesamt Summe</b>		<b>100,00%</b>	
<b>Teilsomme relevante Zutaten</b>		<b>78,50%</b>	

### 3.3.2 Annahmen

Innerhalb der vorliegenden Bilanzierung konnten aus Gründen der limitierten Datenbasis oder dem begrenzten Zeitrahmen nicht alle Daten als Primärdatensätze vorlegt werden. Neben der Verwendung von Datensätzen aus Sekundärliteratur wurden Annahmen getroffen, die der nachfolgenden Tabelle entnommen werden können:

**Tabelle 3-2 Annahmen**

Landwirtschaftlicher Anbau	Die Bodenqualität wird durch die Bearbeitung des Bodens und den Pflanzenanbau nicht beeinträchtigt.	TSB
Zusammensetzung Rohstoffe	Öl Anteil 80% Harzanteil 20%	[9]
	Es wurde angenommen, dass alle Energieeinsätze für die Herstellung der Rohmaterialien (BM4030, SD6403 und Isoparaffin D40) dem Energieeinsatz entsprechen, der für BM75 angegeben wurde <sup>1</sup> .	[10]
Transport	Die Transportstrecken wurden über die Kilometerangaben von Google Maps gemittelt	TSB
	Die Transportmenge wurde mit jeweils 4 Tonnen angenommen	DMS
	Als Transportmittel wurde pauschal der Lorry, 3,5 - 7,5 Tonnen gewählt.	TSB
Materialeinsätze	Die Materialeinsätze wurden aufgrund der Bearbeitungszeit und Datenlage vereinfacht dargestellt.	TSB
Abfallströme	Es wurde angenommen, dass während der Produktion keine Abfälle anfallen.	TSB

<sup>1</sup> Für die Produktion von 2.500 kg BM75 werden 75 Liter Heizöl verbraucht [10].

### 3.3.3 Allokationsverfahren

Bei Prozessen der Produktherstellung fallen unter Umständen Nebenprodukte (auch Kuppelprodukte genannt) an, die im weiteren Verlauf als Zwischenprodukte neu eingesetzt und auf die die umweltrelevanten Größen anteilmäßig verteilt werden<sup>2</sup>. Hier spricht man von einer Allokation der Stoff- und Energieströme. Abfälle sind keine Kuppelprodukte.

In der durchgeführten Studie wurden die Grundsätze zur Allokation aus den Vorgaben der DIN EN ISO 14040 beachtet. Die gesamte Prozessenergie wurde, gemäß dem Anteil des jeweiligen Produktes an der Gesamtproduktion, auf dieses verteilt. Dasselbe Verfahren wurde für Abfälle, Emissionen und den Anteil am Gesamtoutput des Prozesses angewandt.

### 3.3.4 Gutschriften

Gutschriften erfolgen in der Regel dann, wenn ein Kuppelprodukt aus dem Prozess für einen weiteren Prozess nutzbar gemacht und so der Einsatz von weiteren Ressourcen verhindert werden kann (z.B. Abwärmenutzung). Durch die Gutschrift kann die Umweltlast des eigentlichen Prozesses vermindert werden. Aufgrund des zeitlich begrenzten Rahmens der Studie erfolgten innerhalb der vorliegenden Studie keine Gutschriften.

### 3.3.5 EDV-Programme zur Unterstützung der Datenaufbereitung

In dieser Arbeit wird die Software Umberto NXT LCA verwendet. Die zugehörige Datenbank Ecoinvent® enthält rund 8.000 Datensätze in verschiedenen Bereichen wie beispielweise Agrarwirtschaft, Energieversorgung, Transport, Chemikalien und Abfallbehandlung. Die Datensätze basieren auf Erhebungen an weltweiten Industriestandorten. Die Software basiert auf der Methode der Stoffstromnetze. Innerhalb festgelegter Systemgrenzen werden hierbei ein- und ausgehende Stoff- und Energieflüsse graphisch verarbeitet, quantitativ bestimmt und schließlich rechnerisch miteinander verknüpft. Die Software Umberto ermöglicht sowohl die Erstellung von Sachbilanzen als auch von Wirkungsabschätzungen, die nach eigenen Festlegungen durchgeführt werden können.

Innerhalb der vorliegenden Studie wurde mit dem Bilanzierungsansatz „Consequential“ gearbeitet, der beschreibt, inwieweit sich relevante Stoff- und Energieströme in Erwiderung auf mögliche Entscheidungen ändern. Darüber hinaus wurden ausschließlich „Result“-Datensätze verwendet, die im Gegensatz zu den „Unit“-Datensätzen, innerhalb ihrer eigenen Systemgrenzen ein komplettes Produktsystem enthalten.

---

<sup>2</sup> Dies gilt auch für die Wiederverwertung und Recycling.

## 4. Sachbilanz

Innerhalb der Sachbilanz werden alle mit dem betrachteten Produktsystem in Verbindung stehenden Stoff- und Energieströme gesammelt und daraus die Gesamt-Energie-, Emissions- und Abfallbilanzen berechnet. Gemäß dem Ansatz Cradle to Gate werden die Phasen des Produktlebenszyklus bis zum Verlassen der Produktionsstätte betrachtet. Diese Phasen sind:

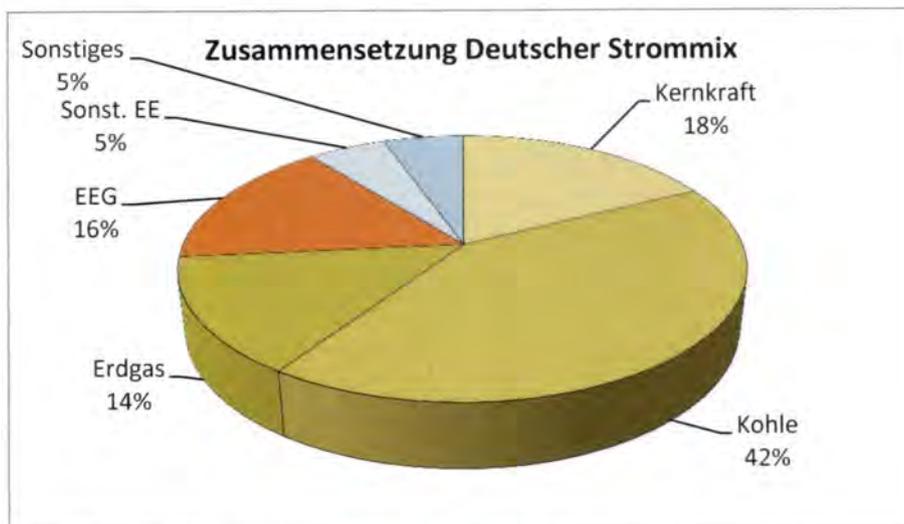
- Beschaffung der Rohmaterialien
- Produktion, bzw. Herstellung des Produktes

Bevorzugt wurden Datensätze aus Deutschland verwendet. War dies nicht möglich, wurden zunächst auf europäische Datensätze zurückgegriffen. Waren auch diese nicht verfügbar, kamen globale Datensätze zum Einsatz.

### 4.1 Allgemeine Vorketten

#### 4.1.1 Strombereitstellung

Der Strom, der für die Produktion des Lacksystems benötigt wird, stammt aus dem deutschen Stromnetz. Die Zusammensetzung der Energieträger im deutschen Stromnetz kann der nachstehenden Abbildung entnommen werden.



**Abbildung 4-1 Zusammensetzung Deutscher Strommix**  
Quelle: Bearbeitet nach [11]

#### 4.1.2 Transportprozesse

In der Praxis kommt es in der Regel selten vor, dass alle Komponenten eines Produktsystems vom selben Hersteller stammen und am gleichen Produktionsstandort produziert werden. Aus diesem Grunde müssen die Transportwege der Komponenten mit in den Bilanzraum aufgenommen werden. Hierbei sind Transporte mittels aller Verkehrsträger wie Straßen- und Bahntransport, See- und Binnenschifftransport sowie Lufttransport möglich.

Für das untersuchte Produktsystem werden ausschließlich Transporte per LKW (Lorry, 3,5-7,5 Tonnen) mit einbezogen. Die Transportentfernungen für die Rohmaterialien wurden mit Hilfe der Streckenausgaben aus Google Maps gemittelt.

**Tabelle 4-1 Verwendete Transportstrecken**

Kürzel	Hersteller	Produktionsort	Gemittelte zurückgelegte Strecke [km]	Quelle
BM 75	Biopin	Jever	185	Google Maps
BM 4030	Weseroil	Brake, Unterweser	142	Google Maps
SD 6403	Worlée	Lauenbug	80	Google Maps
Permalyn 6110	Eastman	Middelburg, Niederlande	583	Google Maps
Isoparaffin D40	Möller Chemie	Steinfurth	497	Google Maps

### 4.1.3 Primär und Sekundärenergieträger

Heizöl (EL) wurde in dieser Studie entsprechend Diesel bewertet. Der Heizwert von Diesel wird in dieser Studie konsequent mit 36,335 MJ/Liter verwendet [12].

## 4.2 Landwirtschaftliche Vorketten

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die landwirtschaftlichen Vorketten von Leinöl für die Verwendung innerhalb der Lackproduktion. Hierbei wird kurz auf den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie den landwirtschaftlichen Maschineneinsatz eingegangen.

### 4.2.1 Anbau und Bearbeitung

Die Flachspflanze (*Linum usitatissimum* L.), aus der das Leinöl gewonnen wird, ist eine einjährige Pflanze, die bis zu 1,60 m hoch wächst. Flachs benötigt durch seine langsame Jugendentwicklung umfangreiche Pflanzenschutzmaßnahmen, reagiert negativ auf zu hohen Reststickstoff im Boden und zeigt sich tolerant gegen saure Bodenverhältnisse. Für den Anbau sind wasserreiche Böden besonders gut geeignet. Um bei der Ernte einen Ertragsverlust zu vermeiden, wird während der Wachstumsunterbrechung die gesamte Pflanze inklusive der Wurzel aus dem Boden entfernt und im Schwad abgelegt. Innerhalb der 4-5 Wochen andauernden Röste wird der Schwad 2-3 Mal gewendet. Im Anschluss wird das geröstete Flachsstroh in Ballen gepresst und zur Weiterverarbeitung vorbereitet [13], [14].

Als Düngemittel wurden sowohl Phosphat- und Stickstoffdüngemittel in die Bilanz aufgenommen. Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens und der limitierten Datenlage wurden die Transportstrecken für die Düngemittel und die des Leinöls zum weiterverarbeitenden Betrieb innerhalb dieser Studie vernachlässigt.

Leinöl kann in unterschiedlichen Pressverfahren (Heiß- oder Kaltpressen sowie Pressen unter Sauerstoffausschluss) gewonnen werden. Bei der Produktion von Leinöl fällt als Co-Produkt der sogenannte „Leinsamen-Presskuchen“ an, der häufig als Futter für Rinder eingesetzt wird und einen ähnlichen ökonomischen Wert wie das Leinöl besitzt. Die Datensätze zur Gewinnung von Leinöl stammen aus gängiger Literatur [15].

## 4.3 Herstellung des Lacksystems

Die in Tabelle 3-1 aufgeführten Rohstoffe werden nacheinander mit einem Dissolver vermischt und im Anschluss mit Hilfe einer Perlmühle zu einem Homogenat verarbeitet. Das Permalyn 6610 wird unter Erhitzung in Isoparaffin aufgelöst (50%-ige Permalynharzlösung in Isopa-

raffin) und als Zwischenprodukt dem Prozess zugeführt. Die Sikkative (in der vorliegenden Bilanzierung nicht betrachtet), werden erst unmittelbar vor der Abfüllung eingerührt.

## 4.4 Datenaufnahme

### 4.4.1 Prozessübersicht

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die eingegebenen Werte und Datensätze entsprechend der Eingabe in der Bilanzierungssoftware Umberto NXT LCA.

**Tabelle 4-2 T1 - Produktion Leinöl**

T1 Produktion Leinöl						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
diesel	P12: Rohstoffe	Good	24,67	kg		
electricity, medium voltage	P32: Energie	Good	897,60	MJ		
nitrogen fertilizer, as N	P34: Dünger	Good	9,38	kg		
phosphate fertilizer, as P2O5	P 34: Dünger	Good	3,26	kg		
Transformation, from heterogeneous, agricultural	P33: Fläche	Good	1.367	m2		
Output						
Leinöl	P30	Good	204,0	kg		
Linseed Cake	P35: Linseed Cake	Bad	379,4	kg		

**Tabelle 4-3 T2 - Herstellung BM75**

T2 Herstellung BM75						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
Leinöl	P30	Good	204,00	kg	255*0,8	
Maleic anhydride	P23: Zusatzstoffe	Good	51,00	kg	255*0,2	
electricity, medium voltage	P36: Energie	Good	275,40	MJ	75/2500*36*255	
transport, freight lorry, 3.5-7.5 metric ton, EURO 4	P1: Transport	Good	740,00	tkm	4*185	
Output						
BM75	P31	Good	255,0	kg		

**Tabelle 4-4 T3 - Herstellung BM4030**

T3 Herstellung BM4030						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
electricity, medium voltage	P37: Energie	Good	137,16	MJ	75/2500*36*127	
transport, freight lorry, 3.5-7.5 metric ton, EURO 4	P41: Transport	Good	568,00	tkm	4*142	
maleic anhydride	P2: Rohstoffe	Good	25,40	kg	127*0.2	
vegetable oil, refined	P2: Rohstoffe	Good	101,60	kg	127*0.8	
Output						
BM4030	P38	Good	127,0	kg		

**Tabelle 4-5 T4 - Herstellung SD6403**

T4 Herstellung SD6403						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
alkyd resin, long oil, without solvent, in 70% white spirit solution state	P3: Rohstoffe	Good	229,00	kg		
electricity, medium voltage	P39: Energie	Good	247,32	MJ	75/2500*36*229	
transport, freight lorry, 3.5-7.5 metric ton, EURO 4	P42: Transport	Good	320,00	tkm	4*80	
Output						
SD6403	P40	Good	229,0	kg		

**Tabelle 4-6 T5 - Herstellung Isoparaffin D40**

T5 Herstellung Isoparaffin D40						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
paraffin	P102: Isoparaffin D40	Good	197,00	kg	293-96	
electricity, medium voltage	P44: Energie	Good	212,76	MJ	75/2500*36*1197	
transport, freight lorry, 3.5-7.5 metric ton, EURO 4	P45: Transport	Good	1.988,00	tkm	4*497	
Output						
paraffin	P43	Good	197,0	kg		

**Tabelle 4-7 T6 und Subnetz T1 - Herstellung Permalyn 6610**

T6 Herstellung Permalyn 6610						
T1 Lösen			Subnet of T3			
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
electricity, low voltage	P6	Good	30,0	kWh	3*10	
electricity, low voltage	P1	Good	2,25	kWh	3*0,75	
Isoparaffin D40	P4: Isoparaffin D40	Good	96,0	kg		
Permalyn 6610	P17: Permalyn 6110	Good	96,0	kg		
transport, freight lorry, 3.5-7.5 metric ton, EURO 4	P7	Good	2332,0	tkm	583*4	
Output						
Permalynharzlösung	P11: Permalynharzlösung		192,0	kg		

**Tabelle 4-8 T7 - Dissolver**

T7 Dissolver						
Input						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
BM4030	P38	Good	127,00	kg		
BM75	P31	Good	255,00	kg		
electricity, low voltage	P6: Energie	Good	33,00	kWh	3*11	
electricity, low voltage	P19: Energieeinsatz Absauganlage	Good	1,10	kWh	0,5*2,2	
electricity, low voltage	P18: Energieeinsatz Lösemittelpumpe	Good	0,04	kWh	(1/12)*(460/1000)	
paraffin	P43: Paraffin	Good	197,00	kg	293-96	
Permalynharzlösung	P11: Permalynharzlösung	Good	192,00	kg	96+96	
SD6403	P40	Good	229,00	kg		
Output						
Mischung	P10		1000,0	kg		

**Tabelle 4-9 T8 - Perlmühle**

T8		Perlmühle				
<b>Input</b>						
Material	Place	Material Type	Coefficient	Unit	Function	
electricity, low voltage	P8: Pumpen	Good	5,00	kWh	2*1*125	
electricity, low voltage	P7: Energieeinsatz Perlmühle	Good	32,50	kWh	2,5*13	
electricity, low voltage	P22: Energieeinsatz KRW Sikkative	Good	0,06	kWh	5/60*0,75	
Mischung	P10	Good	1.000,00	kg		
Water, cooling, unspecified natural origin	P9: Kühlwasser	Good	400,00	l		
<b>Output</b>						
Homogenat	P5	Virtual Reference Flow	1.000,00	kg		

## 5. Wirkungsabschätzung

Die in dieser Studie durchgeführte Wirkungsabschätzung wurde mit Hilfe der Bilanzierungssoftware Umberto NXT LCA vorgenommen. Die aufgeführten Wirkungskategorien stammen aus dem Charakterisierungsmodell ReCiPe Midpoint (H) w/o LT, das 18 Schadensfaktoren („Midpoint“) drei Wirkungskategorien („Endpoint“) zuordnet. Innerhalb dieser Bilanz wird der Schadensfaktor „Klimawandel“ jedoch einzeln betrachtet, so dass 4 Wirkungskategorien entstehen. Die Datengrundlage kann der nachstehenden Tabelle 5-1 entnommen werden, die alle im Charakterisierungsmodell ReCiPe Midpoint (H) w/o LT verwendeten Schadensfaktoren enthält. Die Ergebnisse sind hierbei auf die funktionelle Einheit von 1.000 kg hergestellten Öllack für Holzparkett (Homogenat) normiert.

**Tabelle 5-1 Ergebnisse**

Kategorie	Menge Bez. auf Fertigungsansatz 1.000 kg	Einheit
Agricultural Land Occupation	1.507,09	m <sup>2</sup> a
Climate Change	5.150,10	kgCO <sub>2</sub> eq
Fossil depletion	1.765,30	kg-Oil eq
Freshwater Ecotoxicity	31,61	kg 1,4-DCB-Eq
Freshwater Eutrophication	1,34	kg P-Eq
Human Toxicity	1.775,84	kg 1,4-DCB-Eq
Ionising Radiation	224,42	kg U235-Eq
Marine Ecotoxicity	31,53	kg 1,4-DCB-Eq
Marine Eutrophication	3,38	kg N-Eq
Metal Depletion	471,85	kg Fe-Eq
Natural Land Transformation	0,83	m <sup>2</sup>
Ozone Depletion	0,00	kg CFC-11-Eq
Particulate Matter Formation	8,16	kg PM10-Eq
Photochemical Oxidant Formation	24,19	kg NMVOC
Terrestrial Acidification	15,08	kg SO <sub>2</sub> -Eq
Terrestrial Ecotoxicity	46,41	kg 1,4-DCB-Eq
Urban Land Occupation	208,74	m <sup>2</sup> a
Water Depletion	44,0	m <sup>3</sup>

Die nachfolgenden Unterkapitel zeigen die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien und stellen die ermittelten Umweltwirkungen in Form von Säulendiagrammen dar.

### Ergebnisse Öllack für Holzparkett

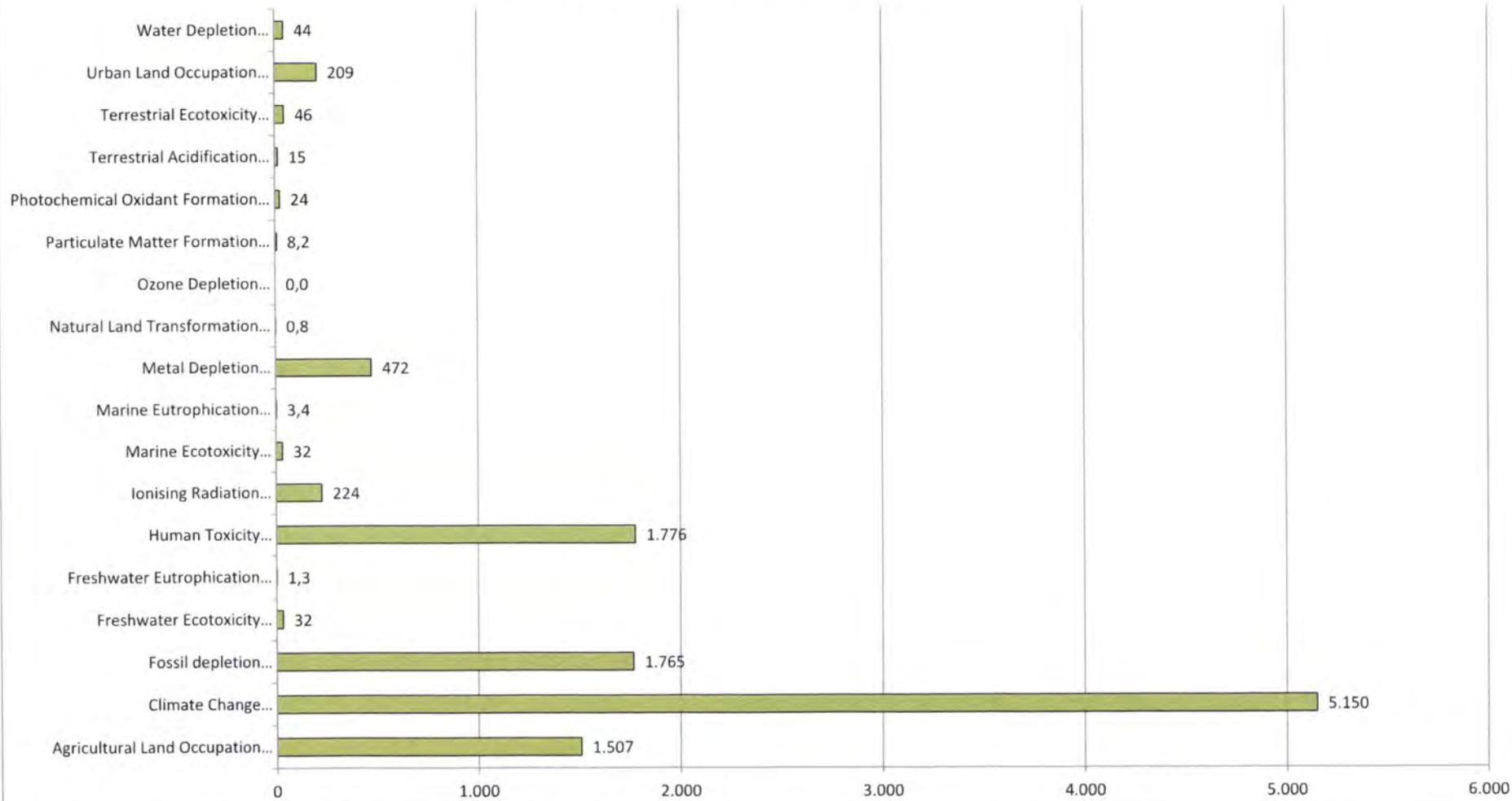


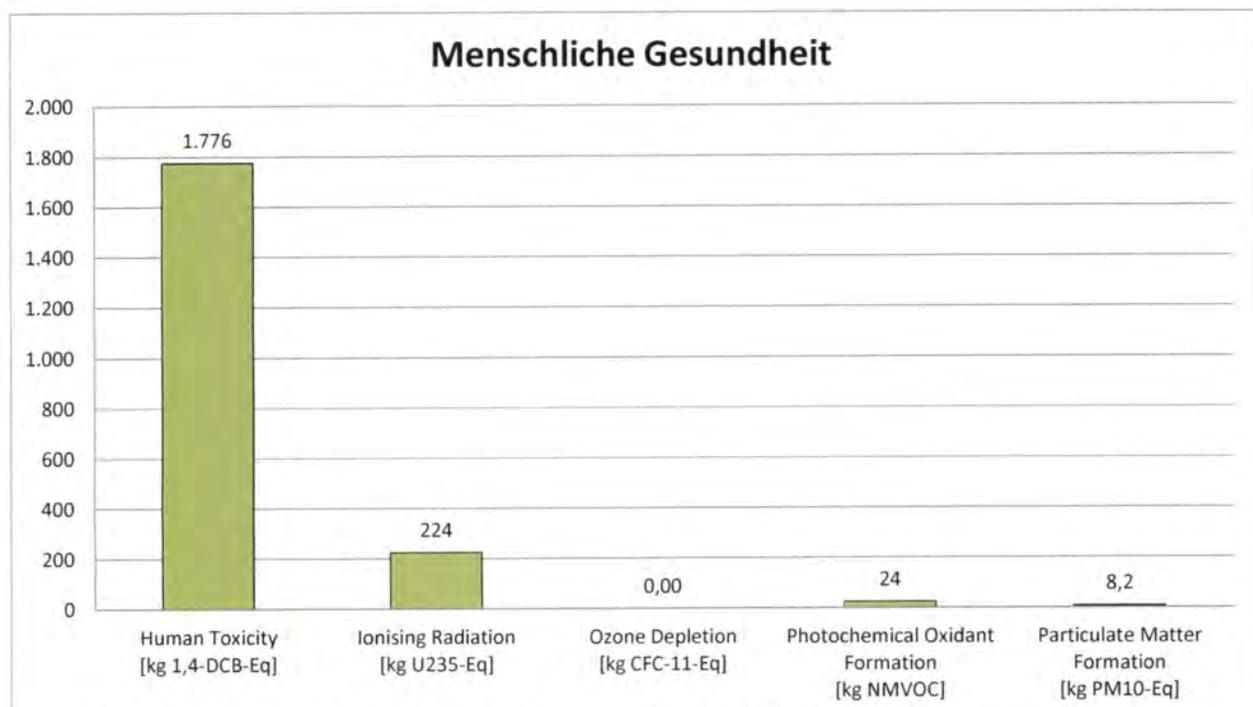
Abbildung 5-1 Ergebnisse der Wirkungskategorien für „Öllack für Holzparkett“

## 5.1 Menschliche Gesundheit

Die Kategorie Menschliche Gesundheit wird in die Unterkategorien

- Humantoxizität,
- Radioaktive Strahlung,
- Ozonschichtzerstörung,
- Photochemisches Oxidantienpotential und
- Feinstaubbelastung

unterteilt. Die Ergebnisse für diese Wirkungskategorie sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 5-2 Ergebnisse der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit**

Abbildung 5-2 zeigt deutlich den Einfluss der Radioaktiven Strahlung und der Humantoxizität auf das Gesamtergebnis. Die Basisdaten für die oben gezeigte Abbildung, die alle Ergebnisse der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit zusammenfasst, können der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 5-2 Ergebnisse der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit**

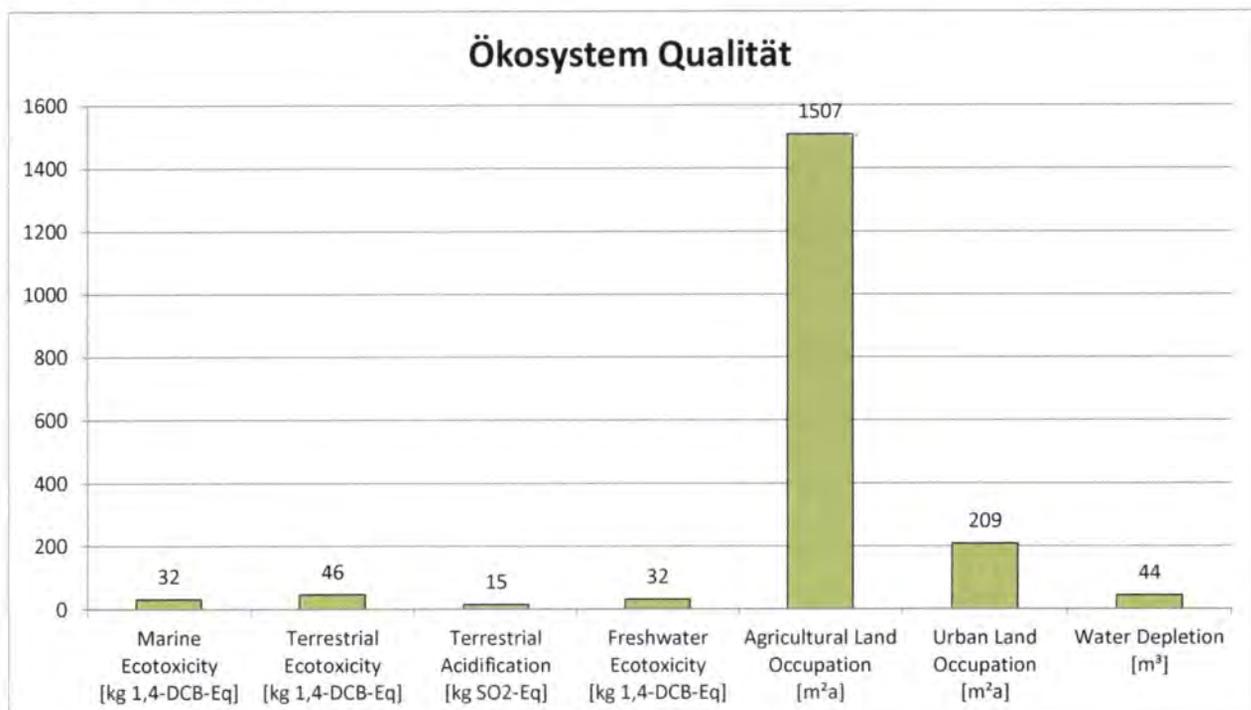
Menschliche Gesundheit	Menge	Einheit
Human Toxicity	1.776	kg 1,4-DCB-Eq
Ionising Radiation	224	kg U235-Eq
Ozone Depletion	0,00	kg CFC-11-Eq
Photochemical Oxidant Formation	24	kg NMVOC
Particulate Matter Formation	8,2	kg PM10-Eq

## 5.2 Ökosystem Qualität

Die Wirkungskategorie Ökosystem Qualität beinhaltet die folgenden Schadenskategorien:

- Aquatische und terrestrische Ökotoxizität,
- Terrestrische Versauerung,
- Frischwasser Ökotoxizität,
- Frischwasser- und aquatische Eutrophierung,
- Naturraumbeanspruchung (verbrauchte Agrarwirtschafts- und Stadtfläche sowie Landnutzungsänderung) und
- Wasserverbrauch.

Die Ergebnisse dieser Wirkungskategorie sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Schadenskategorien Frischwasser und aquatische Eutrophierung sowie die Landnutzungsänderung sind aus der Darstellung ausgeschlossen, da die ermittelten Werte innerhalb der Skalierung nicht darstellbar sind.



**Abbildung 5-3 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität**

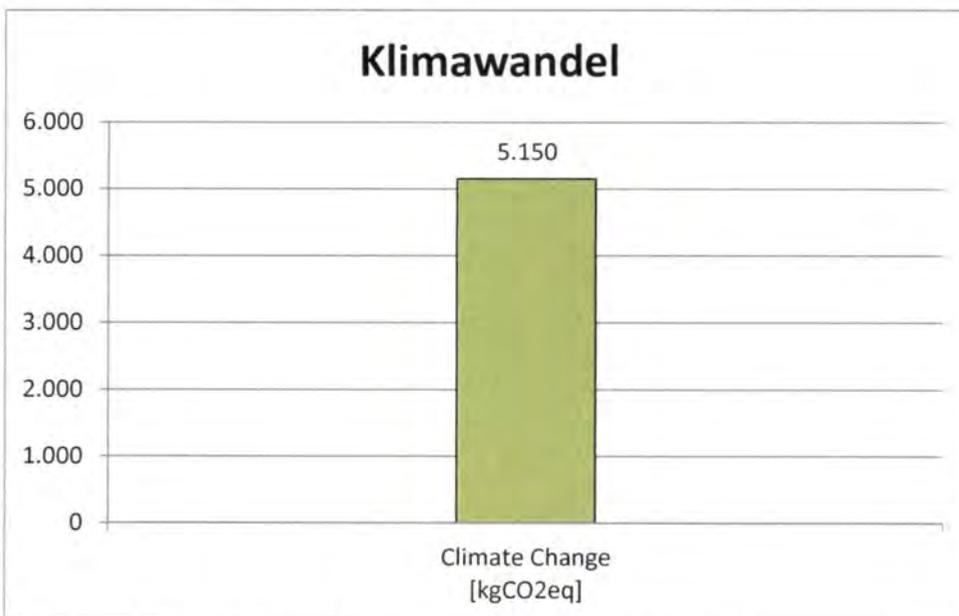
Innerhalb der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität fällt insbesondere der Einfluss der verbrauchten Landwirtschaftsfläche ins Auge. Die Basisdaten können der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 5-3 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität**

Ökosystem Qualität	Menge	Einheit
Marine Ecotoxicity	31,53	kg 1,4-DCB-Eq
Terrestrial Ecotoxicity	46,41	kg 1,4-DCB-Eq
Terrestrial Acidification	15,08	kg SO <sub>2</sub> -Eq
Freshwater Ecotoxicity	31,61	kg 1,4-DCB-Eq
Freshwater Eutrophication	1,34	kg P-Eq
Marine Eutrophication	3,38	kg N-Eq
Agricultural Land Occupation	1.507,09	m <sup>2</sup> a
Natural Land Transformation	0,83	m <sup>2</sup>
Urban Land Occupation	208,74	m <sup>2</sup> a
Water Depletion	44,0	m <sup>3</sup>

### 5.3 Klimawandel

Die Wirkungskategorie Klimawandel bezieht sich auf das Treibhausgaspotential bzw. das Global Warming Potential (GWP). Die Umweltwirkungen innerhalb dieser Kategorie sind in Abbildung 5-4 dargestellt.



**Abbildung 5-4 Ergebnis der Wirkungskategorie Klimawandel**

Die Datengrundlage kann der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 5-4 Ergebnis der Kategorie Klimawandel**

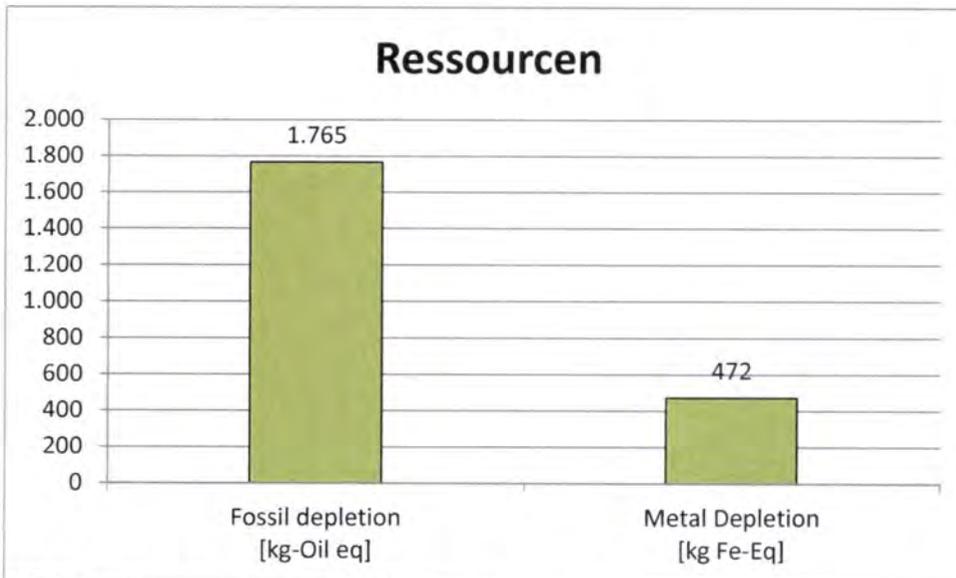
Klimawandel	Menge	Einheit
Climate Change	5.150	kgCO <sub>2</sub> eq

## 5.4 Ressourcen

Die Wirkungskategorie Ressourcen unterteilt sich in die Schadenskategorien

- Nicht-regenerative Energie und
- Ressourcenverbrauch.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für diese Wirkungskategorie können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.



**Abbildung 5-5 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen**

Die Basisdaten für die oben gezeigte Abbildung, die alle Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen zusammenfasst, können der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 5-5 Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen**

Ressourcen	Menge	Einheit
Fossil depletion	1.765,30	kg-Oil eq
Metal Depletion	471,85	kg Fe-Eq

## **6. Auswertung**

### **6.1 Einschränkungen**

Die Durchführung der vorliegenden Screening LCA unterlag einigen Einschränkungen, die größtenteils durch die verfügbare Datenmenge verursacht wurden. Die aufgetretenen Datenlücken wurden durch Annahmen aus einschlägiger Literatur geschlossen, um zum einen zum besseren Verständnis der Studie beizutragen und zum anderen Komplikationen innerhalb der Datensätze zu vermeiden.

Für einige Datensätze konnten keine genauen geographischen Daten ermittelt werden. Daher beziehen sich die verwendeten Datensätze überwiegend auf in Deutschland oder Gesamteuropa ermittelte Daten durch die Industrie.

Innerhalb der Anbauphase der verwendeten Pflanzenöle ergeben sich je nach Ort des Anbaus, selbst innerhalb eines Landes, durch variierende Bodenqualität, unterschiedliche Anforderungen an die Bodenbearbeitung (Dünger, Pestizide, Wasserverbrauch etc.). Über die Bodenqualität konnten keine Daten ermittelt werden, daher wird angenommen, dass die Bodenqualität durch die Bearbeitung des Bodens und den Pflanzenanbau nicht beeinträchtigt wird.

Der Energieverbrauch für die Herstellung des agrarwirtschaftlichen Fuhrparks, die Produktion des Saatguts, dessen Transport und Lagerung sowie die benötigte Personaleinsatz liegen nicht innerhalb der Systemgrenzen und werden daher nicht in die Bilanzierung eingeschlossen. Die Beregnung der agrarwirtschaftlichen Fläche wird ebenfalls nicht betrachtet, da angenommen wird, dass die Pflanzen unter Normalbedingungen angebaut werden, so dass eine Bewässerung nicht erforderlich ist.

Die Herstellung des Produktsystems Öllack für Holzparkett erfolgt in der Firma Reincke Naturfarben GmbH in Buxtehude. Die Rezept- und Anlagendaten lagen für die Bilanzierung als Primärdaten vor.

### **6.2 Signifikante Parameter**

Die durchgeführte Ökobilanz weist nur wenige signifikante Parameter auf. Eine dieser Schenkenskategorien ist die Humantoxizität und die Radioaktive Strahlung innerhalb der Wirkungskategorie Menschliche Gesundheit. Diese Kategorien werden maßgeblich durch die Herstellung des Permalyn 6610 und des Alkydharzes sowie die Transportprozesse beeinflusst (siehe Abbildung 6-1).

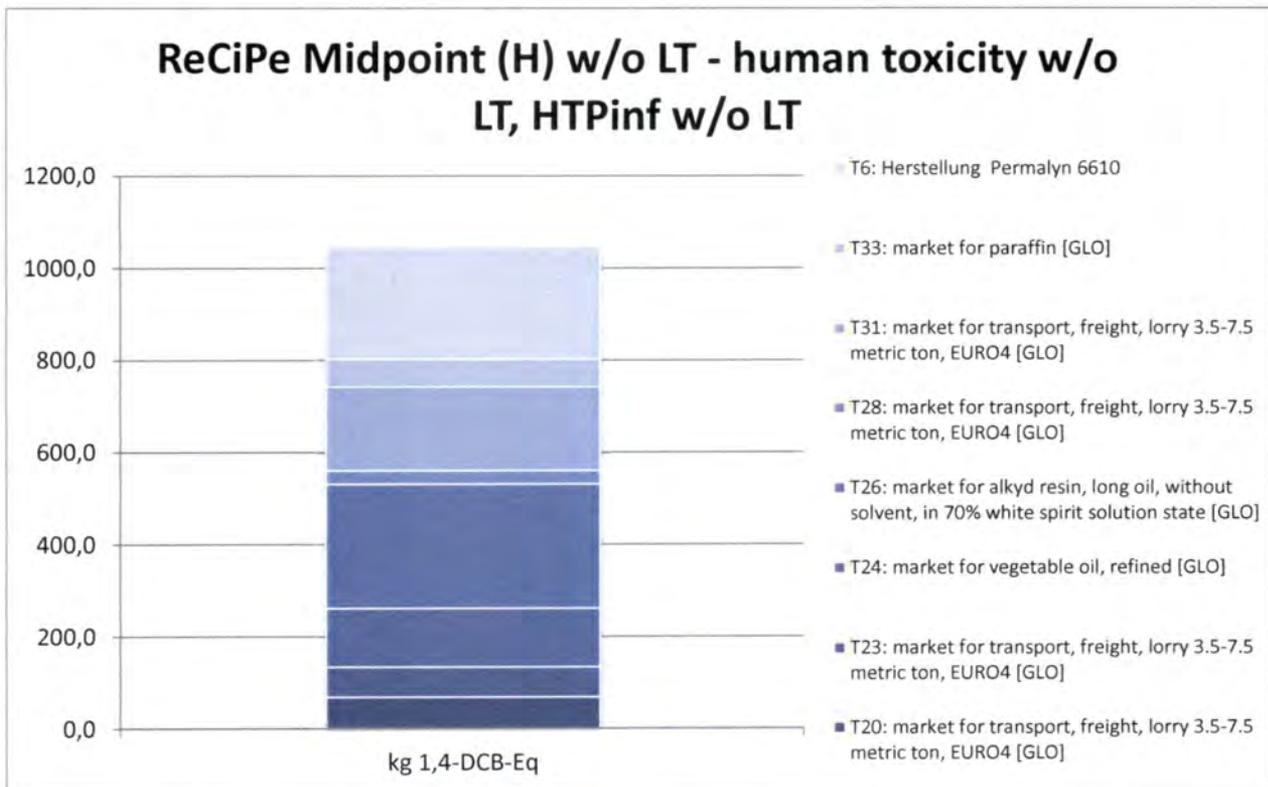


Abbildung 6-1 Ergebnisse Humantoxizität

Innerhalb der Schadenskategorie Radioaktive Strahlung zeigt sich deutlich der Einfluss der Transportprozesse sowie der Herstellung des Permalyn. In der nachstehenden Abbildung zeigt sich außerdem, dass die Prozesse für die Herstellung des Alkydharzes und des Paraffins als positiv geschrieben und nicht zu den übrigen Faktoren addiert werden.

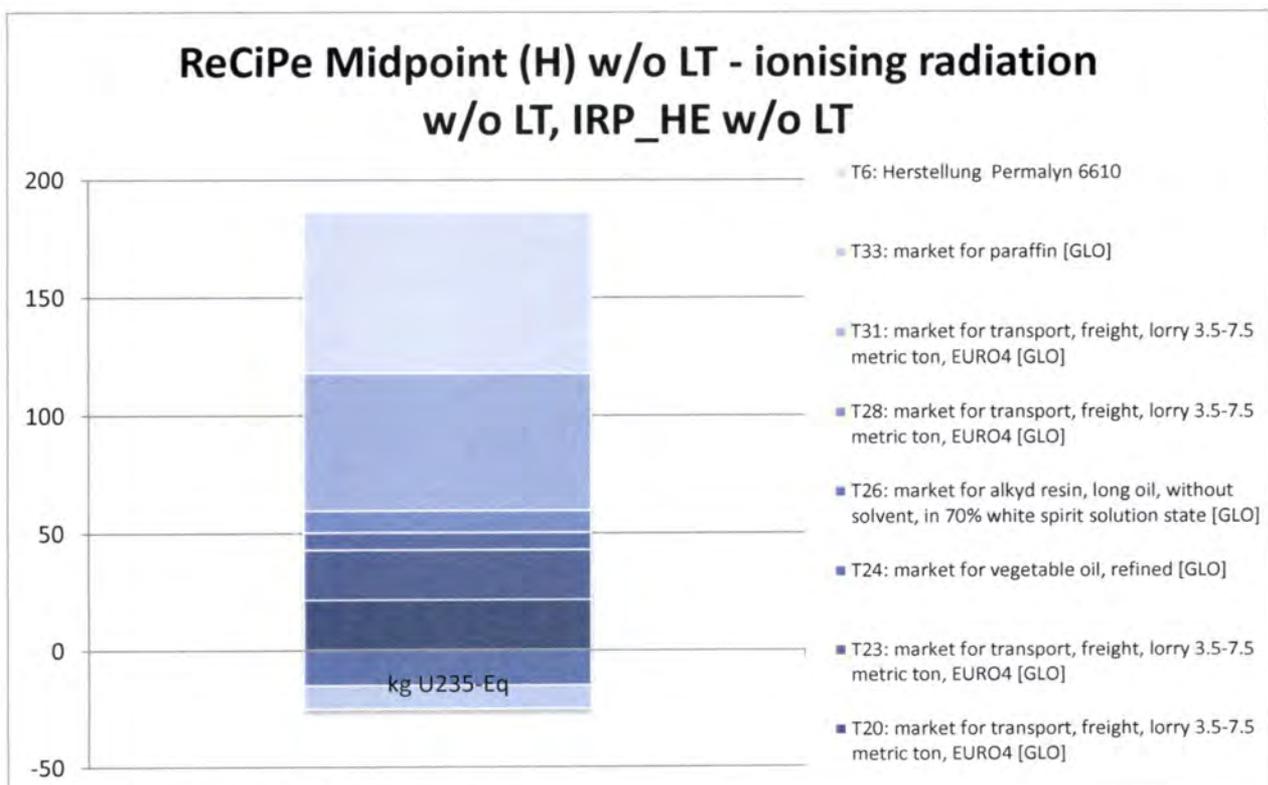


Abbildung 6-2 Ergebnisse Radioaktive Strahlung

Innerhalb der Wirkungskategorie Ökosystem Qualität stellen sich die Verbräuche landwirtschaftlicher und städtischer Fläche als weitere signifikante Parameter dar. Wie die nachstehende Abbildung zeigt, wird der Wert für die landwirtschaftliche Fläche maßgeblich durch den Markt für das Alkydharzes, die verwendeten Pflanzenöle und die Transportprozesse beeinflusst. Prozesse, die nur geringfügig zum Gesamtergebnis beigetragen haben, wurden zugunsten der besseren Darstellbarkeit abgeschnitten.

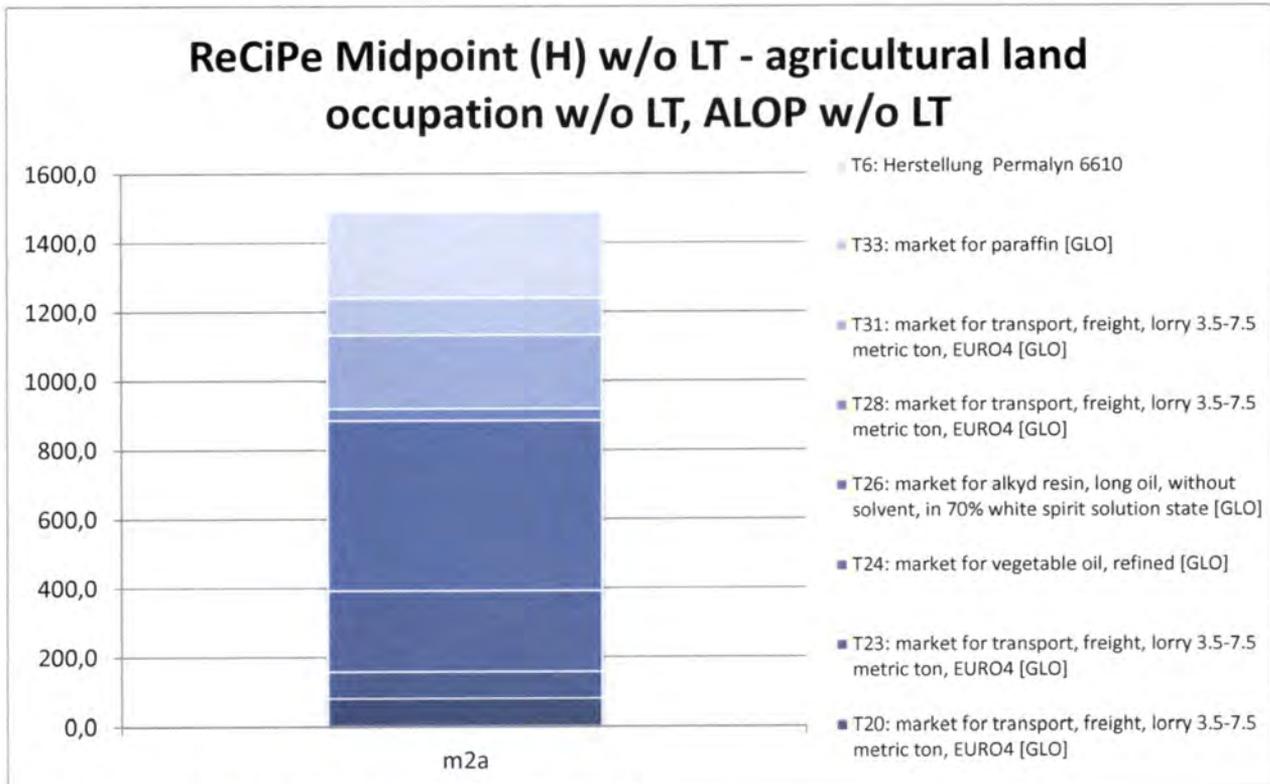


Abbildung 6-3 Ergebnisse Landwirtschaftliche Fläche

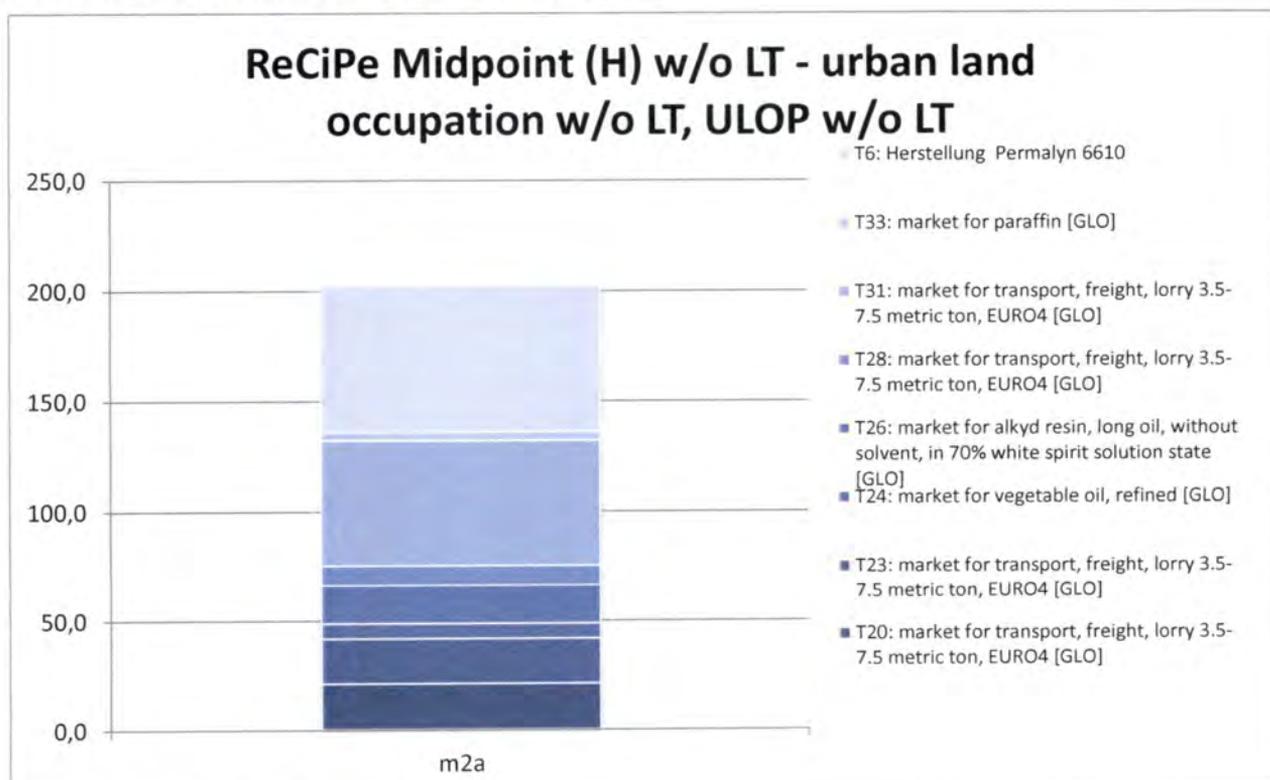
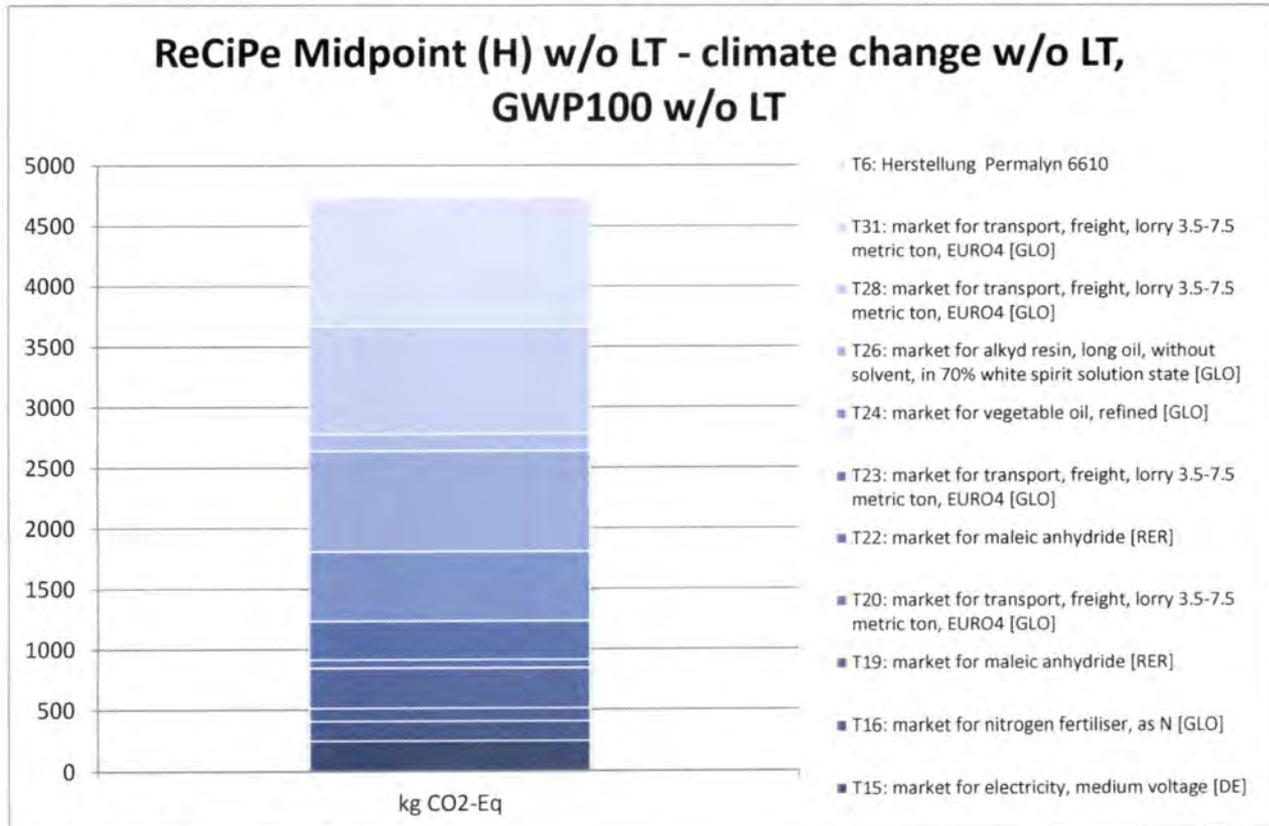


Abbildung 6-4 Ergebnisse Stadtfläche

Wie die oben anstehende Abbildung 6-4 zeigt, wird die Schadenskategorie verbrauchte städtische Fläche maßgeblich durch die Herstellung des Permalyn 6610 und die Transportprozesse beeinflusst.

Weitere signifikante Parameter zeigen sich in den Wirkungskategorien Klimawandel und Ressourcen.



**Abbildung 6-5 Ergebnisse Klimawandel**

Hier zeigt sich, dass ein Großteil der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen aus der Herstellung des Permalyn 6610 und des Alkydharzes sowie der Transportprozesse und der Bereitstellung der Pflanzenöle stammen.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Wirkungskategorie Ressourcen, die sich in die Schadenskategorien Nicht-regenerative Energie und Ressourcenverbrauch gliedern. Hier zeigt sich weiterhin der Einfluss der Transportprozesse sowie der Herstellung des Permalyn 6610, des Alkydharzes und des Paraffins.

### ReCiPe Midpoint (H) w/o LT - fossil depletion w/o LT, FDP w/o LT

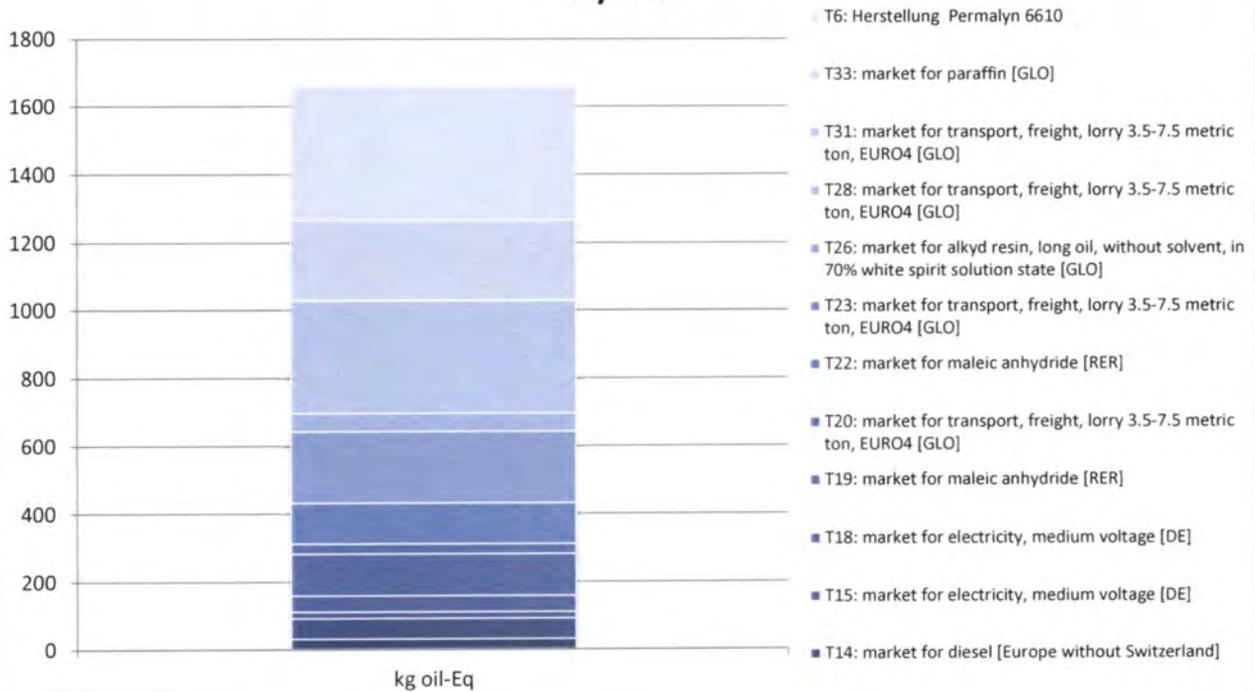


Abbildung 6-6 Ergebnisse Nicht-regenerative Energie

### ReCiPe Midpoint (H) w/o LT - metal depletion w/o LT, MDP w/o LT

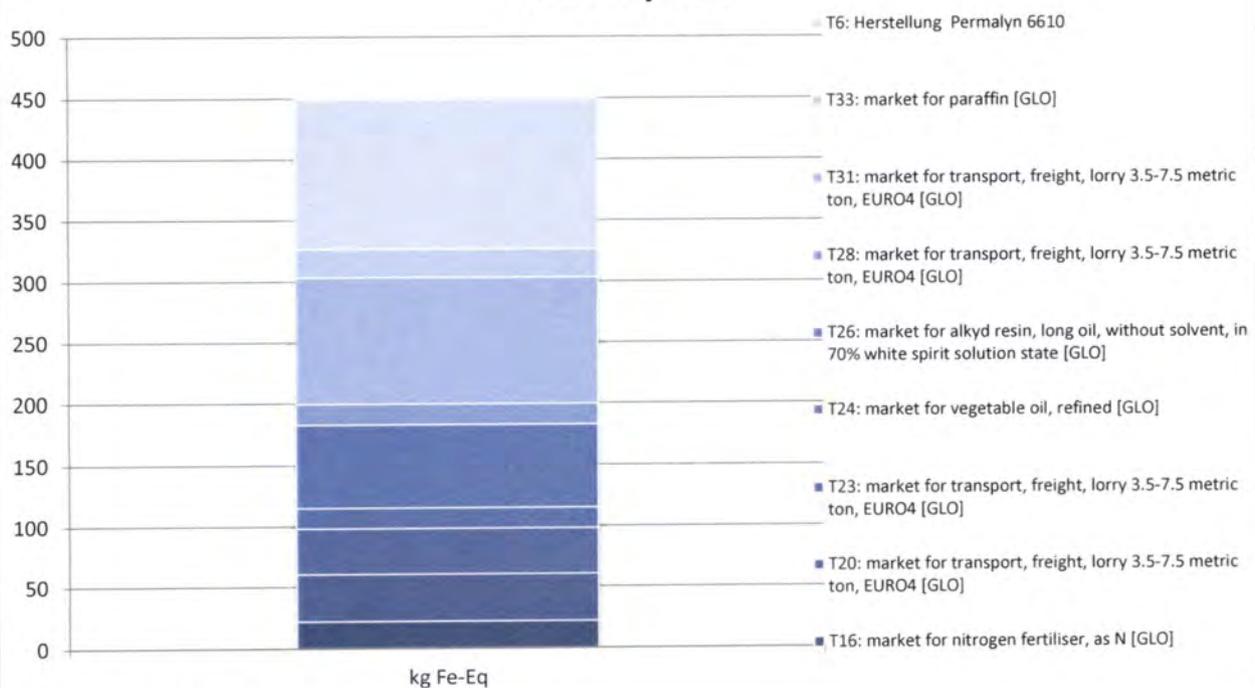


Abbildung 6-7 Ergebnisse Ressourcenverbrauch

## 7. Schlussfolgerungen

Die genannten signifikanten Parameter können nur im beschränkten Maß von der Fa. Reincke Naturfarben GmbH beeinflusst werden, da sie außerhalb der Produktionsstätte der Firma hergestellt werden. Dennoch muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass gemäß dem ganzheitlichen Ansatz der Ökobilanzierung, ein Betrieb immer auch die Verantwortung für die Wahl seiner Zulieferer trägt. Hier stellt sich die Frage, ob ein Lieferantenwechsel zur Verbesserung der Nachhaltigkeit des betrachteten Produktes beitragen kann.

Die Herstellung chemischer Zusätze für die Lackindustrie ist immer mit dem Ausstoß von Emissionen verbunden; dennoch könnte die Fa. Reincke für die gelieferten Rohstoffe eine umweltfreundliche Produktherstellung als Vergabekriterium ansetzen.

Weiter wird innerhalb der Auswertung deutlich, dass die Transportprozesse einen erheblichen Teil zur Umweltwirkung des betrachteten Produktes „Öllack für Holzparkett“ beitragen. Hier wird empfohlen, nach Möglichkeit Lieferanten mit geringerer Transportentfernung vorzuziehen. Auch dies kann innerhalb der Fa. Reincke als Vergabekriterium festgesetzt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] pw-Internet Solutions GmbH, „Wie umweltfreundlich sind "schadstoffarme Lacke"?," [Online]. Available: <http://www.baumarkt.de/nxs/776///baumarkt/schablone1/Wie-umweltfreundlich-sind-schadstoffarme-Lacke>. [Zugriff am 12 September 2013].
- [2] Ökologisch Bauen Markus Boos & Gerd Hansen GbR, „Naturlacke: Schellack, Buntlack, Decklack, Klarlack," [Online]. Available: <http://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/naturfarben-putze/lacke.html> 12.09.2013, 16. [Zugriff am 12 September 2013].
- [3] Bio Verlag GmbH, „Mit Naturlacken den Pinsel schwingen," [Online]. Available: <http://www.schrotundkorn.de/1997/sk970503.htm>. [Zugriff am 10 September 2013].
- [4] Bayercoatings, „Nachwachsende Rohstoffe für Lacke," 5 Juli 2011. [Online]. Available: [http://www.bayercoatings.de/BMS/DB-RSC/BMS\\_RSC\\_CAS.nsf/id/PortalDE\\_Nachwachsende\\_Rohstoffe\\_fuer\\_Lacke](http://www.bayercoatings.de/BMS/DB-RSC/BMS_RSC_CAS.nsf/id/PortalDE_Nachwachsende_Rohstoffe_fuer_Lacke). [Zugriff am 09 September 2013].
- [5] Ifu Hamburg GmbH, *Umberto NXT LCA - Software*.
- [6] P. Blickwedel, Produktbezogene Klimastrategien - Product Carbon Footprint verstehen und nutzen, R.Ö.BMU, Hrsg., Berlin, 2010.
- [7] U. Siegen, „Umwelttechnik - Ökobilanz Allgemein," 20 Februar 2008. [Online]. Available: [http://www.uni-siegen.de/fb11/st/umwelttechnik/forschung/oeko\\_allgemein/oekobilanz\\_allgemein.html?lang=e..](http://www.uni-siegen.de/fb11/st/umwelttechnik/forschung/oeko_allgemein/oekobilanz_allgemein.html?lang=e..) [Zugriff am 27 November 2012].
- [8] I. O. f. Standardization, DIN EN ISO 14044 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines, Brüssel, 2006.
- [9] K. Schönburg, Naturstoffe an Bauwerken - Eigenschaften, Anwendung, Gestaltung, Beuth Verlag, 2010.
- [10] B. P. GmbH, Interviewee, *Energieeinsatz Herstellung BM75*. [Interview]. 25 März 2014.
- [11] V.-W. D. -. Schauernheim, Interviewee, *Zusammensetzung Deutscher Strommix*. [Interview]. 15 Februar 2013.
- [12] Robert Bosch GmbH, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2011.
- [13] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzower Fachgespräche - Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU), Gülzow, 2008.
- [14] F. N. R. e. (FNR), Pflanzen für Industrie und Energie, Gülzow, 2012.
- [15] A.-M. H. B. E. E. a. T. R. Tillman, „Life Cycle Analysis of Selected Packing Materials. Quantification of Environmental Loadings," Chalmers Industriteknik, Göteborg, 1991.

## Abkürzungsverzeichnis

CO <sub>2</sub> e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DMS	Deutsche Möbelspedition
DIN	Deutsches Institut für Normung
GWP	Global Warming Potential
Heizöl EL	Heizöl Extraleicht
LCA	Life Cycle Assessment

## Einheiten und Indizes

a	Jahr
eq	Äquivalent
g	Gramm
kWh	Kilowattstunden
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MJ	Megajoule
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer

## Anhang

