Biobasierte Kunststoffe und biobasierte Verbundwerkstoffe

Hans-Josef Endres*

Maren Kohl**

Hannah Berendes***

* Prof. Dr. Hans-Josef Endres, IfBB, Hochschule Hannover, Hannover
** Maren Kohl, IfBB, Hochschule Hannover, Hannover
*** Hannah Berendes, IfBB, Hochschule Hannover, Hannover

5 Biobasierte Kunststoffe und biobasierte Verbundwerkstoffe

Übersicht

5.1 Definitionen und Abgrenzung 206

5.1.1 Biobasierte Kunststoffe 206

5.1.2 Bioverbundwerkstoffe / biobasierte Verbundwerkstoffe 209

5.2 Marktbeschreibung 2011 210

5.2.1 Rechtliche Bestimmungen und Einflussfaktoren 211

5.2.1.1 Biobasierte Kunststoffe 211

5.2.1.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 215

5.2.2 Marktsegmente und Produkte 217

5.2.2.1 Biobasierte Kunststoffe 217

5.2.2.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 221

5.2.3 Rohstoffe und Zwischenprodukte 223

5.2.3.1 Biobasierte Kunststoffe 223

5.2.3.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 226

5.2.4 Technologien und Konversionsverfahren 230

5.2.4.1 Biobasierte Kunststoffe 230

5.2.4.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 238

5.2.5 Preise, Angebot und Nachfrage 239

5.2.5.1 Biobasierte Kunststoffe 239

5.2.5.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 244

5.2.6 Marktsituation in Deutschland 245

5.2.6.1 Biobasierte Kunststoffe 245

5.2.6.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 248

5.2.7 Einflussparameter auf die Marktentwicklung 249

5.2.8 Rechtliche Rahmenbedingungen und Marktsituation in den EU Ländern 250

5.2.8.1 Biobasierte Kunststoffe 250

5.2.8.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 256

5.2.9 Relevante internationale Erfahrungen 258

5.2.9.1 Biobasierte Kunststoffe 258

5.2.9.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 263

5.3 Vergleich mit 2004 264

5.3.1 Beschreibung des Marktes in 2004 264

5.3.1.1 Biobasierte Kunststoffe 264
5.3.1.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 266
5.3.2 Wesentliche Änderungen und Treiber und Erklärung der Marktentwicklung .. 266
5.3.2.1 Biobasierte Kunststoffe 266
5.3.2.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 267
5.4 Vergleich mit der Prognose aus 2004 für 2010 270
5.4.1 Aufbereitung der Prognosedaten und Annahmen aus dem Jahre 2004 für das Jahr 2010 270
5.4.1.1 Gesamtprognose biobasierte Kunststoffe 271
5.4.1.2 Gesamtprognose biobasierter Verbundwerkstoffe (NFK/WPC) 272
5.4.2 Vergleich mit Ist-Situation und Abweichungsanalyse 273
5.4.2.1 Biobasierte Kunststoffe 273
5.4.2.2 NFK und WPC 286
5.4.3 Schlussfolgerungen für das Prognosemodell 294
5.4.3.1 Biobasierte Kunststoffe 294
5.4.3.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe 295
5.5 Prognose für das Jahr 2020 296
5.5.1 Grundannahmen für den speziellen Markt 296
5.5.2 Szenarien und Real Case 299
5.6 Zusammenfassende Bewertung und strategische Optionen 302
5.7 Quellenverzeichnis 305

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 87: Abgrenzung der Kunststoffe nach Rohstoffherkunft und Abbaubarkeit 206
Abb. 88: Qualitätszeichen biobasierter Produkte des DIN CERTCO 207
Abb. 89: Zertifizierungslogo für biobasierte Produkte des Vincotte 207
Abb. 90: Einteilung biobasierter Verbundwerkstoffe 209
Abb. 91: Abfallgruppen gemäß der fünften Novelle der Verpackungsordnung 212
Abb. 92: Politische Bestimmungen und Einflussfaktoren 212
Abb. 93: Kompostierungssysteme in Europa 213
Abb. 94: Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen für biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe in Deutschland 214
Abb. 95: Politische Bestimmungen und Einflussfaktoren für NFK und WPC 215
Abb. 96: Produktionsmaßstab biobasierter Kunststoffe 2011 218
Abb. 97: Produktionsmengen biobasierter Kunststoffe nach Marktsegmenten in Deutschland (2011) 220
Abb. 98: Beispiele für Anwendungen von Biokunststoffen in wichtigen Marktsegmenten 220
Abb. 99: Anwendungsgebiete der NFK/ in Deutschland 2011 221
Abb. 100: Verbesserungspotenziale durch den NFK-Einsatz im Automobilbereich 222
Abb. 101: Beispiele für Marktakteure im Bereich WPC, NFK und biobasierte Kunststoffe in Europa mit Schwerpunkt Deutschland 223
Abb. 102: Beispiele für Rohstoffe / Zwischenprodukte und deren Hauptanwendungen . 224
Abb. 103: Rohstoffbedarf zur Produktion biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2011 225
Abb. 104: Einsatz an Naturfasern für die NFK Produktion in Deutschland 227
Abb. 105: Übersicht der Möglichkeiten zur Herstellung verschiedener biobasierter Fasern 228
Abb. 106: Herstellweg PLA (Polylactid) 232
Abb. 107: Allgemeine Bildungsreaktion von Polyurethanen 232
Abb. 108: Herstellungsweg Bio - PUR 232
Abb. 109: Herstellungsweg Bio - PA 233
Abb. 110: Allgemeine Struktur von Polyhydroxyalkanoaten (PHA) 234
Abb. 111: Herstellungsweg PHA / PHB 235
Abb. 112: Biobasierte Kunststoffe auf Stärkebasis 236
Abb. 113: Cellulose basierte Polymerwerkstoffe 237
Abb. 114: Prozessschritte der NFK Formpressung 238
Abb. 115: Prozessschritte der WPC Extrusion 239
Abb. 116: Prozessschritte des NFK Spritzgießens 239

Abb. 117: Prozessschritte des Fließpressens 239
Abb. 118: Materialpreise verschiedener biobasierter Kunststoffe (blau) im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (rot) 241
Abb. 119: Preisentwicklung PLA 1997 – 2011 im Vergleich zum konventionellen Kunststoff Polystyrol (PS) 242
Abb. 120: Preisentwicklung verschiedener Kunststoffrohstoffe im Vergleich mit Preisen nachwachsender Rohstoffe 243
Abb. 121: Preisentwicklung der verschiedenen petro-basierten Kunststoffe im Vergleich zu verschiedenen biobasierten Kunststoffen 244
Abb. 122: Preisvergleich petrobasierter Kunststoffe mit NFK Granulatpreisen 245
Abb. 123: Produktionsmengen petro-basierter Kunststoffe im Vergleich zu biobasierten Kunststoffen in Deutschland in 2011 246
Abb. 124: Produktionskapazitäten biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe in Deutschland 2011; TPS: Thermoplastische Stärke 247
Abb. 125: Produktionskapazitäten biobasierter, beständiger Kunststoffe in Deutschland 2011 247
Abb. 126: Marktvolumen der biobasierten Kunststofftypen in Deutschland 2011 248
Abb. 127: Der Absatz biobasierter Kunststoffe wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst 249
Abb. 128: Rechtliche Bestimmungen und Einflussfaktoren. Wesentliche Determinanten auf EU Ebene 252
Abb. 129: Produktionskapazitäten biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe in Europa 2011 253
Abb. 130: Produktionskapazitäten biobasierter, beständiger Kunststoffe in Europa 2011 254
Abb. 131: Einflussparameter auf die Marktentwicklung und -treiber 255
Abb. 132: Anwendungsgebiete NFK und WPC in Europa in 2011 257
Abb. 133: Darstellung der Verarbeitungsverfahren von NFK und WPC in Europa 2011 258
Abb. 134: Globale Produktionskapazitäten biobasierter bioabbaubarer Kunststoffe 2011 259
Abb. 135: Globale Produktionskapazitäten biobasierter beständiger Kunststoffe 2011) 260
Abb. 136: Globale Produktionskapazitäten biobasierter Kunststoffe nach Ländern 261
Abb. 137: Relevante internationale Erfahrungen, globaler Überblick 2011 261
Abb. 138: Wichtigste Anwendungen von WPC und NFK weltweit 264
Abb. 139: Darstellung der F&E Defizite, Risiken und Treiber für den Verpackungsmarkt und Agrarbereich in Deutschland für 2004 265
Abb. 140: Marktgrößen für biobasierte Kunststoffe in Deutschland für 2004 265
Abb. 141: Marktgrößen für NFK und WPC in Deutschland für 2004 266

Abb. 142: Produktionsmengen biobasierter Kunststoffe von 2004 bis 2011 im Verlauf in Deutschland 266

Abb. 143: Produktionskapazitäten der NFK und WPC 2011 in Deutschland im Vergleich mit den 2004 erfassten Produktionsmengen 267

Abb. 144: Rahmenbedingungen und Treiber zwischen 2004 – 2011 im Markt der biobasierten Kunststoffe 268

Abb. 145: Preisvergleich von biobasierten Kunststoffen und -werkstoffen der Jahre 2004 und 2011 269

Abb. 146: Prognosedaten der Bio-Polymere aus der Marktstudie von 2004 für das Jahr2010 in Deutschland 272

Abb. 147: Prognosedaten der biobasierten Verbundwerkstoffe (NFK und WPC) aus der Marktstudie von 2004 für das Jahr 2010 in Deutschland 273

Abb. 148: Prognosedaten biobasierter Kunststoffe für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 274

Abb. 149: Prognosedaten der biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffe im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 275

Abb. 150: Graphische Darstellung der Prognosedaten von biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffen im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 276

Abb. 151: Graphische Darstellung der Prognosedaten von biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffen im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von in Deutschland 277

Abb. 152: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 278

Abb. 153: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 279

Abb. 154: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Konsumgüterindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 280

Abb. 155: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Konsumgüterindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 281

Abb. 156: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Automobilindustrie für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland 282

Abb. 157: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Automobilindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 283

Abb. 158: Prognostizierte Verteilung der Anwendungsgebiete im biobasierten Kunststoffsektor aus der Marktstudie von 2004 für 2010 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 284

Abb. 159: Marktvolumen biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2010 dargestellt in vergleichbaren Anwendungssegmenten der Marktstudie 2004 285

Abb. 160: Prognostizierte Gesamtmarktgröße des biobasierten Kunststoffsektors aus der Marktstudie von 2004 für 2010 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 286

Abb. 161: Prognosedaten NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010/11 in Deutschland 287

Abb. 162: Prognosedaten der Produktionsmengen für NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland 289

Abb. 163: Prognosedaten der Produktionsmengen für NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu neu erhobenen Daten für 2004 und Ist-Daten 2010/11 in Deutschland und Europa 290

Abb. 164: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Automobilbereich für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland 291

Abb. 165: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Baubereich für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland 292

Abb. 166: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Konsum-gütersektor für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland 293

Abb. 167: Marktgrößen biobasierter Verbundwerkstoffe in Deutschland, Vergleich der Prognosedaten für 2010 aus der Marktstudie von 2004 mit Ist-Daten 2010/11 294

Abb. 168: Definierte Einflussfaktoren und deren Dimensionen des Prognosekonzeptes der biobasierten Kunststoffe und NFK 297

Abb. 169: SWOT-Analyse Deutschland für den biobasierten Kunst- und Verbundwerkstoffmarkt 298

Abb. 170: Darstellung der quantitativen Wachstumspotenziale der einzelnen Teilmärkte für die vier definierten Wachstumsszenarien 301

Abb. 171: Darstellung der jeweiligen Real Case Prognosen der Teilmärkte und des Gesamtmarktes für 2020 in der Gegenüberstellung der Produktionsgrößen im Jahr 2011 in Deutschland 302

Tabellenverzeichnis:

Tab. 24: Übersicht der verschiedenen Herstellmethoden biobasierter Kunststoffe 231

Tab. 25: Verwertung von Kunststoffverpackungen, Pfandsysteme und Ökosteuer in der EU 251

Tab. 26: Definierte Einflussfaktoren und deren Dimensionen des Prognosekonzeptes der biobasierten Kunststoffe und NFK 299

5.1 Definitionen und Abgrenzung

Zur Einleitung des Kapitels „Marktbeschreibung 2011“ werden die Begrifflichkeiten, Definitionen und Einordnungen biobasierter Kunststoffe sowie der biobasierten Verbundwerkstoffe im Rahmen dieser Studie beschrieben.

5.1.1 Biobasierte Kunststoffe

Bei der Verwendung der verschiedenen nicht exakt definierten Begrifflichkeiten „Biopolymer“, **„**Biokunststoff**“,** „biologisch abbaubarer Kunststoff“, **„biobasierte Kunststoffe“**, etc. kommt es häufig zu Missverständnissen. Im Rahmen dieser Studie werden unter Biokunststoffen oder genauer unter biobasierten Kunststoffen synthetisierte oder modifizierte Polymerwerkstoffe oder Blendanwendungen verstanden, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, die Abbaubarkeit spielt bei der Begriffsbegrenzung keine Rolle.

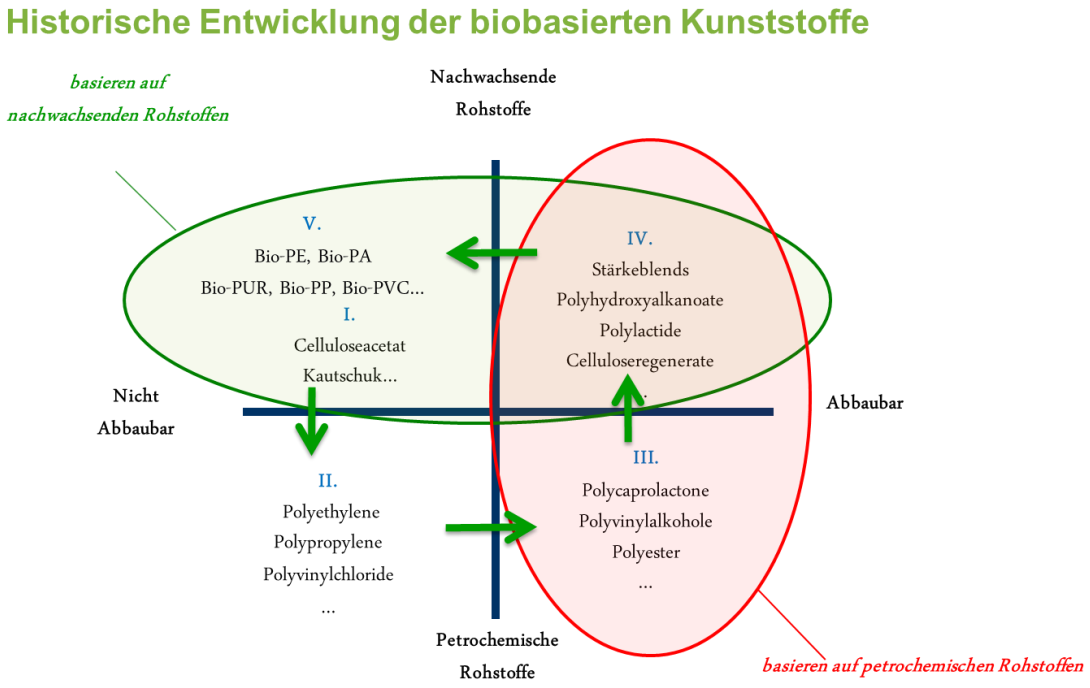

Abb. 87: Abgrenzung der Kunststoffe nach Rohstoffherkunft und Abbaubarkeit[347]

Die Definition „biobasierter Kunststoff“ ist dabei nicht abhängig vom jeweils eingesetzten Mengenanteil der nachwachsenden Rohstoffe. Es gibt derzeit noch keinen erforderlichen Mindestanteil, der für die Verwendung des Begriffs „biobasierter Werkstoff“ erforderlich ist.

Ein erster Schritt ist jedoch die Entwicklung eines Zertifizierungssystems zum Nachweis und zur Kennzeichnung des biobasierten Werkstoff- bzw. Kohlenstoffanteils. Im euro-

[347] Modifiziert nach H.-J. Endres; A. Siebert-Raths: Engineering Biopolymers, München 2011, S. 5

päischen Raum gibt es derzeit allerdings nur zwei Zertifizierungsstellen: DIN CERTCO (Deutschland) und Vincotte (Belgien). Die Zertifizierung erfolgt unter Anwendung der gängigen ASTM-D6866 Methode, wobei der biobasierte Kohlenstoffanteil mit entsprechenden Zertifizierungszeichen ausgewiesen wird.

DIN CERTCO vergibt dabei ein sogenanntes „Qualitätszeichen biobasierter Produkte“ in den Abstufungen 20-50%, 50-85%, > 85%. Die Angabe der Prozentzahl bezieht sich auf den jeweiligen Anteil an biobasiertem Kohlenstoff im Biokunststoff.

Abb. 88: Qualitätszeichen biobasierter Produkte des DIN CERTCO[348]

Neben einem biobasierten Kohlenstoffanteil von mindestens 20% im organischen Anteil fordert der DIN CERTCO zusätzlich eine Mindestmenge an organischem Material. Diese wird mittels Glühverlust bestimmt und sollte einen Anteil von 50% nicht unterschreiten. Wird die Mindestmenge an biobasiertem Kohlenstoff von 20% nicht erreicht, kann jedoch eine Bescheinigung über den biogenen Kohlenstoffgehalt und eine „Registrierung biobasierter Produkte“ mit einem biobasiertem Anteil < 20% erfolgen.

Ähnlich geht auch Vincotte als der zweite europäische Zertifizier vor. Vincotte vergibt mit seiner Zertifizierung ebenfalls ein Logo, aus dem der Anteil an biogenem Kohlenstoff direkt hervorgeht. Bei Vincotte weist die Anzahl an Sternen am linken Rand des Logos den Bioanteil aus (20 - 40% = 1 Stern, 40 - 60% = 2 Sterne, 60 - 80% = 3 Sterne und > 80% = 4 Sterne).

Abb. 89: Zertifizierungslogo für biobasierte Produkte des Vincotte[349]

Bei der Zertifizierung handelt es sich allerdings derzeit noch ausschließlich um eine freiwillige Maßnahme, der sich Hersteller unterziehen können. Eine einheitliche Norm bzgl. des Mindestanteils nachwachsender Rohstoffe in biobasierten Produkten und Werkstoffen und damit verbunden deren einheitliche Bewertung existiert derzeit noch nicht. Insbesondere auf europäischer Ebene gibt es jedoch einige Ansätze und Arbeitsgruppen, um dazu eine einheitliche Regelung herbei zu führen.

[348] Quelle: DIN CERTCO
[349] Quelle: Vincotte

Im Rahmen der Marktstudie werden bei den biobasierten Kunststoffen ausschließlich werkstoffliche Anwendungen betrachtet. Biobasierte nichtwerkstofflich genutzte Funktionspolymere (beispielsweise als Kunststoffadditiv oder Farb- und Lackkomponente) werden im Kapitel 4 „Chemie“ erfasst. Cellulose und deren Folgeprodukte in nicht werkstoflichen Anwendungen werden ebenfalls in den Kapiteln 4 „Chemie“ und 6 „Papier, Pappe und Kartonage“ behandelt.

Die Erhebung der Marktzahlen erfolgte ausschließlich anhand von Produktionskapazitäten, der Verbrauch und die Verarbeitung von Materialien wurden nicht erfasst, da hierzu keinerlei Werte verfügbar sind. Dabei ist Produktion im erweiterten Sinne für Blendanwendungen zu verstehen. Hier wird beispielsweise im Falle des PLA die Menge der in Deutschland hergestellten PLA-Blends als Produktionskapazität erfasst. Die Reinkomponente PLA wird allerdings importiert und beim Hersteller zum verkaufsfertigen Blend verarbeitet. Für die Berechnung der Rohstoffmengen wird nur der biobasierte Anteil der Blends herangezogen. Im Falle der PLA-Blends wird mit einem biobasierten Anteil von 40% gerechnet, bei den Stärkeblends wird ein biobasierter Anteil von 45% angenommen. Bei der Thermoplastischen Stärke wird vereinfacht ein biobasierter Anteil von 100% angenommen, obwohl hier petrochemisch erzeugte Weichmacher zugesetzt werden.

Abbildung 87 fasst die vollständig oder partiell biobasierten Biokunststoffe in Abhängigkeit der Abbaubarkeit zusammen. Die hier ebenfalls dargestellten biologisch abbaubaren aber petrochmemisch basierten Kunststoffe sind nicht Betrachtungsgegenstand dieser Studie.

5.1.2 Bioverbundwerkstoffe / biobasierte Verbundwerkstoffe

Die erläuterte Definition der biobasierten Kunststoffe wird auf den Bereich der **biobasierten Verbundwerkstoffe** übertragen, da hier ebenfalls die Begrifflichkeiten nicht klar definiert sind. Außer den schichtförmig aufgebauten Materialien bestehen Verbundwerkstoffe meist aus einer Matrix und einer faser- oder partikelförmigen Verstärkungs- oder Füllkomponente. Die Matrix selbst kann dabei sowohl ein thermoplastisches als auch duroplastisches oder elastomeres Polymer sein. Bei der Verwendung des Begriffes „Bioverbundwerkstoff“ oder biobasierter Verbundwerkstoff, sollte mindestens einer der beiden Werkstoffkomponenten auf nachwachsenden Rohstoffen basierend sein. Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Einordnung der Bioverbundwerkstoffe im Überblick.

Einordnung der biobasierten Verbundwerkstoffe

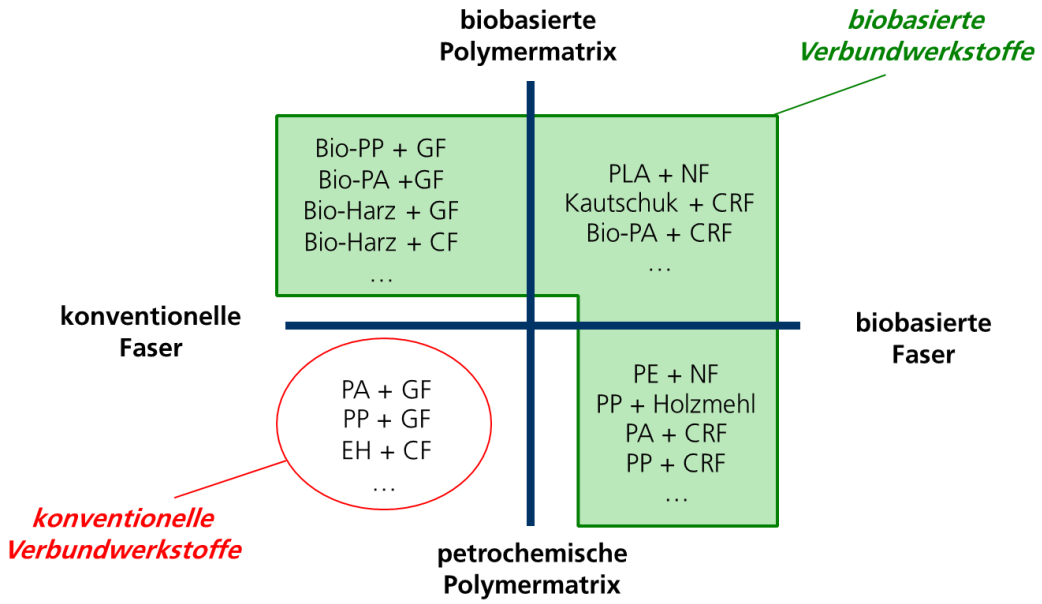

Abb. 90: Einteilung biobasierter Verbundwerkstoffe[350]

Werden als Verstärkungskomponente Cellulose basierte Fasern bzw. Füllstoffe eingesetzt, sollte in Abhängigkeit von der Fasergeometrie bzw. deren Funktion (Verstärkungsfaser oder Füllstoff) weiter unterschieden werden in:

- NFK = **N**atur**f**aser verstärkte **K**unststoffe
- WPC = **W**ood **P**lastic **C**omposites

[350] Nach H.-J. Endres; T. Koplin; C. Habermann: Technology and Nature Combined, München 2012, S.20; PA: Polyamid, PP: Polypropylen, PE: Polyethylen, PLA: Polylactid, EH: Epoxidharz, GF: Glasfaser, CF: Kohlefaser, NF: Naturfaser, CRF: Celluloseregeneratfaser

Es werden auch bei den Bioverbundwerkstoffen keine konkreten quantitativen Angaben zum Mindestanteil an biobasierten Komponenten festgelegt und demzufolge wird beispielsweise ein Polypropylen mit 15 % Naturfaseranteil bereits als biobasierter Verbundwerkstoff deklariert. Im vorliegenden Kapitel werden biobasierte Verbundwerkstoffe übergeordnet für die Gruppe der naturfaserverstärkten Kunststoffe (NFK) und holzmehlgefüllten Kunststoffe (WPC) in der Abgrenzung zu den biobasierten Werkstoffen ohne Faser- oder Füllkomponente definiert. Des Weiteren werden die **NFK in diesem Arbeitspaket in den Fokus gestellt.** Die WPC finden ihre Hauptanwendung im Baubereich, vor allem als Terrassendeckings und werden deshalb in Kapitel 10 „Bauen und Wohnen“ eingehender behandelt. Aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit für den NFK- und WPC-Markt wurde vom IfBB u.a. eine Datenerhebung mittels Fragebogen ergänzend zur Literaturrecherche und direkter telefonischer Herstellerbefragung und Diskussion mit entsprechenden Verbänden durchgeführt. Es wurden 30 deutsche sowie ca. 150 internationale Hersteller ausgewählt. Darunter befinden sich Hersteller, die überwiegend jeweils nur NFK oder WPC produzieren, aber auch Firmen, die beide Produkte herstellen. Trotz einer wiederholten Versendung der Fragebögen und stetigen Nachfassens erreichte der Rücklauf in Deutschland ca. 30% und weltweit ca. 20%. Nach Auswertung der Fragebögen und weiterer Recherche wurden Hochrechnungen für die Produktionskapazitäten der weiteren Hersteller durchgeführt. Dies bildet den Markt sicherlich nicht vollständig ab, lässt aber Tendenzen erkennen. Statistische Daten zum Verbrauch und zur Herstellung von Biokunststoffen und Bioverbundwerkstoffen in Deutschland werden von offiziellen Stellen noch nicht systematisch erfasst. Zusätzlich wurden Literatur und Internetrecherchen durchgeführt, um die Datenlage möglichst repräsentativ abzubilden.

Aus technischer Sicht können WPC und NFK anhand der Geometrie der Faser bzw. der Partikel unterschieden werden. Während es sich bei den WPC eher um partikelförmige weniger verstärkende Füllstoffe handelt, steht bei den NFK eine Verstärkungswirkung durch Fasern mit einem entsprechenden Länge/Durchmesser-Verhältnis (Aspect Ratio) im Vordergrund. Auch wenn meist erst ab einem Verhältnis von größer 10 von Fasern gesprochen werden sollte, gibt es zur Abgrenzung zwischen Fasern und Partikeln bzw. NFK und WPC keinen definierten Zahlenwert. In Deutschland wird dennoch meist zwischen NFK und WPC unterschieden, während die Auswertung der Fragebögen ergab, dass sich die Trennschärfe der Begriffsdefinition für NFK und WPC mit zunehmender Internationalisierung der Herstellerbefragung vermindert.

Deshalb werden die biobasierten Verbundwerkstoffe WPC und NFK in den Kapiteln 5.2.7-ff. in der quantitativen Darstellung und der Betrachtung der Markteinflussfaktoren überwiegend nicht voneinander getrennt betrachtet.

5.2 Marktbeschreibung 2011

Im europäischen Vergleich nimmt die deutsche Industrie der biobasierten Kunststoffe und Verbundwerkstoffe derzeit eine führende Rolle ein. Die derzeitigen Produktionsmengen biobasierter Kunststoffe belaufen sich in Deutschland auf ca. 79.000 Jahrestonnen mit einem Umsatz von ca. 400 Mio. €, die der naturfaserverstärkten Kunststoffe (NFK) und holzmehlgefüllten Kunststoffe (WPC: W*ood* P*lastic* C*omposites)* auf 127.000 Jahrestonnen mit einem Umsatz von ca. 215 Mio. €. Für biobasierte Kunststoffe – insbesondere Primärwerkstoffe – gibt es in Deutschland nur wenige industrielle Hersteller. Verglichen

zu anderen Ländern sind viele Anwender und insbesondere Verarbeiter am Markt aktiv. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Forschungsaktivitäten. Bei den NFK/WPC stellt sich die Situation anders dar: Neben einigen Verarbeitern sind deutlich mehr Materialhersteller vorhanden.

5.2.1 Rechtliche Bestimmungen und Einflussfaktoren

5.2.1.1 Biobasierte Kunststoffe

Rechtliche Rahmenbedingungen mit einer direkten Ausrichtung auf biobasierte Kunststoffe existieren in Deutschland wenig. Biobasierte Kunststoffe werden indirekt in den Bereichen Herstellung, Forschung und Entwicklung sowie Verwertung gefördert, um ihren Markteintritt zu unterstützen. Im Folgenden sind jeweils rechtliche Haupteinflussfaktoren für die Branche der biobasierten Kunststoffe und daran anschließend die der biobasierten Verbundwerkstoffe erläutert.

In den letzten Jahren, insbesondere ab dem Jahre 2005, konzentrierten sich die gesetzlichen Regelungen im Hinblick auf biobasierte Kunststoffe bevorzugt auf Verpackungen, da es sich dort zwangsläufig um Produkte mit relativ kurzer Nutzungsphase und intensiver öffentlicher Wahrnehmung handelt. In erster Linie hatte die fünfte Novelle (2005) der komplexen Verpackungsverordnung (VerpackV) einen großen Einfluss.

Für die Branche der biobasierten Kunststoffe war bis Ende 2012 die Befreiung von Lizenzgebühren im Rahmen des Dualen Systems für kompostierbar zertifizierte Biokunststoffverpackungen der treibender Faktor sowie die Befreiung von der Rücknahmepflicht der Verpackungen bzw. der Pfandpflicht von Einwegflaschen. Die bis Ende 2012 existierenden Sonderregelungen für zertifizierte kompostierbare biobasierte Kunststoffe werden im Folgenden erläutert:

In der Gruppe der konventionellen Verpackungen sind die biobasierten Kunststoffe von der Rücknahmeverpflichtung, d.h. beispielsweise den DSD-Gebühren befreit. Werden biobasierte Kunststoffe bei der Herstellung von Einweg-Getränkeverpackung verwendet, werden sie bei einem Anteil an nachwachsenden Rohstoffen von mindestens 75 Gew.-% genauso wie Mehrweggetränkeverpackungen behandelt (nur Rücknahmeverpflichtung). Ansonsten werden diese bei einem Anteil an nachwachsenden Rohstoffen kleiner als 75 Gew.-% wie die andere Einweggetränkeflaschen mit 25 Cent Pfand beaufschlagt.

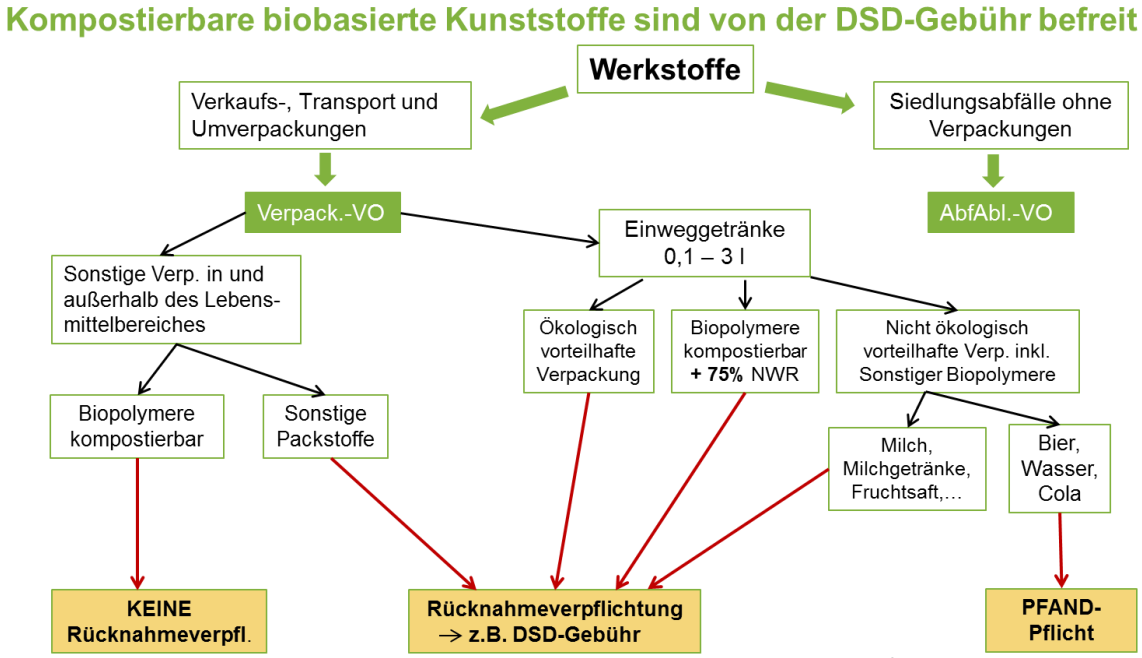

Abb. 91: Abfallgruppen gemäß der fünften Novelle der Verpackungsordnung[351]

Die folgenden Abbildungen stellen wesentliche Aspekte der Verpackungsverordnungen sowie politische Einflussfaktoren und Bestimmungen in zeitlicher Abfolge dar.

Abb. 92: Politische Bestimmungen und Einflussfaktoren[352]

[351] H-J. Endres, A-S. Kitzler, u.a.: Ökologische Nachhaltigkeit von Verpackungen, Kempten 2011, S. 25

[352] www.bmub.bund.de, Berlin (Abruf 12.04.2012), www.uba.de, Dessau (Abruf 12.04.2012), H.-J. Endres; A. Siebert-Raths: Technische Biopolymere, München 2009, S. 51

Voraussetzung für die Sonderstellung der biobasierten und bioabbaubaren Kunststoffe in der Verpackungsordnung ist die Zertifizierung der Kompostierbarkeit. Dazu stellen die Europäische DIN EN 13432 sowie deren amerikanisches Pendant spezielle Anforderungen an die entsprechenden Verpackungen. Die Zertifizierungsverfahren werden beispielsweise von der DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH, dem amerikanischen Biodegradable Products Institute (BPI) oder der belgischen Vincotte durchgeführt.

Zertifizierte Produkte sind zwar damit nachweislich für eine Verwertung über Kompostierungsverfahren geeignet, dies bedeutet jedoch nicht automatisch, dass sie heute bereits über entsprechende Entsorgungssysteme, wie z. B. die kommunale Bioabfallsammlung (Biotonne), einer flächendeckenden Kompostierung zugeführt werden können. In vielen europäischen Ländern existieren entsprechende Kompostierungssysteme., Das Kompostierbarkeitszeichen garantiert jedoch zunächst lediglich die namensgebende Eigenschaft ‚kompostierbar' und ist aber kein Kennzeichen dafür, dass auch eine entsprechende Abfalllogistik oder ein Abfallerfassungssystem vorhanden sind, um die Überführung der Abfälle aus biobasierten Kunststoffen in eine Kompostierung tatsächlich sicherzustellen.

Kompostierungslogistik funktioniert für biobasierte Kunststoffe in Europa

Gut funktionierende industrielle Kompostierlogistik derzeit in

- Deutschland
- Österreich
- Schweiz
- Belgien
- Luxemburg
- Niederlande
- Polen
- Schweden und
- Italien

Abb. 93: Kompostierungssysteme in Europa[353]

Neben bereits erläuterten politischen Bestimmungen wurde Ende 2011 in der Novellierung der BioAbfallVerordnung (BioAbfV) für biobasierte Kunststoffe beschlossen, dass „Verpackungen aus biologisch abbaubaren Werkstoffen (Kunststoffen) oder aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen" aus der Verwertung in der Biotonne ausgeschlossen sind. Nach der Novellierung werden lediglich Kunststoffe in Form von „Abfalltüten, die zur

[353] H.-J. Endres; A. Siebert-Raths: Engineering Biopolymers, München 2011, S. 70, IBAW: Empfehlungen zur Behandlung von kompostierbaren Verpackungen, (Abruf 17.04.2012)

Sammlung biologisch abbaubarer Abfälle wie z. B. von Küchen- und Kantinenabfällen bestimmt sind“ in der Biotonne akzeptiert. Ausgenommen von dieser neuen Definition sind nur Abdeck- und Mulchfolien aus biologisch abbaubaren Werkstoffen, da diese als „Kunststoffabfälle ohne Verpackungen“ gelten und nach ihrer Nutzung in den Boden eingearbeitet werden können. Die Novellierung der BioAbfV trat nach der Überarbeitung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) am 01. Mai 2013 in Kraft.[354]

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Beendigung der Gebühren-Befreiungsfrist Ende 2012 sowie die Novellierung der BioAbfV in 2013 wesentliche Veränderungen bzw. eine Abschaffung der Förderung von biologisch abbaubaren Kunststoffen einleitete. Ohne eine gesetzliche Förderung ist zurzeit nicht absehbar, welche Auswirkungen der Wegfall der Lizenzgebührenbefreiung und der weitest gehende Ausschluss aus der Biotonne auf die weitere Marktetablierung von kompostierbaren Kunststoffen als Verpackungsmaterial haben wird. Die Einführung einer Wertstofftonne im Rahmen einer Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird zurzeit in der Politik bereits auf der ausführenden kommunalen Ebene intensiv diskutiert und erste Pilotprojekte zur Erfahrungsanreicherung werden bspw. in Berlin durchgeführt. Die Sortierung für die Wertstofftonne richtet sich nach Abfällen aus gleichen Materialien / Wertstoffgruppen. Ob sich im Rahmen der Wertstofftonne ein Vorteil für biobasierte Kunststoffe herauskristallisiert ist noch offen, da es keine expliziten Sonderregelungen für biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe bzw. daraus hergestellte Produkte gibt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Gesamtüberblick der wesentlichen politischen Einflussfaktoren auf den Bereich der biobasierten Kunststoffe in Deutschland.

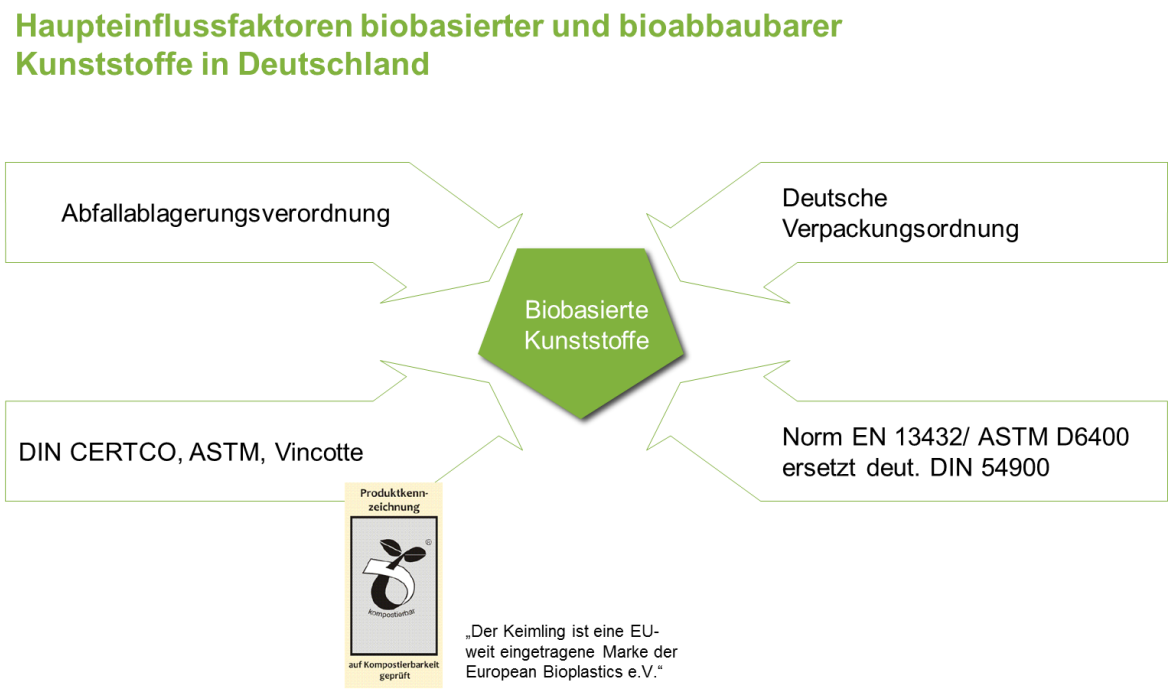

Abb. 94: Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen für biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe in Deutschland

[354] Bundesrat Beschluss 587/11 2011, (20 01 39), (02 01 04), (15 01 02)

5.2.1.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Im Bereich der biobasierten Verbundwerkstoffe existieren wenige direkte richtungsweisende politische oder rechtliche Rahmenbedingungen, im Vergleich zur fünften Novellierung der Verpackungsverordnung, die den biobasierten und bioabbaubaren Kunststoffen als Marktanreizprogramm einen wirtschaftlichen Vorteil bieten konnte. In Deutschland werden derzeit die biobasierten Kunststoffe „lediglich“ durch Förderprogrammen für Forschung und Entwicklung unterstützt. Diese werde im Folgenden erläutert und zusammenfassend in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abb. 95: Politische Bestimmungen und Einflussfaktoren für NFK und WPC[355]

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz räumt der stofflichen Verwertung einen Vorrang vor der Beseitigung der Abfälle ein. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz wurde am 24.02.2012 durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz abgelöst. Es zeichnet sich in Bezug auf die biobasierten Verbundwerkstoffe durch eine eingehende Betrachtung des Verwertungsbegriffes aus. Die Abfallhierarchie wurde ebenfalls erweitert. An erster Stelle steht

[355] Bundesministerium der Justiz (BMJ), Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW/AbfG), Berlin, 1994/2009; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Berlin 2009; Wydra S et al: Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte ausßerhalb des Energiesektors, Faunhofer ISI, Karlsruhe 2010

die „Vermeidung von Abfällen“, danach folgen die „Vorbereitung zur Wiederverwendung“, das „Recycling“ und erst final die „energetische Verwertung“. Damit wird der stofflichen Verwertung von Abfällen ein Vorrang vor der energetischen Verwertung eingeräumt. Die Verwertungshierarchie ist abhängig von der angesetzten Priorität verschiedener Umweltfaktoren (beispielsweise: Emissionen, Ressourcen- und Energieschonung) und dem Stand der Technik.[356]

Agrarpolitischer Bericht 2011

Im Agrarpolitischen Bericht der Bundesregierung im Jahr 2011 werden im Bereich der „Effizienzsteigerung in der Biomasseproduktion und -nutzung“ biobasierte und naturfaserverstärkte Kunststoffe als ein Schwerpunkt angesehen. Dies erfolgt im Rahmen der Förderung der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, welche ebenfalls als Teil der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ unterstützt wird. Diese Forschungsförderung erfolgt in den nächsten sechs Jahren mit einem Gesamtbudget von 2,4 Mrd. € für Deutschland.[357]

Verarbeitungsbeihilfen für Flachs und Hanf - (EG) Nr.72/2009

Die Verordnung (EG) Nr.72/2009 wurde am 19.01.2009 beschlossen. Sie beinhaltet eine Verarbeitungsbeihilfe für lange und kurze Flachs- und Hanffasern bis zum 01.06.2012. Für lange Flachsfasern betrug die Beihilfe oder Förderung in den Jahren 2009/2010: 200 €/t, 2010/2011 und 2011/2012 jeweils noch 160 €/t. Kurze Flachsfasern und Hanffasern mit maximal 7,5% Verunreinigungen wurden für den Zeitraum von 2009-2012 mit 90 €/t gefördert. Durch die Verarbeitungsbeihilfen wurden die biobasierten Verbundwerkstoffe indirekt durch eine begünstigte Faserkomponente gefördert.[358]

Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe 2009

Der Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Jahre 2009 setzt Schwerpunkte in der Förderung der Entwicklung neuer Biopolymere als Matrix in Verbundwerkstoffen. Des Weiteren wird die Forschung hinsichtlich der Verwertbarkeit für den Bereich biobasierter Verbundwerkstoffe im Handlungsfeld 8 „Biobasierter Werkstoffe einschließlich naturfaserverstärkte Kunststoffe“[359] gefördert.

Förderprogramm: Nachwachsende Rohstoffe

Das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMEL aus dem Jahr 2008 sieht neben den allgemeinen Zielen […] Umweltentlastung, Ressourcenschonung, Stärkung der Land- und Forstwirtschaft auch Maßnahmen für den Bereich Fasern, deren Aufschluss und die Erschließung neuer Verwendungsbereiche vor. Dieses Förderprogramm beinhaltet ebenfalls den Bereich der chemisch technischen Nutzung von Holz, inklusive

[356] §6 (KrWG, 2012)
[357] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Agrar-politischer Bericht der Bundesregierung, Berlin 2011, S.18
[358] www.europa.eu (Abruf 23.03.2012)
[359] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Akti-onsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Berlin 2009, S. 25-26

Aufschlussverfahren, Verwendungsbereiche neuer Produkte und Nebenprodukte […]". 2005-2010 erhielt der Bereich „Fasern" eine Gesamtförderung von ca. 5,6 Mio. €. Das Programm wurde bis 2015 verlängert.[360]

Altholzverordnung

Die Altholzverordnung definiert einzuhaltende Anforderungen der Altholzqualität und segmentiert diese in verschiedene Kategorien (I-IV) für unterschiedliche Anwendungsbereiche. In der stofflichen Nutzung und auch bei der Herstellung von Holzwerkstoffen (inkl. WPC), müssen Schadstoffgrenzwerte der Kategorie I-III eingehalten werden.[361]

5.2.2 Marktsegmente und Produkte

5.2.2.1 Biobasierte Kunststoffe

Seit Ende der 80er Jahre wurde gezielt eine zunehmende Anzahl von biologisch abbaubaren Kunststoffen - überwiegend auf Basis nachwachsender Rohstoffe - entwickelt. Hier stand insbesondere die Abbaubarkeit als neue Entsorgungsoption für Kunststoffe bzw. Kunststoffverpackungen im Vordergrund. Diese Gruppe der biobasierten und bioabbaubaren Werkstoffe hat vor ca. 25 Jahren den Begriff der Biokunststoffe geprägt.

Inzwischen hat die Herstellung einiger dieser überwiegend als kompostierbar entwickelten biobasierten Kunststoffe der ersten Generation einen annähernd industriellen Maßstab erreicht. Umgekehrt handelt es sich bei den nachrückenden Generationen zu meist um biobasierte und zugleich beständige Kunststoffe. Diese biobasierten und beständigen Biokunststoffe werden aufgrund der „einfach" ausgetauschten Rohstoff-Basis auch als sogenannte **„Drop-In Lösung"** bezeichnet. Sie haben oftmals eine ähnliche oder gar identische chemische Struktur und damit ähnliche Verarbeitungs-, Gebrauchs und Entsorgungseigenschaften wie ihre petrochemischen „Vorfahren". Zudem können die Synthesewege der konventionell petrochemischen Kunststoffe unter dem alternativen Einsatz biogener Rohstoffe beibehalten werden. Es werden dazu beispielsweise für Polyethylen (Bio-PE), einige Polyamide (Bio-PA), Polyurethane (Bio-PUR) oder verschiedene Polyester wie PET statt der konventionellen petro-basierten Rohstoffe u.a. biogene Alkohole oder biobasierte Hydroxycarbonsäuren eingesetzt (siehe Abbildung 95). Im Hinblick auf die aktuelle Entwicklung der biobasierten Kunststoffe ist eine deutliche Bewegung erkennbar: der Fokus verlagert sich bei der Materialentwicklung von der Kompostierbarkeit als Entsorgungsoption zum Einsatz „grüner" Rohstoffe, d.h. langfristig verfügbare Ressourcen treten als Rohstoff für Kunststoffe wieder zunehmend in den Vordergrund.

[360] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Förder-programm Nachwachsende Rohstoffe, Berlin 2008, S. 11-13 sowie www.bmel.de (Abruf 23.03.2012)

[361] Bundesministerium der Justiz (BMJ): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Berlin 2002, 2005

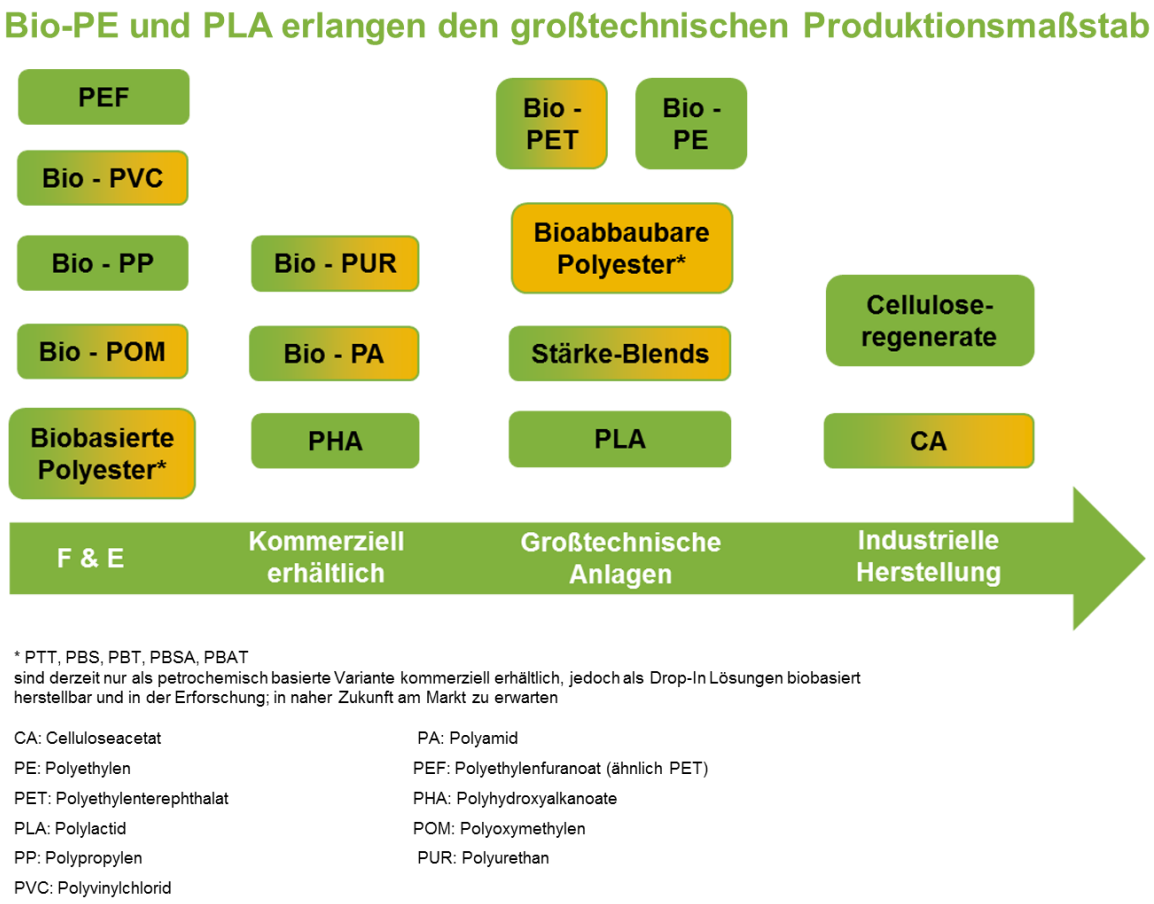

Abb. 96: Produktionsmaßstab biobasierter Kunststoffe 2011[362]

Im Rahmen dieser Studie wurden die sich derzeit noch im Pilotmaßstab oder im F&E-Stadium befindenden biobasierten Kunststoffe nicht berücksichtigt.

Biobasierte Kunststoffe werden derzeit bereits in vielen Bereichen eingesetzt. Eine Einteilung der Anwendungssegmente gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamtes hat sich als schwer durchführbar erwiesen. Die von den Herstellern angegebenen Marktsegmente sind nicht deckungsgleich mit der Einteilung des Statistischen Bundesamtes. Gerade innovative Anwendungsgebiete wie beispielsweise biologisch abbaubare Agrarfolien zum Unterpflügen oder Mülltüten für die Biotonne sind neue Anwendungsfelder, die mit der vorgegebenen Struktur des Statistischen Bundesamtes nicht zu vereinen sind. Biobasierte Kunststoffe selbst werden in der Segmentierung des Statistischen Bundesamtes aufgrund ihres geringen Marktanteiles selten erwähnt. Es musste daher eine übergeordnete Einteilung der signifikanten Anwendungsgebiete für Biokunststoffe erarbei

[362] Modifiziert nach H.-J. Endres; A. Siebert-Raths “Engineering Biopolymere“, Carl Hanser Verlag 2011, S.21; grün steht als Indiz für den biobasierten Werkstoffanteil

tet werden, die u.a. mit Biokunststoffherstellern abgeglichen wurde. Aufgrund der Vielzahl an Anwendungsgebieten für biobasierte Kunststoffe wurden folgende Segmente für eine weiterführende Marktdarstellung gewählt:

- Konsumgüter
- Sonstige Verpackungen
- Technische Anwendungen
- Baumaterialien
- Pharmaprodukte / Medizin
- Cateringprodukte
- Landwirtschaftliche Bedarfsgüter
- Tragetaschen
- Bioabbaubare Müllbeutel
- Flaschen

Beispiele für Anwendungen im Verpackungsbereich sind Flaschen, Flachfolien, formstabile Tiefziehschalen, Blasfolien für Beutel oder Tragetaschen oder Obstnetze. In diesem Bereich sind, neben den bioabbaubaren, zunehmend die biobasierten beständigen Kunststoffe zu finden (beispielsweise das Bio-PET für Getränkeflaschen oder das Bio-PE als biobasierter Kunststoff mit hoher Wasserdampfsperrwirkung in Kosmetikverpackungen).

Weitere wichtige Bereiche für beständige biobasierte Kunststoffe sind Anwendungen außerhalb des Verpackungsbereiches, d.h. z.B. Konsumprodukte im Sport- und Freizeitsektor, im Haushalt oder Büroartikel sowie technische Anwendungen im Elektro- oder Automobilbereich.

Werden biobasierte Kunststoffe in Bioabfallsäcken, in der Landwirtschaft und im Gartenbau oder Medizinbereich eingesetzt, so steht ihre Abbaubarkeit entsprechend der jeweiligen Anforderungen im Vordergrund.

Eine Aufteilung der biobasierten Kunststoffe nach Produktionsmengen in Jahrestonnen und Marktsegmenten können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden. Die folgende Tabelle zeigt zugehörige Anwendungsbeispiele.

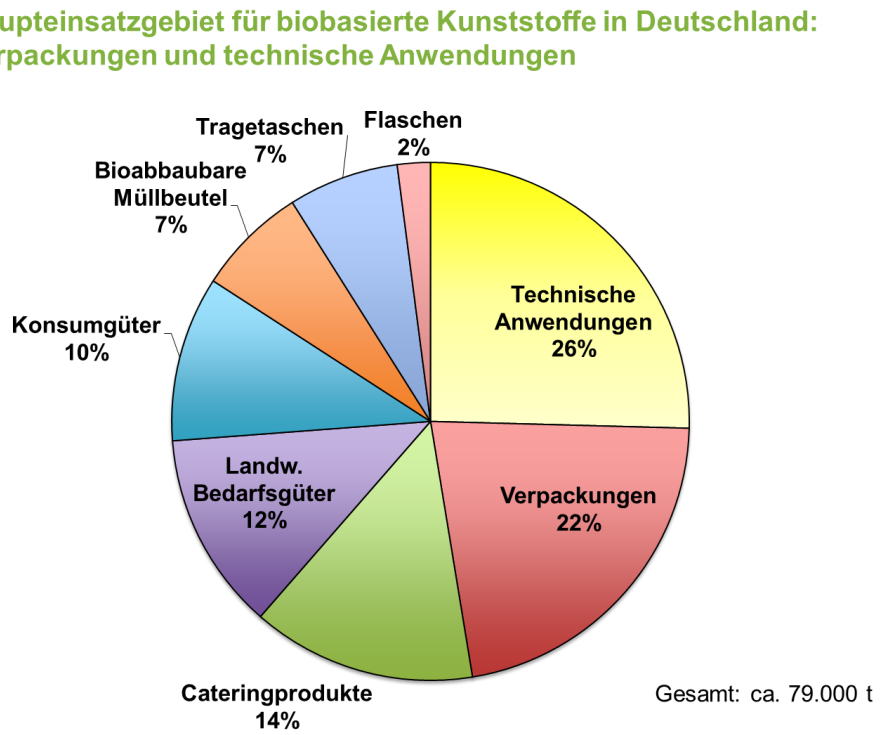

Abb. 97: Produktionsmengen biobasierter Kunststoffe nach Marktsegmenten in Deutschland (2011)[363]

Beispiele für Anwendungen biobasierter Kunststoffe in wichtigen Marktsegmenten

Konsumgüter	Technische Anwendung	Flaschen	Sonstige Verpackungen	Pharmaprodukte / Medizin
Haushaltsnahe Produkte Badzubehör, Kosmetik und Hygienebereich, Gießkannen, Staubsauger, Personenwaagen, Trinkhalme	*Elektroartikel* Gehäuse für Computermäuse, Tastaturen, Telefone, Handys sowie Kabelisolierungen	Streck- und extrusionsgeblasene Flaschen aus PLA und Bio-PET	*Lebensmittelbereich* Formstabile Flachfolien, Blasfolien, Transportnetze *Sonstige* Luftpolster/LoosFill, Warmschrumpffolien	Implantate und Knochenschrauben, Tablettenkapseln
Bürobedarf Schreibgeräte, Korrekturroller, Lineale	*Automotive* Schläuche, Schäume, Fußmatten, Airbagabdeckung, Bauteile aus NFK und technische Biopolymere			
Spielwaren Brettspiele, Sandkastenzubehör	**Baumaterialien** Werkzeuggriffe, Dübel, Bio-PUR-isolierungen, Dämmstoffe, Terrassen-Beläge, Teppiche und Bodenbeläge	**Cateringprodukte** Wegwerfbesteck und -geschirr	**Landwirtschaftliche Bedarfsgüter** Agrarfolien und -vliese, Dispenser, Pflanzentöpfe	
Möbiliar Stühle, Obst- und Objetdesignerschalen *Sport & Freizeit* Golftees, Skischuhe, Wanderstöcke, Brillengestelle, Uhrengehäuse, Lautsprecher, Schmuck				

Abb. 98: Beispiele für Anwendungen von Biokunststoffen in wichtigen Marktsegmenten[364]

[363] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung, Angaben in Jahrestonnen

[364] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung

5.2.2.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Bei den biobasierten Verbundwerkstoffen haben in Deutschland die NFK etwa den gleichen Marktanteil wie die WPC. WPC werden hauptsächlich im Bereich der Baumaterialen eingesetzt und deshalb in Kapitel 10 „Bauen und Wohnen“ gesondert betrachtet. Grund für den Einsatz von Holzmehl als Füllstoff ist vorrangig eine Kosten- und Gewichtsreduzierung. In der Automobilindustrie kommen WPC für flächige, nicht sichtbare und mechanisch nicht sehr hoch beanspruchte Bauteile wie z.B. kaschierte Türinnenverkleidungen zum Einsatz. Vereinzelt finden WPC Anwendung im Konsumgüterbereich (Office- und Freizeitartikel).

NFK hingegen werden überwiegend in technischen Anwendungen eingesetzt., Die Verteilung erfolgt zu zwei Dritteln auf den PKW- Bereich und zu einem Drittel auf den LKW-Bereich.. Die gesamte Darstellung der Einsatzgebiete von NFK in Deutschland zeigt die nachfolgende Abbildung.

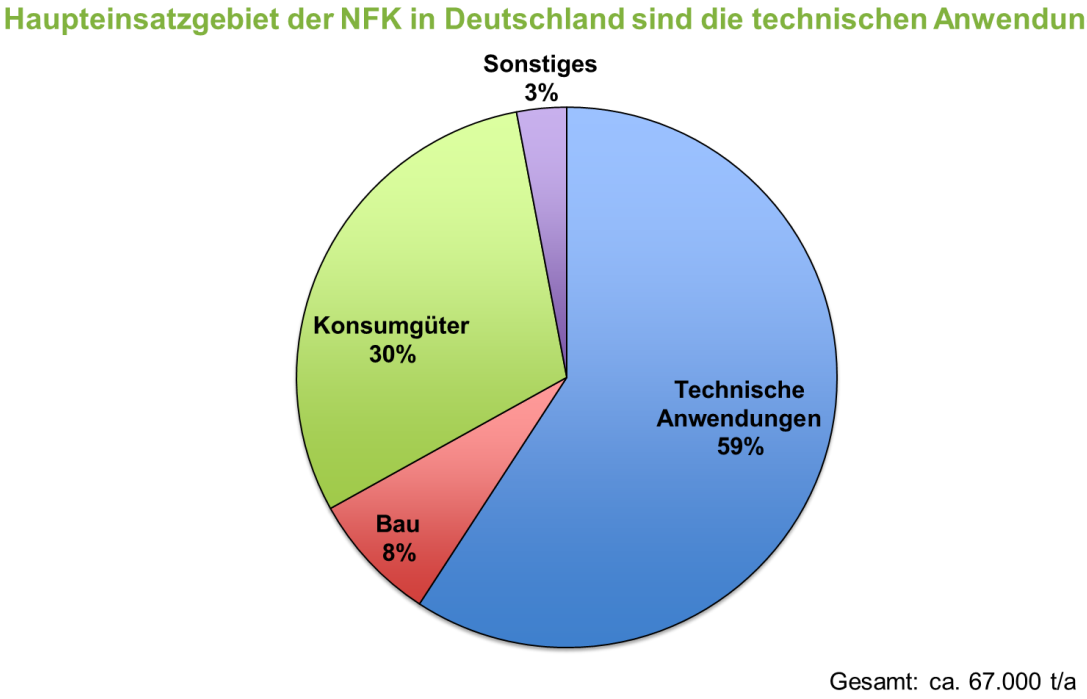

Abb. 99: Anwendungsgebiete der NFK/ in Deutschland 2011[365]

In der Automobilindustrie werden NFK konkret für Bauteile wie Kofferraumauskleidung, Hutablage und Türinnenverkleidung im PKW-Bereich sowie als Innenverkleidung des Führerhauses bei LKWs eingesetzt. Heutzutage besitzen sämtliche PKW-Neuwagen Komponenten aus naturfaserverstärkten Kunststoffen mit einem Faseranteil von durchschnittlich ca. 3,5 kg Fasern pro Pkw. Folgende Qualitätsmerkmale begünstigen den NFK-Einsatz in der PKW Anwendung:

[365] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Herstellerbefragung

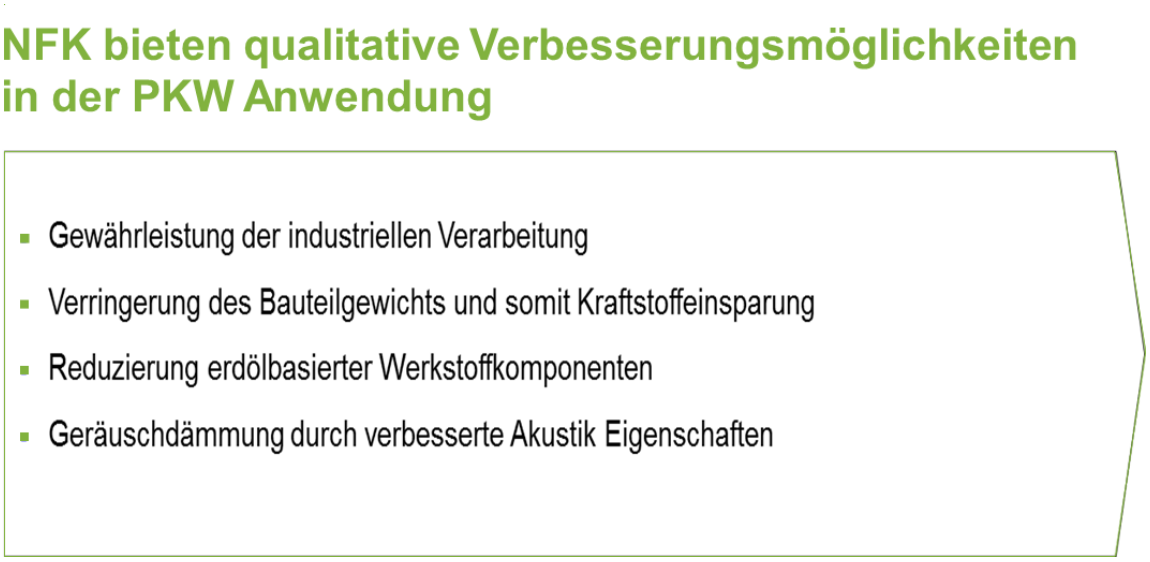

Abb. 100: Verbesserungspotenziale durch den NFK-Einsatz im Automobilbereich

Hersteller von biobasierten Kunststoffen, NFK und WPC in Deutschland

Im Bereich der biobasierten Kunststoffe befinden sich ca. 20 Hersteller am Produktionsstandort Deutschland, darunter bekannte Chemiekonzerne sowie mittelständische Firmen. Diese sind in der folgenden Tabelle als Überblick dargestellt. Aufgrund der Rohstoffverfügbarkeit gehört Deutschland im weltweiten Vergleich nicht zu den größten Produktionsstandorten, hier kristallisieren sich Asien und die USA sowie Südamerika als zukünftig bedeutendste Länder heraus. Jedoch liegt das Know-how für die Entwicklung der biobasierten Kunststoffe, den Kunststoffmaschinenbau und die Kunststoffverarbeitung, weiterhin in Europa. Innerhalb Europas nimmt Deutschland allerdings eine wichtige technische und ökologische Vorreiterrolle ein.

Die führenden produzierenden Länder in Europa sind im Bereich der biobasierten Kunststoffe Deutschland, Italien, BeNeLux und Frankreich. Im NFK- und WPC-Bereich sind es Deutschland, Österreich, Benelux und Skandinavien. 2011 waren im WPC/NFK-Bereich insgesamt ca. 50 von über 100 der europäischen Hersteller und drei von sechs der absatzstärksten Hersteller in Deutschland/Österreich ansässig[366]. In Deutschland werden hauptsächlich Spritzgussteile für Möbel, Verpackungen und den Automobilbau produziert.

[366] Haider, A., et al. Market oppertunities for bio-based-composites. [Vortrag bei "Biobased Materials – 9th WPC, Natural Fibre and other innovative Composites Congress"].
S. PL7 1-9, Stuttgart, 19-20. 06 2012

Abb. 101: Beispiele für Marktakteure im Bereich WPC, NFK und biobasierte Kunststoffe in Europa mit Schwerpunkt Deutschland

5.2.3 Rohstoffe und Zwischenprodukte

5.2.3.1 Biobasierte Kunststoffe

Für die Herstellung biobasierter Kunststoffe werden Cellulose (Zellstoff), Stärke und Zucker sowie Pflanzenöle und darauf basierende Folgeprodukte als Rohstoff- oder Werkstoffkomponenten eingesetzt. Die folgende Tabelle gibt einen vereinfachten Überblick über die in der Herstellung der einzelnen Kunststoffe eingesetzten Prozessstoffe und deren Rohstoffursprung. Lignine und Proteine, sowie Rest- und Abfallstoffe stehen als zukünftige Roh- und Prozessstoffe im Fokus von Forschung und Entwicklung.

Stärke ist ein wichtiger Rohstoff in der Herstellung biobasierter Kunststoffe

Rohstoff	Zwischenprodukt	Biobasierter Kunststoff
Zucker/Stärke	• Milchsäure • Bernsteinsäure • Ethanol • Butanol • Lysin	• Polymilchsäure (PLA) • PBS • Bio-PE • Bio-PET • Bio-PA 6
Pflanzenöle	• Fettsäuren • Dialkohole • Dianime • Polyole	• Bio-PA 6 • Bio-PUR
Zucker/Stärke	-	• Polyhydroyalkanoate (PHA)
Stärke	-	• Thermoplastische Stärke (TPS) • Stärkeblends (TPS + PP)
Cellulose	-	• Celluloseregenerate • Celluloseacetate • Funktionspolymere

Abb. 102: Beispiele für Rohstoffe / Zwischenprodukte und deren Hauptanwendungen[367]

Die nachfolgende Abbildung stellt den Rohstoffbedarf zur Produktion biobasierter Kunststoffe in Deutschland dar. Die Rohstoffmengen wurden anhand der Produktionskapazitäten der in Deutschland produzierten biobasierten Kunststoffe mittels eigens erstellter Konversionspfade zurückgerechnet. Sofern Blends von biobasierten mit petrochemisch basierten Kunststoffen in die Produktionskapazitäten einflossen, wurde nur der biobasierte Anteil des Gesamtkunststoffes betrachtet.

[367] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Naturschutz und Reaktorsicherheit: Zukunftsmarkt-Technologien zur Stofferkennung und -trennung, Berlin 2009

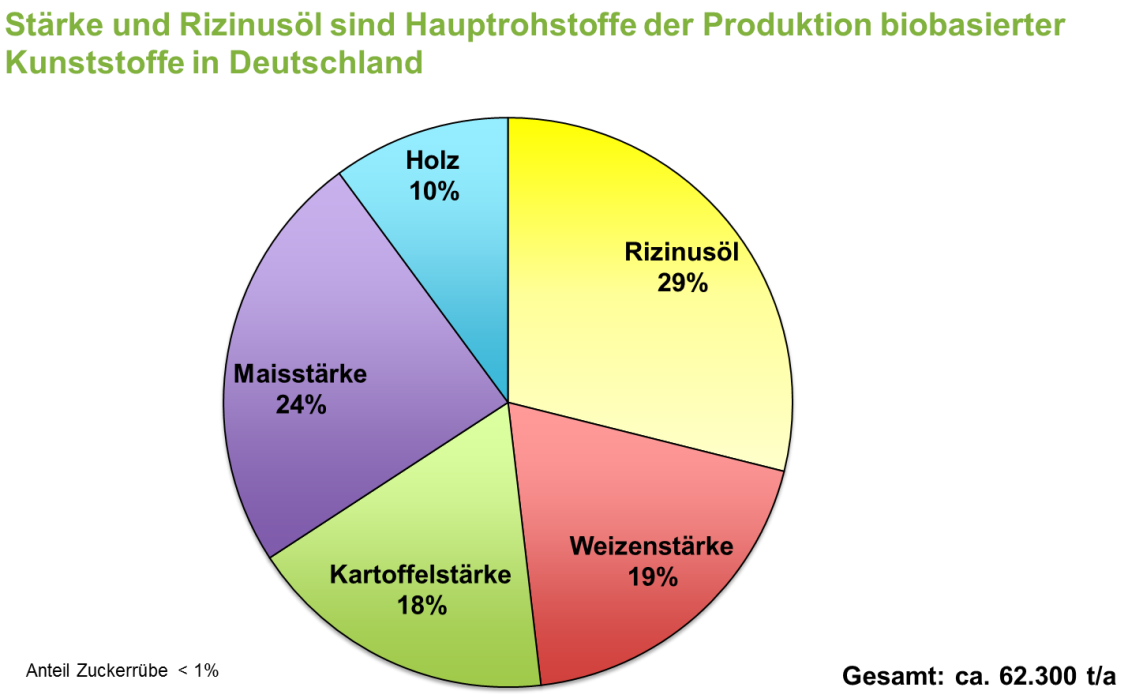

Abb. 103: Rohstoffbedarf zur Produktion biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2011[368]

[368] www.faostat.com (Abruf: 06.12.12)

5.2.3.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Für die NFK Herstellung werden nachwachsender Rohstoffe hauptsächlich in Form von Pflanzenfasern als Verstärkungskomponente eingesetzt.

Laut Herstellerbefragung macht der biobasierte Werkstoffanteil in einem NFK oder WPC 20% bis 90% aus. In der Regel liegt der Anteil der Fasern bei NFK im unteren Bereich von 20 - 45%, während bei WPC meist die höheren Füllgrade von 40 - 70% realisiert werden.

Ein maximaler Anteil der biobasierten Komponenten in Höhe von 100% lässt sich dadurch erreichen, indem nicht nur die Naturfaser als biobasierte Verstärkungskomponente, sondern auch ein nahezu 100% biobasiertes Polymer wie PLA als Matrix mit einer Naturfaser zur NFK-Herstellung eingesetzt wird.

Außerdem können und werden zukünftig auch vermehrt biobasierte Matrices mit nicht biobasierten Fasern verstärkt. In der Marktbetrachtung kommen diese neuartigen Verbundwerkstoffe allerdings nicht zum Tragen, da sich diese Materialien überwiegend noch im Entwicklungsstadium befinden und noch nicht kommerziell erhältlich sind.

Fasern als Rohstoff zur Produktion von NFK und anderen biobasierten Verbundwerkstoffen

Zur Produktion naturfaserverstärkter Kunststoffe werden in Deutschland hauptsächlich Holzfasern und importierte Pflanzenfasern wie Kenaf oder Baumwolle eingesetzt. Heimische Pflanzenfasern wie Flachs oder Hanf spielen keine dominierende Rolle als Verstärkungsfaser. Die nachfolgende Abbildung stellt verwendete Naturfasern in ihrer Verteilung für Deutschland dar. Der Anteil an Holzmehl, der für die Produktion der WPC eingesetzt wird ist hier nicht berücksichtigt. Bei ca. 60.000 t/a WPC (ohne Terassendeckings) ergibt sich bei Annahme eines Holzanteiles von durchschnittlich 60% eine Menge von ca. 36.000 Tonnen Holzverbrauch für WPc pro Jahr. Die Einsatzmengen der Pflanzenfasern wurden basierend auf der NFK-Produktionsmenge (ca. 67.000 t/a) mit einem durchschnittlichen Naturfaseranteil von 40% ermittelt. Die Verteilung wurde anhand der Herstellerangaben vorgenommen.

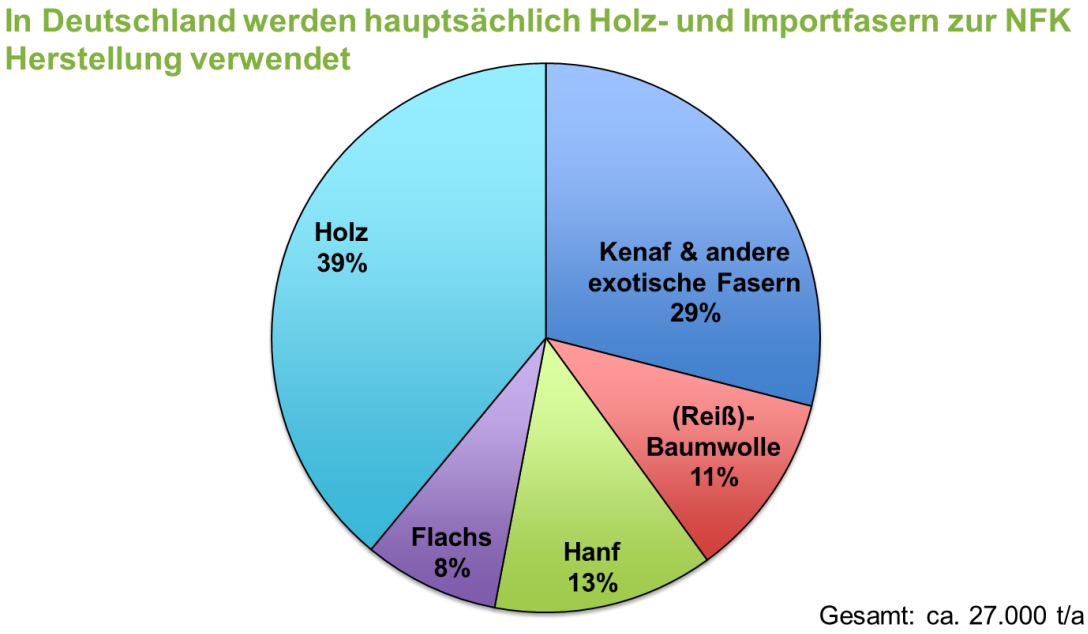

Abb. 104: Einsatz an Naturfasern für die NFK Produktion in Deutschland[369]

Für den Einsatz in biobasierten Verbundwerkstoffen sind neben dem erfolgreichen Einsatz von pflanzlichen Naturfasern in NFK auch weitere biobasierte Fasern denkbar. In der folgenden Abbildung sind verschiedene wichtige Faserarten dargestellt. Auf der rechten Seite des Bildes ist ergänzend dazu die Möglichkeit zur Herstellung dieser verschiedenen Fasern durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe aufgezeigt.

[369] www.faostat.com (Abruf: 06.12.12); Scheer-Triebel M.. & J. Léon: Industriefaser – Qualitäts-beschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview, Bonn, 2000; FNR 2012, http://mediathek.fnr.de/media/downloadable /Files/Samples/p/f/pflanzen_fuer_industrie_und_energie.pdf; IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Hannover 2012 eigene Berechnungen

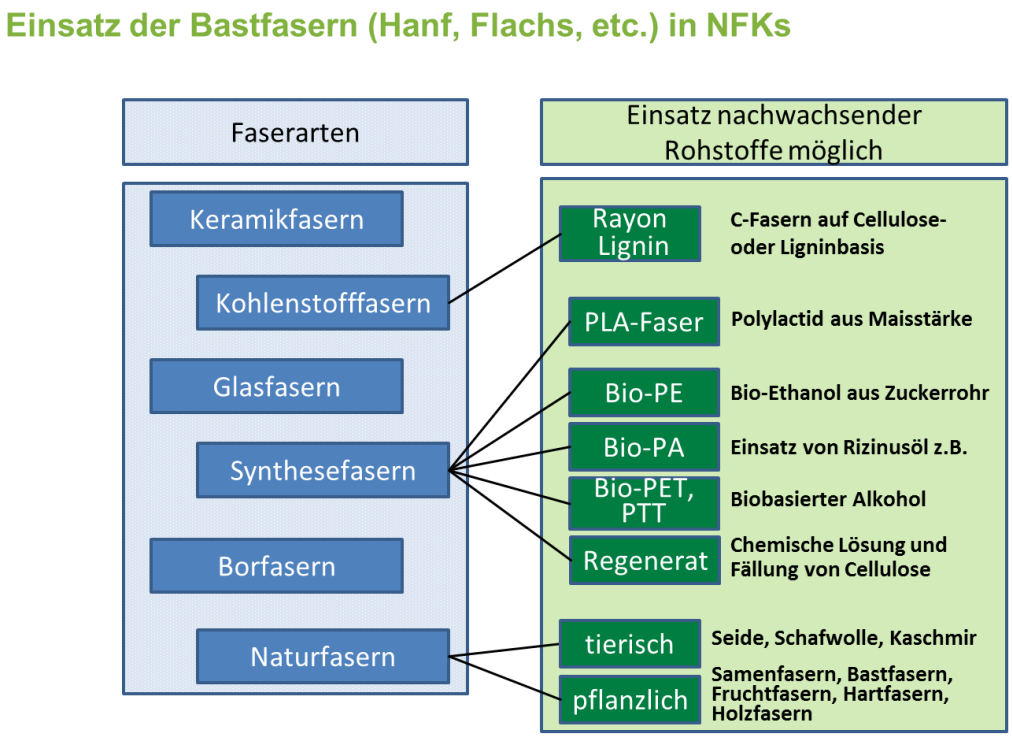

Abb. 105: Übersicht der Möglichkeiten zur Herstellung verschiedener biobasierter Fasern[370]

Generell sind nur Keramik-, Glas- und Borfasern aufgrund ihrer Herkunft und Beschaffenheit nicht durch nachwachsende Rohstoffe ersetzbar. Dagegen können petrochemische Rohstoffe bei der Herstellung von synthetischen Kohlenstoff- und Polymersynthesefasern durch nachwachsende Rohstoffe substituiert werden.

[370] Modifiziert H.-J. Endres; T. Koplin; C. Habermann: Technology and Nature Combined, München 2012, S.19

Kohlenstofffasern:

Bei der Herstellung von Kohlenstofffasern werden Polyacrylnitrilfasern (PAN), Teer bzw. Pech oder Viskosefasern als Rohstoffe eingesetzt. Die Kohlenstofffasern, welche aus Viskosefasern hergestellt werden, weisen im Vergleich zu den anderen Ausgangsstoffen eine weniger solide Struktur auf, weshalb sie vorwiegend als Isolierwerkstoffe eingesetzt werden. Aktuell gibt es daher einige Forschungsansätze, Kohlefasern auch auf Basis biogener Kohlenstoffe, wie z.B. aus Lignin oder thermoplastischen, biobasierenden Kunststoffen, zu erzeugen. Aus Pech bzw. Teer hergestellte Kohlenstofffasern können theoretisch sowohl aus petrochemisch basierendem Pech als auch aus nachwachsenden Rohstoffen wie z.B. Holz gewonnen werden. Die meisten Kohlefasern für technische Anwendungen basieren derzeit noch auf einer petrochemischen PAN-Faser als Vorstufe aufgrund einer auf diese Fasern optimierten Prozesstechnik.

Biobasierte Kunststofffasern:

Mit der Weiterentwicklung der biobasierten Verbundwerkstoffe und der Möglichkeit, Fasern biobasiert darstellen zu können, wird auch an der Erzeugung synthetischer Verstärkungsfasern auf Basis thermoplastischer biobasierter Kunststoffe gearbeitet. Durch den Einsatz von biobasierten Kunststoffen wie PLA, PA oder Bio-PET kann auch bei Fasern die Erdölabhängigkeit deutlich gesenkt werden. PLA-Fasern basieren z.B. auf Milchsäure, die biotechnologisch aus Stärke erzeugt wird und sind nahezu zu 100% biobasiert.

Die Herstellung von biobasiertem Polyamid (Bio-PA) ist z.B. durch die Gewinnung von Sebacinsäure und Undecensäure aus Rizinusöl, sowie Azelainsäure aus Ölsäure möglich. Der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen variiert bei der Herstellung von Bio-PA. Ein Bio-PA610 basiert z.B. zu 63%, ein Bio-PA1012 zu 45 % und ein Bio-PA1010 bis zu 100% auf nachwachsenden Rohstoffen[371]. Aus diesen Bio-PA können ebenso wie aus herkömmlichen Polyamid Fasern hergestellt werden.

Bei der Herstellung von Bio-Polyethylenterephthalat (Bio-PET) oder Polytrimethylterephthalat (PTT) als Faserpolymer wird die Alkoholkomponente durch nachwachsende Rohstoffe (Bioalkohol) ersetzt. Der biobasierte Werkstoffanteil liegt daher bei ca. 30 %. Dabei kann auch bei Faseranwendungen davon ausgegangen werden, dass eine Faser aus einem Bio-PET als Textil- oder Verstärkungsfaser die gleichen Eigenschaften aufweist, wie bekannte konventionelle PET-Fasern.

Cellulose basierte Chemiefasern:

Durch die intensive Weiterentwicklung der Herstellungs- und Nachbehandlungsverfahren sind auf dem Markt neben den Viskosefasern verschiedenste weitere Celluloseregeneratfasern (z.B. Modalfasern) mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen erhältlich. Ausführliche Informationen hierzu sind in den Abschnitten 6.1.4.3, 6.4.1 sowie in Abschnitt 4 zu finden.

[371] Brehmer, B.: Beständig und umweltfreundlich, Kunststoffe (102), 2012, S. 72-75

5.2.4 Technologien und Konversionsverfahren

5.2.4.1 Biobasierte Kunststoffe

Als Prozessstoffe für die Herstellung von biobasierten Kunststoffen werden vorrangig Produkte aus Bioraffinerie und Biotechnologie, also letztlich „grüne“ Grundchemikalien eingesetzt. Die aus Stärke und Zucker gewonnenen Fermentationsprodukte Ethanol/Butanol, Milchsäure/Bernsteinsäure stellen hier den größten Anteil. Ethanol und Butanol werden zur Erzeugung von Bio-PE und Bio-PET benötigt, den absatzstärksten Biokunstsoffen weltweit. Milchsäure ist ein Ausgangsrohstoff für die Herstellung von PLA, PBS wird aus Bernsteinsäure gewonnen. Keiner dieser biobasierten Kunststoffe wird jedoch in Deutschland produziert. Ausführliche Beschreibungen der Technologien und Konversionsverfahren in der Herstellung von Grundchemikalien sind im Abschnitt 4.1.4 zu finden.

Die durch Raffination von Pflanzenölen gewonnenen Fettsäuren, Diamine und Polyalkohole werden für die Herstellung von Bio-Polyurethanen und Bio-Polyamiden verwendet. Die Produktion von Bio-PA und Bio-PUR findet teilweise in Deutschland statt, jedoch werden Rizinusöl als Hauptrohstoff und Folgeprodukte importiert. Die Prozessschritte zur Verarbeitung von Pflanzenölen werden im Kapitel Oleochemie und kurz im Kapitel Chemiekalien behandelt.

Cellulosebasierte Kunststoffe wie Celloloseregenarate und Celluloseacetate zählen zu den gängigsten, da ältesten biobasierten Kunststoffen. Als Prozessstoff wird hier Chemiezellulose, also Zellstoff eingesetzt, der zu 90 % nicht in Deutschland produziert wird. Auch die Herstellung der Werkstoffe selber findet nur noch in geringem Umfang in Deutschland statt. Im Kapitel Papier, Pappe und Kartonage unter 6.1.4 wird näher auf die Herstellung und weitere Verwendung des Chemiezellstoffes eingegangen.

Neben den aus biobasierten Grundchemikalien erzeugten Kunststoffen existieren aber auch weitere, die direkt durch die Nutzung und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe entstehen. Tragender Rohstoff ist hier aus Mais, Getreide oder Kartoffeln gewonnene Stärke. Weiterführende Informationen zum Rohstoff Stärke sind in Kapitel 2.3.2 zu finden.

Im Folgenden sollen kurz die Technologien und Konversionsverfahren zur Herstellung der Biokunststoffe selber erläutert werden. Grundsätzlich unterscheiden sich die Herstellverfahren in:

1. Chemische Synthese biotechnologisch hergestellter Polymerrohstoffe
2. Direkte Biosynthese der Polymere
3. Modifizierung von molekularen, nachwachsenden Rohstoffen
4. Herstellung von Mischungen/Blends aus diesen Gruppen sowie auch mit petro-basierten abbaubaren Polymeren

Die folgende Tabelle stellt im Überblick die verschiedenen Herstellmethoden zur Kunststoffproduktion mit Beispielen dar.

Herstellmethoden zur Produktion biobasierter Kunststoffe

Herstellverfahren	Beispiele für biobasierte Kunststoffe
Biobasierte synthetische Polymere Biotechnologische Herstellung	- Polymilchsäure (PLA) - Bio-Polyethylen (Bio-PE) - Bio-Polyester - Bio-Polyurethan (Bio-PUR) - Bio-Polyamide (Bio-PA)
Natürlichen Polymere Direkte Biosynthese	- Polyhydroxyalkanoate (PHA) - Polyhydroxybutyrat (PHB)
Modifizierung von molekularen nachwachsenden Rohstoffen	- Celluloseregenerate - Derivate der Stärke - Derivate der Cellulose
Mischungen/Blends	- Stärke- und Celluloseblends - PLA-Blends - Polyester-Blends

Tab. 24: Übersicht der verschiedenen Herstellmethoden biobasierter Kunststoffe[372]

Weiterführende Angaben zu den eingesetzten Rohstoffen und Zwischenprodukten, den Konversionsrouten sowie Anwendungen einiger biobasierter Kunststoffe werden im Folgenden kurz anhand der jeweiligen Herstellprozesse erläutert.

Biobasierte synthetische Polymere

Polylactide (PLA)

In dieser Gruppe ist derzeit mit großem Abstand das auf Milchsäure basierende Polylactid (PLA oder PolyLacticAcid) der mengenmäßig wichtigste biobasierte Kunststoff. Milchsäure (2-Hydroxypropionsäure) ist eine ubiquitäre, natürliche, in den zwei optisch aktiven Formen der L(+)- und D(–)-Milchsäure vorkommende Säure. Neben ihrem Einsatz als Biokunststoffbaustein wird sie technisch insbesondere auch als Säuerungsmittel, Geschmacksstoff und Konservierungsmittel in der Lebensmittelindustrie, der Textil-, der Leder- und der pharmazeutischen Industrie sowie als Ausgangsstoff zur Synthese einer Vielzahl von weiteren Chemikalien wie z. B. Acetaldehyd verwendet.

Etwa 70 – 90 % des Weltproduktionsvolumens an Milchsäure wird auf fermentativem Wege hergestellt.[373] Der biotechnologische Herstellungsweg für die Milchsäure und die

[372] H.-J. Endres; A. Siebert-Raths “Engineering Biopolymere“, Carl Hanser Verlag, München 2011, S. 72

[373] European Commission, Joint Research Centre (DG JRC): Technoeconomic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe, Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg 2005, Wolf, O. (Ed.) et al.: Techno-economic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe, Technical Report EUR 22103 EN, Brüssel 2005

anschließende Erzeugung des Polylactids ist jedoch mit einem gewissen verfahrenstechnischen Aufwand verbunden und bestimmt neben den Substratkosten daher auch wesentlich die Herstellkosten und die Ökobilanz. Der besondere Vorteil von PLA liegt vor allem auf der effizienten mikrobiologischen „Veredelung“ eines breiten biogenen Rohstoffbandes zuckerhaltiger Nährstoffe zu Milchsäure mit Umsatzraten von mehr als 95 % des eingebrachten Kohlenstoffs. Bezogen auf das Endprodukt PLA beträgt der Umsatz mehr als 70%.[374]

Abb. 106: Herstellweg PLA (Polylactid)

Bio-Polyurethane (Bio-PUR)

Polyurethane mit der typischen Urethanbindung [-NH-CO-O-] gibt es bereits seit Anfang der 50er-Jahre. Sie werden in der Regel durch Polyaddition von mehrwertigen Alkoholen mit Isocyanaten hergestellt.

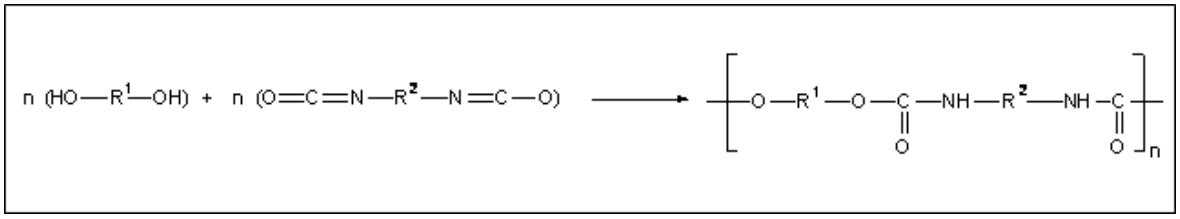

Abb. 107: Allgemeine Bildungsreaktion von Polyurethanen[375]

Abb. 108: Herstellungsweg Bio - PUR

Üblicherweise basieren dabei die beiden Ausgangskomponenten auf petrochemischen Rohstoffen, jedoch können neben den petrochemisch basierten Isocyanaten ebenso biogene Polyole auf Basis pflanzlicher Öle als zweite Komponente eingesetzt werden. Diese mehrwertigen Pflanzenölalkohole können z. B. durch die Umsetzung von Pflanzenöl als Triglycerid mit Glycerin oder durch eine Epoxidierung mit anschließender Ringöffnung resultieren.

374 Holm V.K. et al.: The stability of poly lactic acid packaging films as influenced by humidity and temperature, Journal of Food Science, Jg. 71, 2006; Jacobsen, S.: Darstellung von Polylactiden mittels reaktiver Extrusion (Dis.), [Hrsg.] Institut für Kunststofftechnologie Universität Stuttgart, Stuttgart, 2000; Mühlbauer, U.: Die Machbarkeit von Milchsäure- und Polylactidanlagen, Tagung „Bio raffiniert III – Von der Vision zur Machbarkeit“, Gelsenkirchen 2006

375 N.N.: Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, [Hrsg.] H. Römpp, 1995

Werden biogene Polyole als Ausgangskomponente verwendet, so wird auch in diesem Fall bereits von Polyurethanen als Biokunststoffen (Bio-PUR) gesprochen, obwohl der Anteil der petrochemischen Rohstoffe meist noch deutlich überwiegt.

Anwendungsgebiete von Bio-Polyurethanen sind Schäume (bspw. Autositze, Fußböden, Matratzen). Eine der ersten Firmen, die kommerziell Bio-PUR-Schäume auf Basis von Pflanzenöl in ihr Programm mit aufgenommen hat, ist die Fa. Metzeler Schaum. Im Automobilbereich wird sojaölbasiertes Polyurethan von der Firma Ford in den USA eingesetzt. Ebenso arbeiten weitere große Chemie- oder Agrarunternehmen wie Bayer Material Science, Dow Polyurethanes oder Cargill an der Erzeugung verschiedener Polyole auf Basis unterschiedlicher Pflanzenöle wie z. B. Soja-, Raps-, Sonnenblumen- oder Rizinusöl als Basis für partiell biobasierte Polyurethane.[376]

Das neuseeländische Unternehmen Genesis Research and Development Corporation arbeitet in diesem Zusammenhang an der Gewinnung von Polyolen auf Basis von Lignin.

Bio-Polyamide (Bio-PA)

Ähnlich ist auch die Situation bei den Polyamiden. Polyamide sind bekannte petrochemische Polymere mit variablem Eigenschaftsprofil. W bei den Bio-PUR handelt es sich auch bei den Bio-PA im Vergleich zu den meisten anderen derzeit bekannten Biokunststoffen um technisch höherwertige Werkstoffe. Auch hier ist grundsätzlich der partielle Einsatz biogener Rohstoffe, insbesondere verschiedener natürlicher Dicarbonsäuren aus Pflanzenölen und deren Spaltprodukten als Ausgangsrohstoff möglich.

Zur Synthese der teilweise oder vollständig biobasierten Polyamide gibt es grundsätzlich folgende drei verschiedene Herstellungsrouten:

- Kondensationsreaktion von biobasierten Dicarbonsäuren mit Diaminen (können ebenfalls biobasiert erzeugt werden)
- Kondensationsreaktion von Aminosäuren (Aminocarbonsäuren) als bifunktionelle Monomere
- Ringöffnungspolymerisation

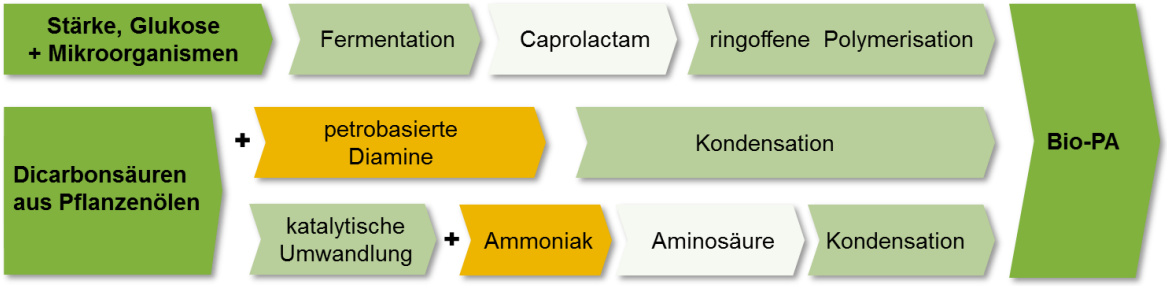

Abb. 109: Herstellungsweg Bio - PA

[376] Härkönen, M. et al.: Properties and Polymerization of biodegradable Thermoplastic Poly(ester)urethane, J. Macromol-Sci. Pure Appl. Chem. Vol. 32, 1995

Anwendungsgebiete der Bio-Polyamide sind aufgrund seiner hohen Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit hauptsächlich in der Automobilindustrie zu finden.

Natürliche Polymere

Im Gegensatz zur fermentativen Erzeugung der Monomere mit einer anschließenden von Menschenhand herbeigeführten Polymerisation, wie z. B. im Falle der Milchsäure zum PLA oder Bioethanol zu Bio-PE, ist hier aufgrund der natürlichen Biosynthese der zusätzliche Syntheseschritt der Polymerisation nicht erforderlich. Innerhalb der natürlichen Polymere werden im Folgenden sowohl die durch direkte Biosynthese erzeugten nicht weiter modifizierten als auch die nachträglich chemisch weiter modifizierten natürlichen Polymere betrachtet.

Polyhydroxyalkanoate (PHA)

Innerhalb dieser, durch direkte Biosynthese erzeugten biobasierten Kunststoffgruppe, sind die sogenannten Polyhydroxyfettsäuren oder Polyhydroxyalkanoate (PHA), die bekanntesten und wichtigsten Vertreter. Polyhydroxyalkanoate sind von Bakterien intrazellulär als Speicher- oder Reservestoff angehäufte Polyester. Es handelt sich um Kunststoffe, welche hauptsächlich aus gesättigten und ungesättigten Hydroxyalkansäuren gebildet werden; daher auch die Bezeichnung Polyhydroxyalkanoate. Neben unverzweigten 3-Hydroxyalkansäuren können auch verzweigte und solche mit substituierter Seitenkette sowie 4- oder 5-Hydroxyalkansäuren als Monomerbausteine auftreten. Auf Basis dieser verschiedenen Monomere entstehen PHA als Homo-, Co- und Terpolymere. Wegen der Vielfalt der Monomere, der Konstitutionsisomerie, variablen Molekulargewichten sowie den zusätzlichen Möglichkeiten zur Herstellung von Blends oder einer chemisch/ physikalischen Modifizierung der Mikrostruktur ergibt sich ein großes Potenzial verschiedenster biobasierter Kunststoffe mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen innerhalb dieser Kunststofffamilie. Im Hinblick auf die große Anzahl theoretisch möglicher PHA kann für die Zukunft jedoch von maximal 10 verschiedenen industriell interessanten PHA ausgegangen werden.

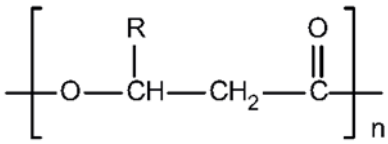

Abb. 110: Allgemeine Struktur von Polyhydroxyalkanoaten (PHA)

Grundsätzlich sind folgende drei verschiedene Möglichkeiten zur biotechnologischen PHA-Herstellung bekannt:

- Bakterielle Fermentation
- Synthese in gentechnisch veränderten Pflanzen
- Enzymatische Katalyse in zellfreien Systemen

Die beiden letzten Methoden besitzen praktisch (noch) keine industrielle Bedeutung.

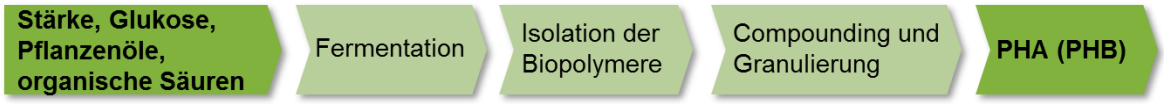

Abb. 111: Herstellungsweg PHA / PHB

Allgemein sind PHA spritzgießtechnisch gut verarbeitbar, wasserunlöslich und dennoch biologisch abbaubar sowie biokompatibel. Darüber hinaus haben sie eine sehr gute Sperrwirkung gegen Sauerstoff und im Vergleich zu anderen biobasierten Kunststoffen eine etwas bessere Sperrwirkung gegen Wasserdampf.

Die fermentative PHA-Erzeugung auf Basis von Zuckerrohr bietet ein Produkt mit höherer Wertschöpfung und Synergieeffekten. Neben dem gewonnenen Zucker als Substrat kann das anfallende Nebenprodukt der Bagasse zur Bereitstellung der Prozessenergie zur PHA-Produktion dienen.[377]

Erste kommerzielle Hersteller verschiedener PHA in kleinerem Maßstab sind Biomer, Tianan, Mitsubishi Gas Chemical Company und PHB Industrial Brasil S.A. Die Fa. Meredian Inc. arbeitet auch an der Entwicklung von PHA-Werkstoffen mit der Werkstoffbezeichnung Nodax. In Deutschland sind keine kommerziellen Hersteller von industriellen Mengen an Polyhydroxyalkanoaten bekannt.

Polysaccharide: Stärke und Cellulose

Cellulose basierte Biokunststoffe stellten vor ca. 100 Jahren, als noch keine petrochemischen Rohstoffe verfügbar waren, die ersten in größeren Mengen industriell produzierten Kunststoffe – und aus heutiger Sicht auch die ersten biobasierten Kunststoffe – dar. Die auf Stärke basierenden Biokunststoffe nehmen die Vorreiterrolle bei den moderneren, seit ca. 25 Jahren erforschten biobasierten Kunststoffe ein, u. a. aufgrund der niedrigen Rohstoffpreise, der guten Verfügbarkeit von Stärke als Rohstoff und der sehr guten Abbaubarkeit.

Stärkebasierte Polymere

Um aus Stärke biobasierte Kunststoffe zu erzeugen, gibt es grundsätzlich verschiedene Methoden. Die Stärke kann als Feedstock für Fermentationsprozesse, als Füllstoff, in destrukturierter Form als additiviertes thermoplastisches Matrixpolymer oder Blendkomponente eingesetzt werden. Die folgende Abbildung stellt diese verschiedenen Routen zur Nutzung von Stärke für biobasierte Kunststoffe dar.

[377] Doi, Y. und Fukuda, K.: Biodegradable plastics and polymers. Proceedings of the Third International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Osaka 1994; Hocking, P., et al.: Enzymatic Degradability of Poly(beta-Hydroxybutyrate) as a Function of Tacticity, Macromolecular Raprid Communication, Jg. 15 , 2003; Kaplan, D. L.: Biopolymers from renewable resources, Springer-Verlag, Berlin 1998; Wolf, O. (Ed.) et al.: Techno-economic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe, Technical Report EUR 22103 EN, Brüssel 2005

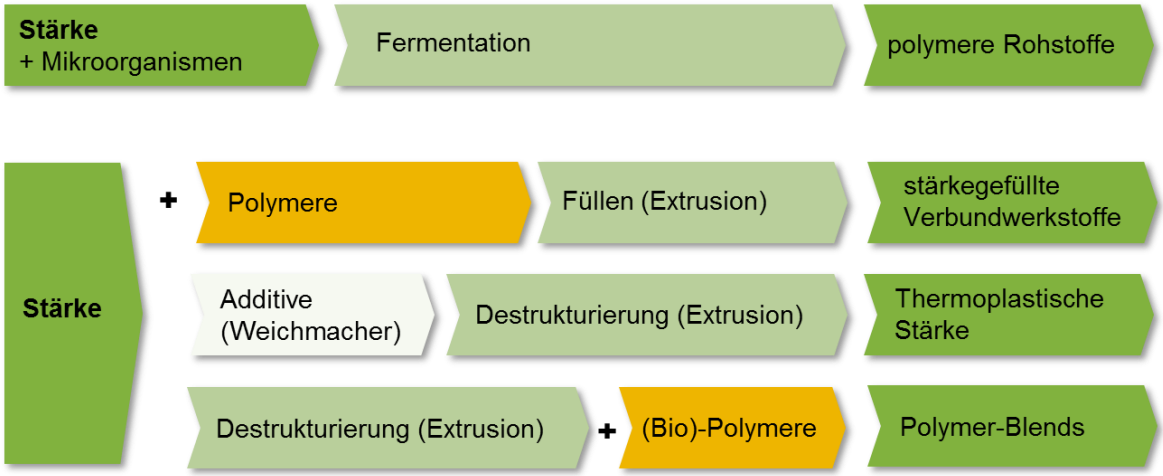

Abb. 112: Biobasierte Kunststoffe auf Stärkebasis

Beim Einsatz von Stärke als Rohstoff für fermentativ erzeugte Polymere handelt es sich um eine Verstoffwechselung von Stärke zur mikrobiologischen Bildung anderer Polymer-Rohstoffe. Neben den schon dargestellten Herstellern spezieller fermentativ erzeugter Polymere stellt die niederländische Fa. Rodenburg biobasierte Kunststoffe auf Basis partiell fermentierter Kartoffelstärkeabwässer her.

Bei der extrusionstechnischen Erzeugung stärkegefüllter, thermoplastischer Verbundwerkstoffe dient die partikel- oder kornförmige Stärke sowohl als preiswerter als auch teilweise als funktionaler Füllstoff. Durch die Stärkekörner können die mechanischen Eigenschaften, wie z. B. E-Modul, verbessert oder das Abbauverhalten beschleunigt werden. Dabei resultiert die verbesserte Abbaubarkeit nicht nur aus dem bevorzugten Abbau der Stärke, die dadurch bedingte Vergrößerung der Oberfläche beschleunigt auch weiter den Abbau des Matrixpolymers.

Grundsätzlich können nicht abbaubare Polymere wie z. B. PE können auch durch das Füllen mit Stärke nicht vollständig abbaubar und insbesondere nicht kompostierbar gemacht werden. Es kommt durch den Abbau der zugänglichen Stärkekörner in der Anfangsphase lediglich zu einer makroskopischen Materialzersetzung (Primärabbau), jedoch nicht zu einem vollständigen Endabbau des gesamten Polymerwerkstoffs.

Im Gegensatz dazu werden bei der sogenannten thermoplastischen Stärke die Stärkekörner extrusionstechnisch destrukturiert und es entsteht ein Thermoplast auf Basis der Stärkemakromoleküle Amylose und Amylopektin. Je nach dem Verhältnis von zugegebener Wassermenge, Scherkräften und Temperatur kommt es dabei zu einer überwiegend thermomechanischen Korndestrukturierung oder eher zu einer thermochemischen, durch Wasser herbeigeführten, Stärkeverkleisterung.

Um technisch einsatzfähige Stärkewerkstoffe z.B. zur Folienherstellung zu erhalten, ist ein Blenden der destrukturierten Stärke mit weiteren oft petrochemisch basierten Polymeren (meist Polyester) notwendig. Bei diesen Stärkeblends liegt der Stärkeanteil zwischen 30% und max. 70 bis 75%.

Cellulosepolymere

Bei den Cellulose Kunststoffen gibt es 2 Hauptgruppen: die Celluloseregenerate und die Cellulosederivate.

Bei Celluloseregeneraten handelt es sich im Wesentlichen um chemisch gelöste und wieder neu in Form von Fasern oder Folien zusammengesetzter Cellulose. Für Celluloseregenerate gibt es eine Reihe von Bezeichnungen. Die bekanntesten Bezeichnungen für faserförmige Produkte sind Viskose, Viskoseseide, Zellwolle, Kupferseide, Modal Lyocell, Rayon oder Kunstseide. Für Folien aus Celluloseregenerat sind es Zellglas, Cellulosehydrat, hydratisierte Cellulose oder Cellophan. Die werkstofflichen Unterschiede der verschiedenen Regenerate sind die im Rahmen der Herstellung verwendeten Lösemittel und die entsprechende Prozessführung sowie unterschiedliche daraus resultierende Eigenschaften.[378]

Die Cellulosederivate umfassen die Untergruppen Celluloseester, diese liegen überwiegend als thermoplastische Kunststoffe vor und Celluloseether, die nicht direkt als Polymerwerkstoffe sondern meist als Additiv in vielen verschiedenen Anwendungen (Farben, Lacke, Emulsionen, Klebstoffen, kosmetischen Produkten,…) eingesetzt werden..

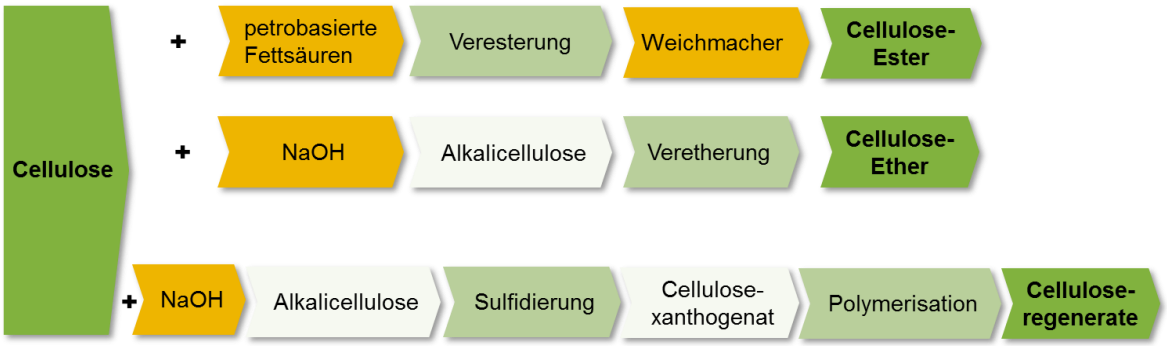

Abb. 113: Cellulose basierte Polymerwerkstoffe

Blends

Durch Blending sind in den letzten Jahren eine Vielzahl neuer biobasierter Kunststofftypen mit deutlich verbesserten Eigenschaftsprofilen entstanden.

Beim Blending biobasierter Kunststoffe werden derzeit überwiegend aus zwei unterschiedlichen Kunststoffen Zweiphasenblends (Biblends oder binäre Blends) erzeugt. Dabei wird verstärkt an der Kompatibilität und der möglichst feinen Dispergierung bzw. Verteilung der verschiedenen Phasen gearbeitet. So muss zum Beispiel zur Hydrophobierung eines hydrophileren Biokunststoffs die kontinuierliche Phase durch die hydrophobe oft noch petro-basierte Komponente gebildet werden. Die meisten biobasierten Kunststoff-

[378] Doi, Y. et al Osaka 1994; Eastman: Tenite cellulosic plastics, From trees to plastic, Kingsport 2005; N.N.: Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, [Hrsg.] H. Römpp, 1995; Seitz, H.: Grundlegende Untersuchungen über den Einfluß einer chemischen Modifizierung auf bestimmte physikalische Eigenschaften von Zellglas als Verpackungsmittel unter besonderer Berücksichtigung polyfunktioneller Verbindungen (Dis.), Universität Karlsruhe, Institut für Lebensmittelchemie, Karlsruhe 1979

blends basieren auf thermoplastischer Stärke, die durch Zugabe anderer Biokunststoffe wie Celluloseacetat, Polycaprolacton oder anderer Polyester hydrophobiert wird und eine deutlich höhere Zähigkeit aufweist. Erst durch das Eincompoundieren anderer Blendkomponenten wird thermoplastische Stärke z.B. zu Folien verarbeitbar. Eine große Anzahl verschiedener Stärkeblends wird von der Fa. Novamont hergestellt und vertrieben. Deutsche Hersteller von Stärkeblends sind u. a. die Fa. Biotec oder BIOP. Weitere aktuelle Stärkeblends sind die Werkstoffe der Fa. Cereplast. Da diese Blends von Cereplast teilweise jedoch aus Stärke und konventionellem Polypropylen bestehen, sind sie als biobasierte Kunststoff umstritten.

Auf Basis von PLA wurden in den letzten Jahren ebenfalls Blends in Mischung mit anderen petrobasierten Polyestern (z.B. PBAT) entwickelt. So stellt die Fa. BASF einen Biokunststoff auf Basis von PLA und ihres eigenen Polyesters unter dem Handelsnamen Ecovio her. Eine Weiterentwicklung dieses Ecovio Werkstoffes ist ein Blend aus PLA und einem partiell biobasierten PBAT (Ecovio FS). Ein weiterer Hersteller von Biopolymerblends in Deutschland ist die Fa. FKuR. Sie verfügt jedoch nicht über die Möglichkeit zur eigenen Herstellung der Ausgangswerkstoffe (Blendkomponenten).

5.2.4.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Zur Herstellung der verschiedenen biobasierten Verbundwerkstoffe gibt es grundsätzlich vier unterschiedliche Verarbeitungsverfahren.[379]

Formpressen:

In der Anwendung wird das Verfahren des thermoplastischen Formpressens zu ca. 65% in der Herstellung von NFK-Bauteilen eingesetzt. Das duroplastische Formpressen wird zu 35% angewendet.

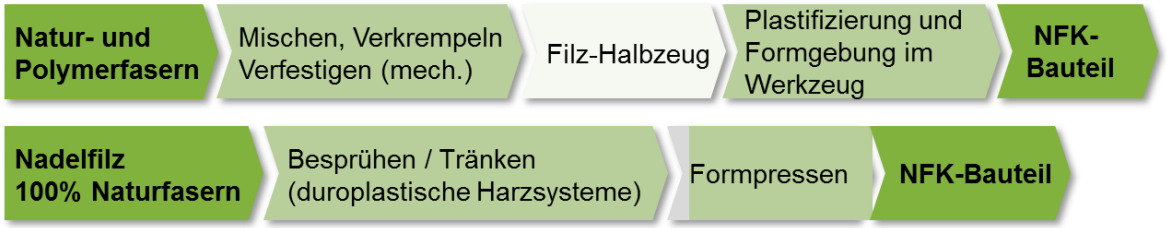

Abb. 114: Prozessschritte der NFK Formpressung

[379] Ehrenstein, G. W.: Faserverbund-Kunststoffe – Werkstoffe – Verarbeitung – Eigenschaften, Carls Hanser Verlag, München 2006; AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V., Handbuch Faserverbundkunststoffe, Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010

Extrusion:

Das Extrusionsverfahren wird hauptsächlich bei der Herstellung von WPC eingesetzt.

Dagegen findet es derzeit im NFK-Sektor noch kaum Anwendung. Bei diesem Herstellungsprozess steht die Erzeugung von Profilen oder von Granulaten für eine weiterführende Verarbeitung im Vordergrund. Im Vergleich zum günstigeren Rohstoff Holz, werden für derartige Anwendungen bisher selten die kostenintensiveren Naturfasern verwendet.

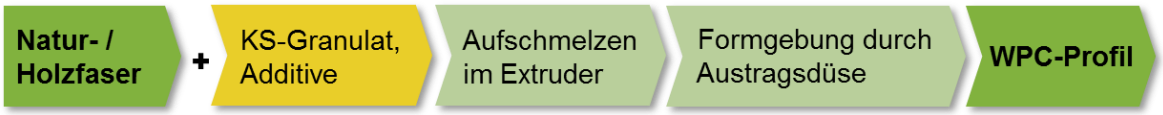

Abb. 115: Prozessschritte der WPC Extrusion

Spritzguss

Die Spritzgusstechnik eignet sich vor allem zur Herstellung von mittleren bis kleinen Bauteilen mit einer aufwändigen Geometrie und hohen Stückzahlen.

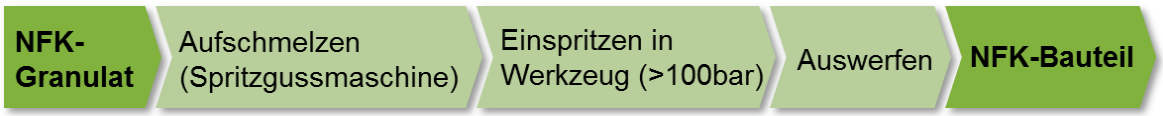

Abb. 116: Prozessschritte des NFK Spritzgießens

Fließpressen:

Beim Fließpressen können duroplastische und thermoplastische Kunststoffe eingesetzt werden. Das Fließpressverfahren füllt die Lücke zwischen der Spritzguss- und Formpresstechnik. Durch einen hohen Druck können im Vergleich zum Formpressen geometrisch aufwändigere Teile geformt werden. Vorteil dieses Herstellverfahrens ist, dass die produzierten Bauteile aufgrund des möglichen Einsatzes von Langfasern hochwertigere mechanische Eigenschaften als beim Spritzgießen aufweisen. Ein Nachteil gegenüber dem Spritzgießen ist die höhere Zykluszeit sowie die weiterhin eingeschränkte Flexibilität hinsichtlich der geometrischen Bauteilgestaltung.

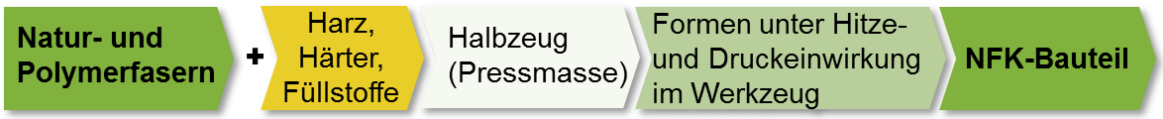

Abb. 117: Prozessschritte des Fließpressens

5.2.5 Preise, Angebot und Nachfrage

5.2.5.1 Biobasierte Kunststoffe

Derzeitig liegen die Granulatpreise für biobasierte Kunststoffe zwischen 1,8 - 13 €/kg. Die obere Preisspanne im Bereich von 10 - 13 €/kg wird in erster Linie durch ein PHA Material der Firma Biomer (PHB) sowie durch verschiedene längerkettige Biopolyamide bestimmt. Die Preise für die anderen, meist bereits in größeren Mengen produzierten biobasierten Kunststoffe, liegen im Bereich von 3 - 7 €/kg. Die folgende Abbildung stellt den Preisver-

gleich verschiedener biobasierter Kunststoffe mit konventionellen Kunststoffen PE und PP dar.

Die zurzeit günstigsten biobasierten Kunststoffe auf dem Markt sind mit einem Preis ab ca. 1,8 €/kg die Polylactide (PLA) und verschiedene Stärke-Blends mit einem Preis von 2,5 bis 5 €/kg. Es ist anzunehmen, dass die Preise für PLA mit derzeit weltweit ansteigenden Produktionskapazitäten weiter sinken werden.

Bei den Bio-Polyestern und den PHA, die gegenwärtig ab 3,5 €/kg erhältlich sind, wird sich der Preis in den nächsten Jahren vermutlich ebenfalls reduzieren. Die Ursache für die derzeitig noch etwas höheren Materialpreise sind nicht nur die kostenwirksamen Rohstoffpreise, sondern ebenfalls geringere Skalierungseffekte bei der Herstellung dieser biobasierten Kunststoffe. Es ist zu vermuten, dass die Produktionskapazität von biobasierten Kunststoffen in Zukunft weiter und signifikant ansteigen wird. Insbesondere die sogenannten Drop-In Lösungen werden sich etablieren. Braskem in Brasilien ist die erste Firma, die Anfang 2011 mit einem biobasierten PE einen Drop-In Biokunststoff im Bereich der Massenkunststoffe auf den Markt gebracht hat. Einer ihrer ersten Hauptkunden in Deutschland ist TetraPack. Weitere Firmen (bspw. Joint Venture Crystalsev Comércio E Representacao Ltda und Dow Chemicals) und Produkte im Bereich der biobasierten Drop Ins zur Substitution von Massenkunststoffen wie ein biobasiertes PP werden folgen.

Die Produktionskapazitäten für die Polyhydroxyalkanoate wie auch PLA sollen in den nächsten Jahren zulegen. Es sind neben den derzeitig bereits existierenden Anlagen (PLA: Natureworks, PHA: Telles) weitere Anlagen in Planung (PHAs: BioMatera, Bio-On srl, Meredian, Tianjin Green BioScience Co. Ltd.).

Ein weiteres wichtiges Marktsegment sind die Bio-Polyamide (Bio-PA), die Bio-Polyurethane (Bio-PUR) und insbesondere in den nächsten Jahren die Bio-Polyethylentherphthalate (Bio-PET). Dieser Markt wird kontinuierlich wachsen und folglich werden deren Materialpreise sinken. Der Fakt, dass diese Kunststoffmaterialien „teilweise“ biobasiert sind, aber die gleichen oder ähnliche Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Entsorgungseigenschaften besitzen wie ihre petro-basierten Pendants macht sie interessant. In Deutschland werden jedoch keine neuen Biokunststoffproduktionsanlagen entstehen. Deutschland als Kunststoffland wird – wie bei den konventionellen Kunststoffen – auch bei den Biokunststoffen mit seinem kunststofftechnischen Know-how eher eine Technologieführerschaft im Bereich der Entwicklung, Verarbeitung und Anwendung einnehmen.

Für die Zukunft scheint eine weitere signifikante Senkung der Herstellkosten von biobasierten Kunststoffen insbesondere über eine Reduzierung der Rohstoffkosten, aufgrund des Einsatzes von biogenen Rest- oder Abfallstoffen wie z. B. Molke, Melasse oder lignocellulosehaltigen Abfällenmöglich.

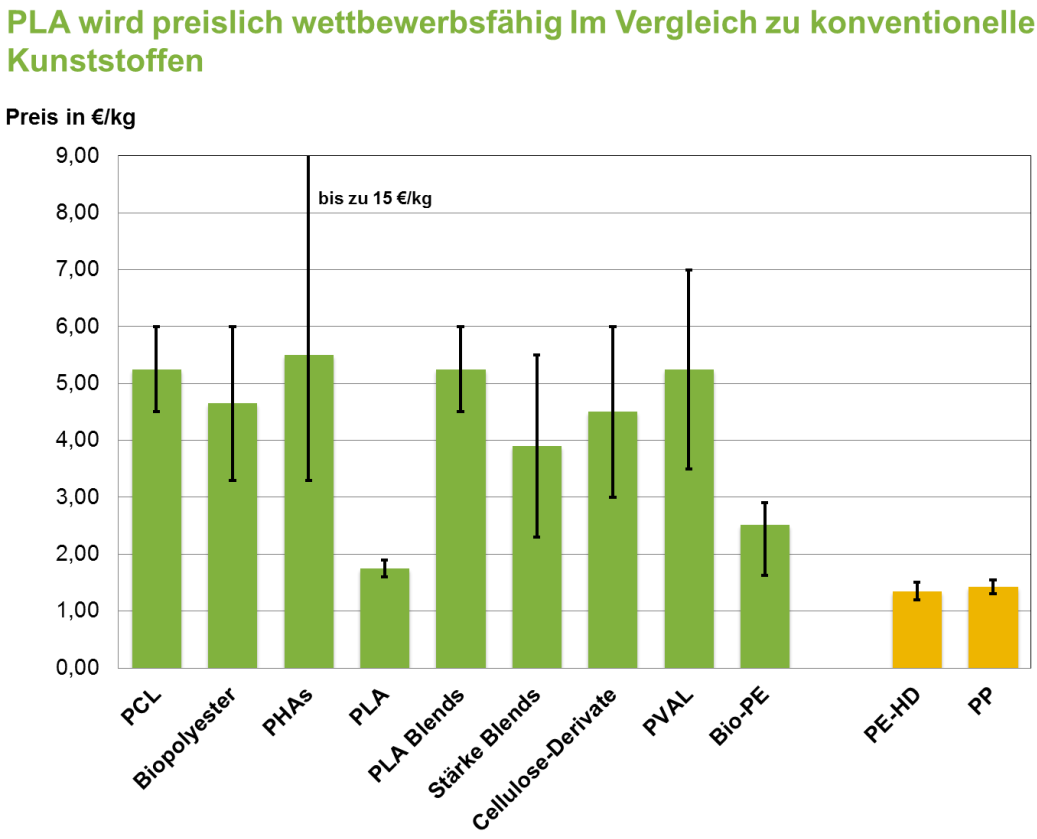

Abb. 118: Materialpreise verschiedener biobasierter Kunststoffe (blau) im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (rot)[380]

Preisentwicklung Polylactid (PLA) als Beispiel

Durch Optimierung der Prozesstechnik, Steigerung der Ausbeute und durch Skalierungseffekte konnten die Produktionskosten gesenkt werden. Eine zunehmende Nachfrage war dabei die Basis für den Ausbau der Produktionskapazitäten. Parallel dazu konnte der Preis für PLA in den letzten 15 Jahren von ursprünglich weit über 10 €/kg auf Werte von unter 2,0 €/kg reduziert werden. Im Vergleich zu den meisten anderen biobasierten Kunststoffen besitzt PLA hinsichtlich der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften ein technisch ausgereiftes Eigenschaftsprofil. Damit ist PLA neben den Stärke- und Cellulose basierten Kunststoffen ein Werkstoff, der inzwischen im Vergleich zu den konventionellen Kunststoffen, wie beispielsweise PS, auch zu konkurrenzfähigen Preisen auf dem Weltmarkt verfügbar ist.

Diese Parameter nutzen Unternehmen vor allem in der Verpackungsbranche, um PLA als Biokomponente einzusetzen. Hierbei ist ausschlaggebend, dass der PLA Preis zu 30-50% auf dem Rohstoffpreis basiert und somit die Feedstock Preise beim PLA einen signifikanten Einfluss auf den resultierenden Granulatpreis besitzen.

[380] Modifiziert nach H.-J. Endres; A. Siebert-Raths “Engineering Biopolymere“, Carl Hanser Verlag München 2011, S. 268, dargestellt in Bandbreiten 2011

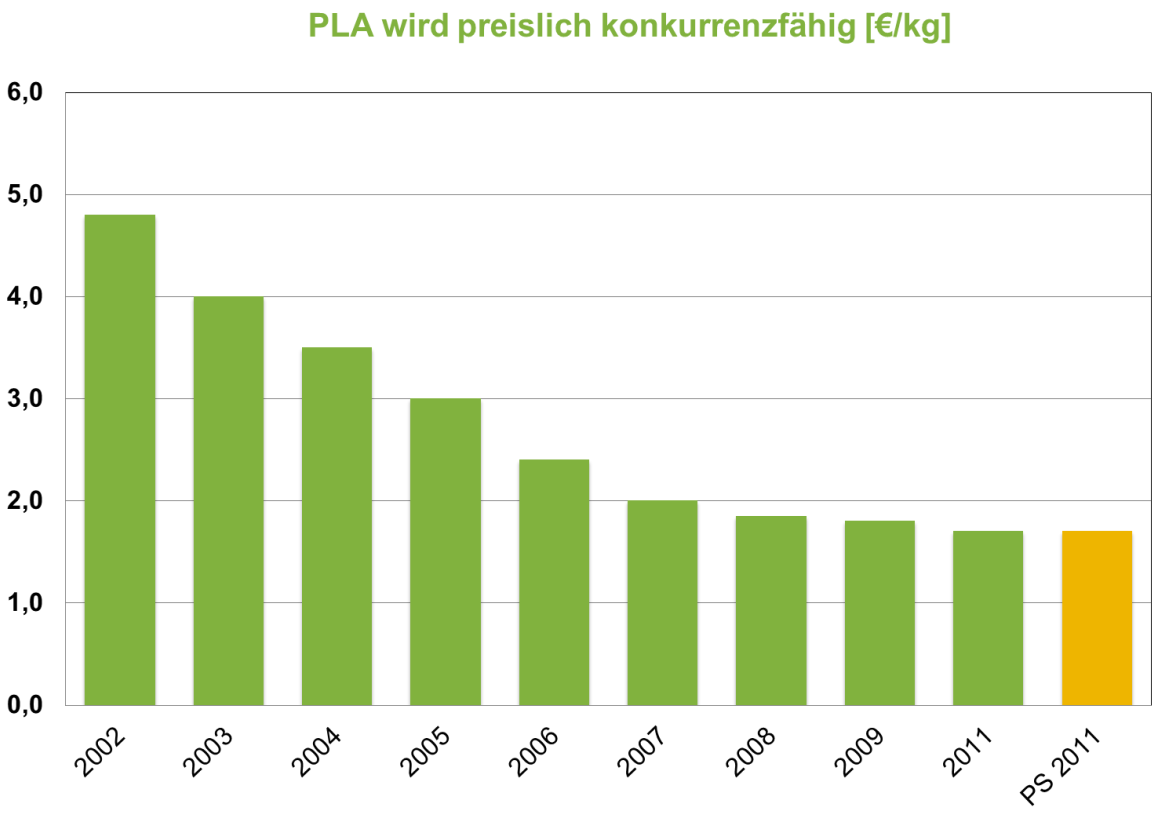

Abb. 119: Preisentwicklung PLA 1997 – 2011 im Vergleich zum konventionellen Kunststoff Polystyrol (PS)[381]

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Preisentwicklung verschiedener Rohstoffe für petrobasierte Kunststoffe (Naphtha, Benzen, Ethylen) im Vergleich zur Entwicklung der Preise nachwachsender Rohstoffe seit 2002. Auch wenn es sich bei den einzelnen Rohststoffen um unterschiedliche Produktebenen oder Veredelungsstufen handelt wird deutlich, dass die Preise der nachwachsenden Rohstoffe (insbesondere Mais, Weizen und Zucker) im Bereich petrochemischer Basischemikalien liegen.

[381] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Hannover 2012 und Hersteller-befragung

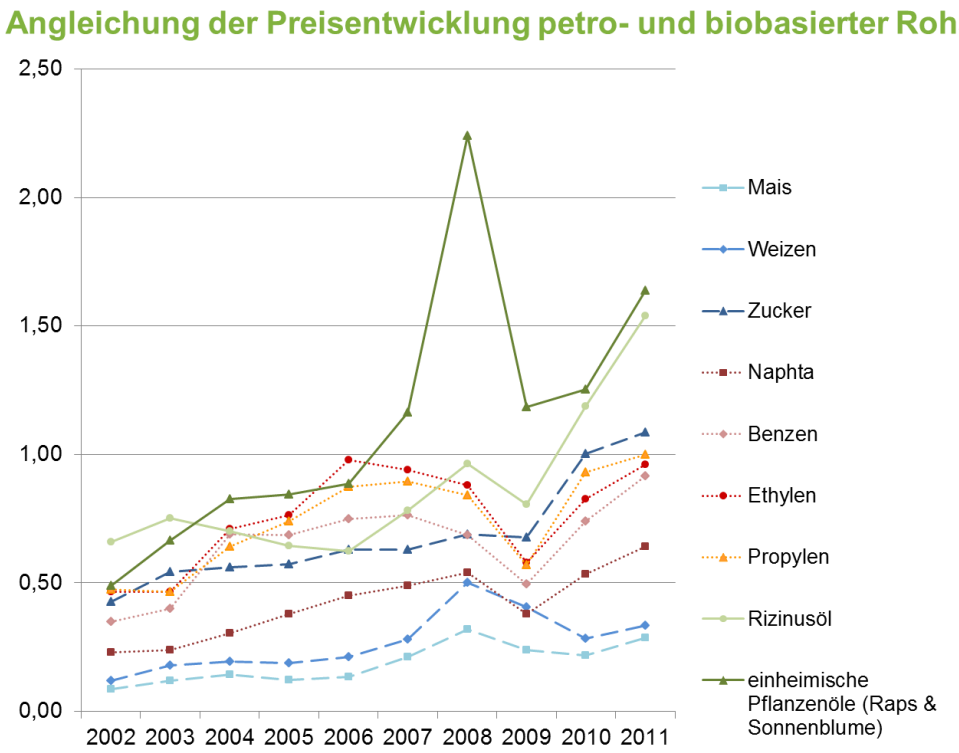

Abb. 120: Preisentwicklung verschiedener Kunststoffrohstoffe im Vergleich mit Preisen nachwachsender Rohstoffe[382]

In Bezug auf hergestellte Produkte werden mit zunehmender Nachfrage zukünftig der Rohölpreis und damit die Preise für petro-basierte Kunststoffe weiter steigen. Parallel dazu werden die Preise für biobasierte Kunststoffe mit zunehmender Nachfrage – insbesondere aufgrund von weiteren technischen Fortschritten und Skalierungseffekten bei der Produktion weiter sinken. Das bedeutet, dass sich innerhalb der nächsten Jahre die derzeitig noch etwas höheren Preise der biobasierten Kunststoffe den Preisen der petro-basierten Kunststoffe weiter annähern oder diese sogar teilweise unterbieten werden, siehe folgende Abbildung

[382] www.kiweb.de, 2011; www.fao.com, 2011 (Abruf: 06.09.2012)

Angleichung der Preisentwicklung petro- und biobasierter Kunststoffe

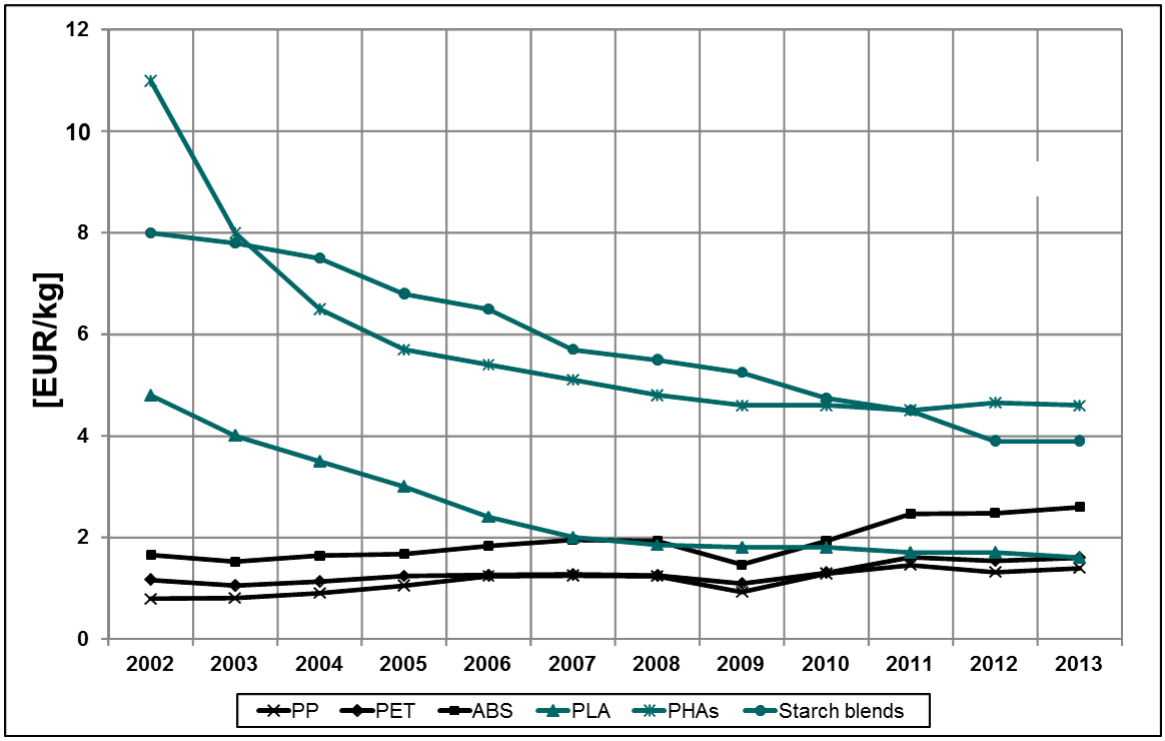

Abb. 121: Preisentwicklung der verschiedenen petro-basierten Kunststoffe im Vergleich zu verschiedenen biobasierten Kunststoffen[383]

5.2.5.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Die Grundpreise für die günstigsten, unmodifizierten NFK-Granulate liegen zurzeit bei ca. 1,00 - 2,40 €/kg. Dabei sind folgende Einflussfaktoren auf den Grundpreis zu berücksichtigen: Art der Naturfaser, Art des Verarbeitungsprozesses und Art des Kunststoffes sowie. entsprechende Additive (Haftvermittler, Verarbeitungshilfsstoffe, Stabilisierungen, Farbbatche,…), die zur Produktherstellung und zur Verbesserung der Werkstoffqualität erforderlich sind. Diese Additive erhöhen den Preis für die Verbundwerkstoffe. Ihr Einsatz sowie auch die eingesetzte Menge sind jedoch variabel und sehr anwendungsspezifisch, so dass im Weiteren „nur“ mit einem Grundpreis von 1,25 - 1,30 Euro/kg gerechnet wurde. Der reale Preis für höherwertige NFK ist in der Regel deutlich höher. .Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich der Granulatpreise von NFK zu konventionellen Kunststoffen und PLA.

[383] H.-J. Endres; A. Siebert-Raths “Enginnering Biopolymere“, Carl Hanser Verlag, München 2011; www.kiweb.de 2011 (Abruf 19.04.2012)

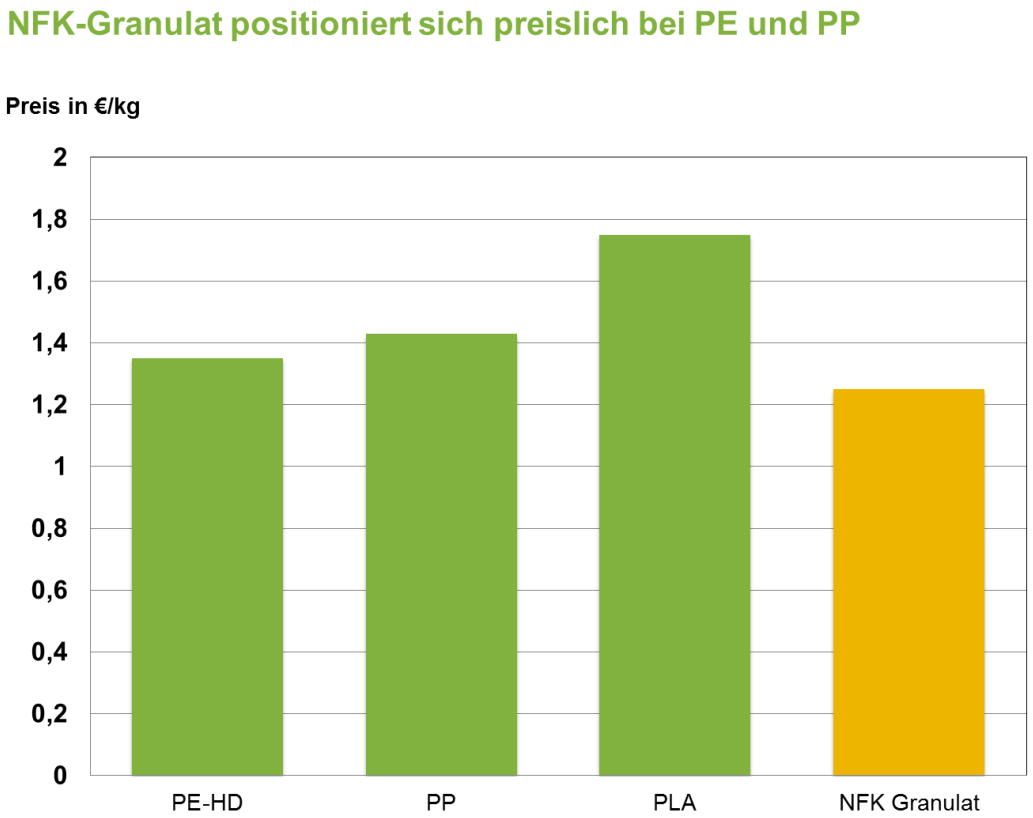

Abb. 122: Preisvergleich petrobasierter Kunststoffe mit NFK Granulatpreisen[384]

5.2.6 Marktsituation in Deutschland

5.2.6.1 Biobasierte Kunststoffe

Für biobasierte Kunststoffe ergibt sich in Deutschland eine Gesamtkapazität von ca. 79.000 Tonnen für das Jahr 2011[385]. Im Vergleich zur Menge der konventionellen Kunststoffe (10,6 Mio. Tonnen/Jahr)[386] haben die biobasierten Kunststoffe damit in Deutschland einen geringen Anteil an der Produktion von nur ca. 0,8 %.

[384] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012
[385] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Experteninterviews 2012
[386] Consultic Marketing&Industrieberatung GmbH / Plastics Europe: Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 (Abruf: 13.11.2012)

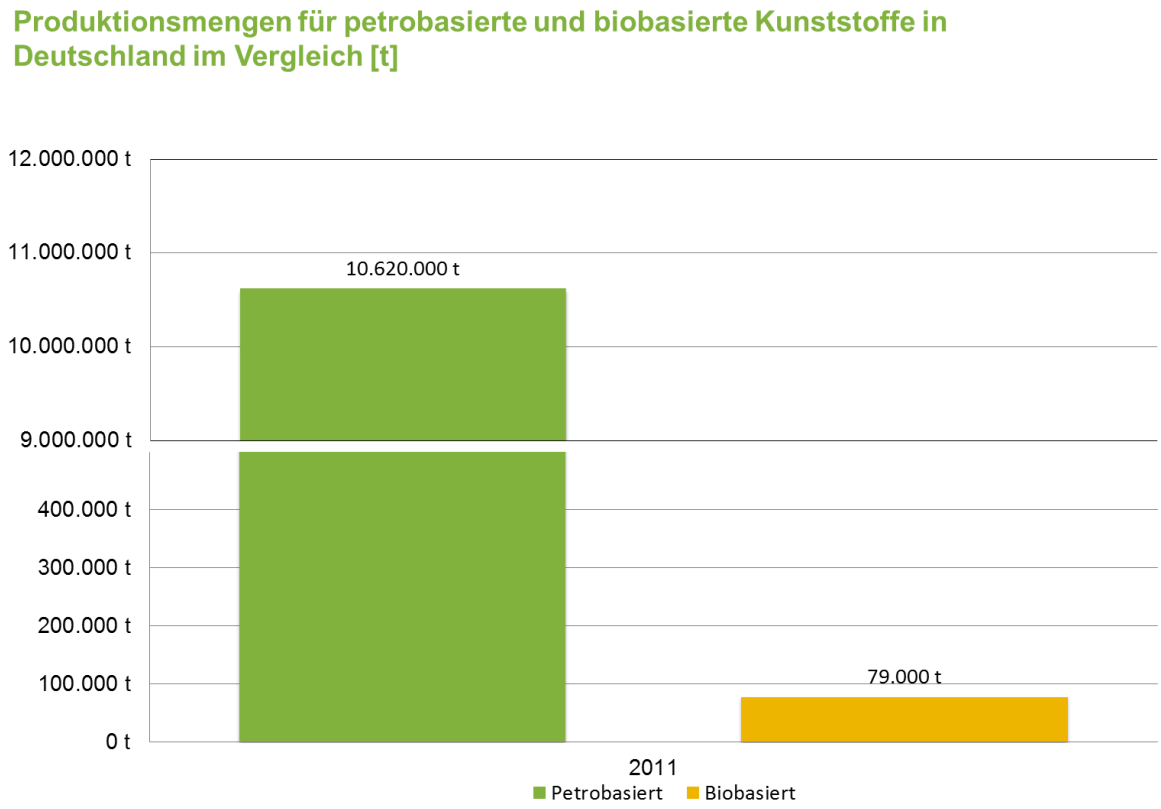

Abb. 123: Produktionsmengen petro-basierter Kunststoffe im Vergleich zu biobasierten Kunststoffen in Deutschland in 2011[387]

Darunter stellen die abbaubaren stärkebasierten Biokunststoffblends den größten Anteil. Die mengenmäßig zweitwichtigste Biokunststoffgruppe in Deutschland ist die der abbaubaren PLA-Blends. Unter den beständigen biobasierten Kunststoffen stellen die biobasierten Polyamide den größten Teil dar. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Produktionskapazitäten der wichtigsten biobasierten beständigen Kunststoffe sowie der biobasierten abbaubaren Kunststoffe in Deutschland mit Mengenanteilen graphisch auf.

[387] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) 2012, www.plasticseurope.org (Abruf: 13.11.2012)

Hauptsächlich stärkebasierte Kunststoffe im Bereich der biobasierten biologisch abbaubaren Kunststoffe in Deutschland 2011

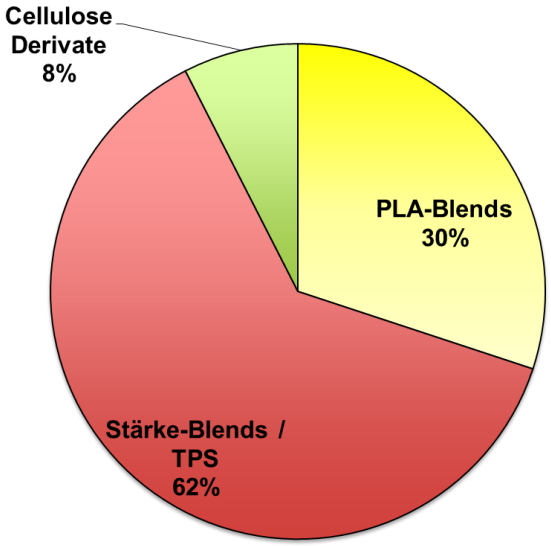

Abb. 124: Produktionskapazitäten biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe in Deutschland 2011; TPS: Thermoplastische Stärke[388]

Hauptsächlich Bio-PA im Bereich der biobasierten beständigen Kunststoffe in Deutschland 2011

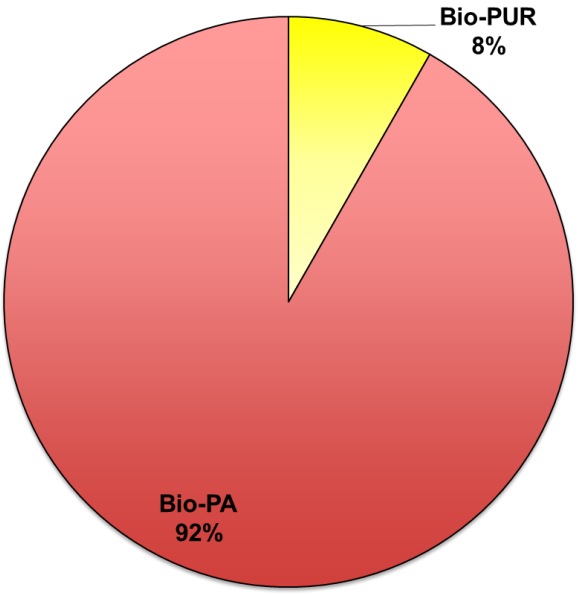

Abb. 125: Produktionskapazitäten biobasierter, beständiger Kunststoffe in Deutschland 2011[389]

[388] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Experteninterviews 2012
[389] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) 2012

Das kalkulierte Marktvolumen von 400 Mio. € der unterschiedlichen biobasierten Kunststofftypen in Deutschland im Jahr 2011 ist in der folgenden Abbildung aufgeführt. Die Berechnung basiert auf recherchierten Marktpreisen der verschiedenen biobasierten Kunststofftypen sowie deren jeweilige Produktionskapazitäten.

Marktgröße biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2011: ca. 400 Mio. €

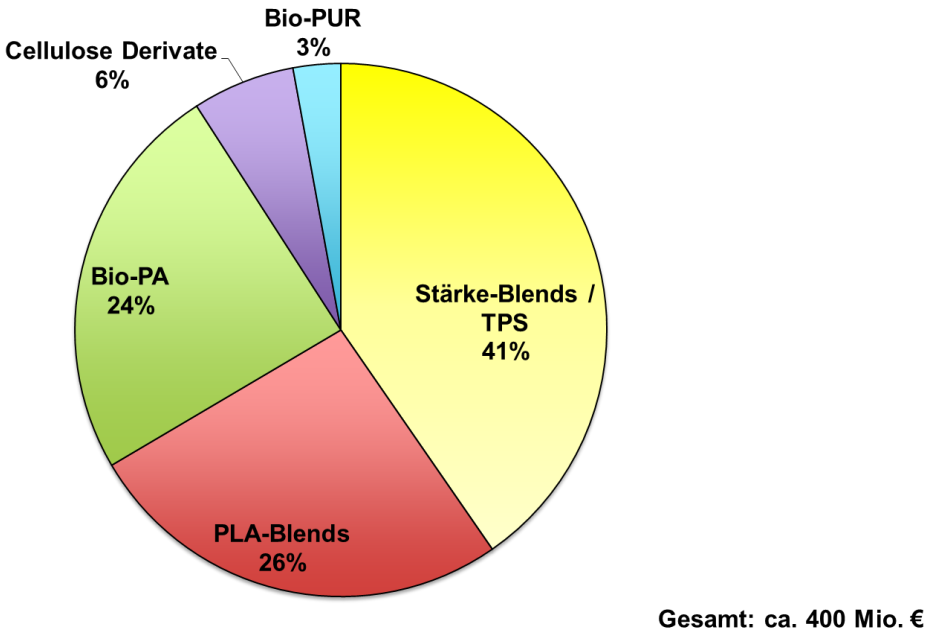

Abb. 126: Marktvolumen der biobasierten Kunststofftypen in Deutschland 2011[390]

5.2.6.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Im Bereich der biobasierten Verbundwerkstoffe ergibt sich für die NFK in Deutschland eine Gesamtkapazität von ca. 67.000 Jahrestonnen, sowie für die WPC eine Menge von ca. 60.000 Jahrestonnen (ohne Terassendeckings) für das Jahr 2011.[391] Diese ermittelten Daten basieren auf Herstellerbefragungen, Literatur- und Internetrecherchen, Expertengesprächen und der Datenabstimmung mit dem Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.

Für diese NFK wurde ein kalkuliertes Marktvolumen von ca. 110 Mio. € basierend auf einem Durchschnittspreis von ca. 1,65 € berechnet. Die Berechnung fußt auf recherchierten Marktpreisen der verschiedenen NFK-Granulate. Da es sich hierbei um die Grundmaterialien handelt und daher davon ausgegangen werden muss, dass der additivierte und eigenschaftsoptimierte Werkstoff am Ende einen höheren Materialpreis haben wird, stellt dieses abgeschätzte Marktvolumen eine Untergrenze dar.

[390] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012
[391] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), VHI (Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie) Experteninterview 2012

5.2.7 Einflussparameter auf die Marktentwicklung

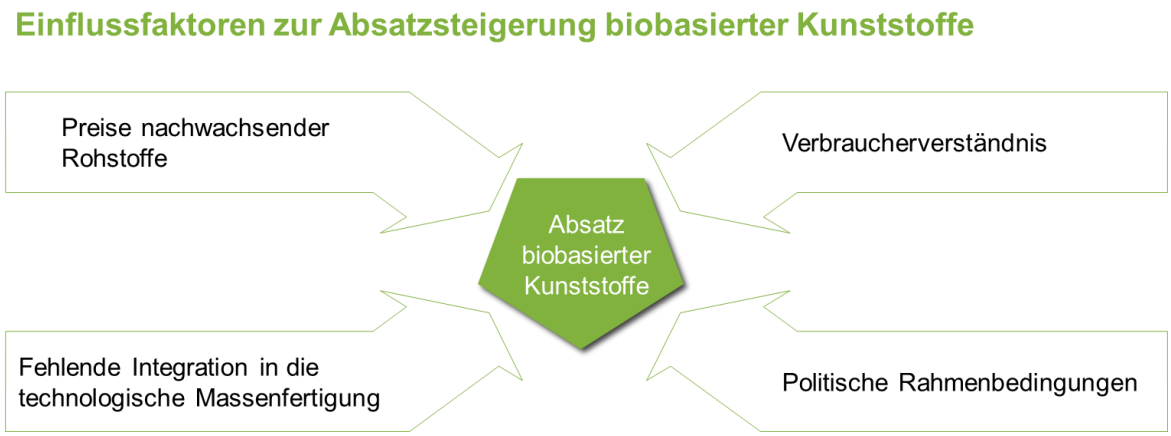

Abb. 127: Der Absatz biobasierter Kunststoffe wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst

Zusammenfassend kann auf Basis der Eigenschaftsprofile der biobasierten Kunststoffe für deren zukünftigen Einsatz festgehalten werden, dass die einzelnen technischen Eigenschaften der derzeit kommerziell am Markt erhältlichen biobasierten Kunststoffe insbesondere gegenüber den Massenkunststoffen zunehmend ein gleichwertiges Niveau erreichen. Es existiert jedoch aktuell noch kein biobasierter Kunststoff mit identischem Eigenschaftsprofil, wie das der jeweiligen Vergleichspolymere, was die Integration in bereits vorhandene Herstell- und Wertschöpfungsketten erschwert. Insbesondere die z. Z. noch etwas höheren Granulatpreise, die fehlende Umlage der Entsorgungskosten auf die Materialpreise anstatt auf die Verbraucher sowie fehlende Material- und Produktinformationen lassen noch keine direkte 1:1 Substitution der etablierten Kunststoffe zu. Das mittelfristig größte Substitutionspotenzial für technische Anwendungen könnten die Polyester und Polyhydroxyalkanoate und ganz besonders die unter Abschnitt 5.1.2 beschriebenen Drop-In-Lösungen, wie beispielsweise ein Bio-PET oder Bio-PE, entwickeln, da sie gleiche Verarbeitungs- Gebrauchs- und Entsorgungseigenschaften wie konventionelle Kunststoffen besitzen. Dadurch wird die derzeit noch dominante Rolle des für Verpackungszwecke am weitesten entwickelte PLA und der abbaubaren Stärke-Blends abnehmen.

Nachhaltigkeit als Teil der Unternehmensstrategie

Für viele Unternehmen spielt die „Sozial Responsibility“ eine wachsende Bedeutung in ihrer Unternehmensstrategie. Immer öfter erläutern Hersteller die Nachhaltigkeit der Produkte in deren Herstellungs-, Gebrauchs- und Entsorgungsphase. Dies ist ein weiterer Grund für steigende Marktanteile von biobasierten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen. Denn zusätzlich werden auch immer mehr Endverbraucher für nachhaltige Produkte sensibilisiert, weshalb sich viele Unternehmen aus allen Industriezweigen selbst zu Zielen der Nachhaltigkeit verpflichten. Jedoch sollten die Unternehmen beim Einsatz von biobasierten Werkstoffen gleichzeitig auf eine entsprechend sorgfältige Kommunikation achten. So hat z.B. die Deklaration von Plastiktüten bei Aldi und Rewe, die aus einem als kompostierbar zertifizierten Material bestanden, aber aufgrund der bestehenden Abfalllogistik nicht kompostiert wurden, zu gerichtlichen Auseinandersetzungen und Negativschlagzei-

len geführt. Auch die allgemeine Auslobung von Umweltvorteilen der Joghurtbecher von der Firma Danone hat zu öffentlichen Diskussionen und dem Vorwurf des „Green washings“ geführt. Dies hätte durch differenzierte Aussagen zu den Auswirkungen in den einzelnen Umweltkategorien unterbunden werden können. Aktuellstes Beispiel ist die Fa. Tengelmann, die versehentlich bei der Bewerbung ihrer Tragetaschen aus biobasiertem Polyethylen den Begriff bioabbaubar statt biobasiert verwendet hat. Diese Negativbeispiele, die ausschließlich in einer falschen Kommunikationsstrategie begründet sind, tragen sehr zu einem Negativimage der biobasierten Kunststoffe und zur Verwirrung der Verbraucher bei. Weiterhin haben diese negativen Beispiele in den letzten Jahren auch Unternehmen in der Anwendung von biobasierten Kunststoffen stark verunsichert.

5.2.8 Rechtliche Rahmenbedingungen und Marktsituation in den EU Ländern

5.2.8.1 Biobasierte Kunststoffe

Rechtliche Rahmenbedingungen und Einflussparameter

In den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union wurden aufgrund der seit Dezember 1994 geltenden EU-Verpackungsrichtlinie rechtliche Schritte zu deren Umsetzung unternommen. Per Gesetz sind Unternehmen des Handels und der Industrie verpflichtet, gebrauchte Verpackungen zurückzunehmen oder sich an einem gesamtwirtschaftlich organisierten, endverbrauchernahen Sammelsystem zu beteiligen, das auf nationaler Ebene für die Finanzierung und Organisation des „Wertstoff-Kreislaufes“ verantwortlich ist. In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen nationalen Institutionen aufgeführt, die speziell für die „Verwertung“ von bestimmten Kunststoffverpackungen etabliert wurden. Zudem ist dargestellt, welche Kunststoffverpackungen „verwertet“ werden.

Systeme zur Verwertung von Kunststoffverpackungen werden in Europa gezielt aufgebaut

	System	Kunststoff-Verpackungen	Zusatzinformationen
Belgien	BELVAPLAST	Flaschen, PET-Flaschen	Ökosteuer
Dänemark			Verbot für Getränkedosen, Kommunale Sammlung
Deutschland	Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling mbH	Flaschen, Folien, Becher, Styropor, PET-Flaschen	Nur Haushaltsystem, Steuer wenn kein Pfand, Zwangspfand ab 1.1.2001
Finnland	Suomen Uusiomuovi Oy		
Frankreich	VALORPLAST	Flaschen, Becher, PET-Flaschen, PVC	
Griechenland	Pilotprojekte		System in Arbeit
GrossBritannien	VALUPLAST	Flaschen, Folien, Becher	System im Aufbau
Irland	BELVAPLAST		System im Aufbau
Italien	CO.RE.PLA	Flaschen, PET, PVC	
Luxemburg	VALORLUX	Flschen, PET-Flaschen	Koop. Mit Belgien, Ökosteuer
Niederlande	Vereniging Milieubeheer Kunststoffverpakkingen	Syropor	Freiwillige Vereinbarung zw. Regierung u. Wirtschaft ("Covenant")
Norwegen	PLASTRETUR	Flaschen, Folien, Landwirtschaftsfolie, Big Bag	
Österreich	ÖKK AG	Flaschen, Folien, Becher, Styropor, PET-Flaschen	Haushalt- und Gewerbesteuer
Portugal	PLASTVAL	Flaschen, Folien, Becher, Styropor, PET-Flaschen, PVC	System im Aufbau, Pilotprojekte
Schweden	PLASTKRETSEN	Flaschen, Folien, Becher, PET-Flaschen	Pfand: Getränkedosen und PET-Flaschen
Spanien	CICLOPLAST	Flaschen, Folien, Becher, Styropor, PET-Flaschen, PVC	System im Aufbau

Tab. 25: Verwertung von Kunststoffverpackungen, Pfandsysteme und Ökosteuer in der EU [392]

Abschließend zeigt die folgende Abbildung einen Überblick einzelner politisch/rechtlicher Einflussgrößen auf die Biokunststoffbranche inklusive der dazu technisch grundlegenden Prüfstandards sowie auch einzelne Länderlösungen auf europäischer Ebene und das Inkrafttreten der jeweiligen Maßnahmen.

[392] ÖKK Wien (Mackwitz, Stadlbauer) modifiziert, H.-J. Endres, A. Siebert-Raths "Technische Biopolymere", Carl Hanser Verlag, München 2009, S.87

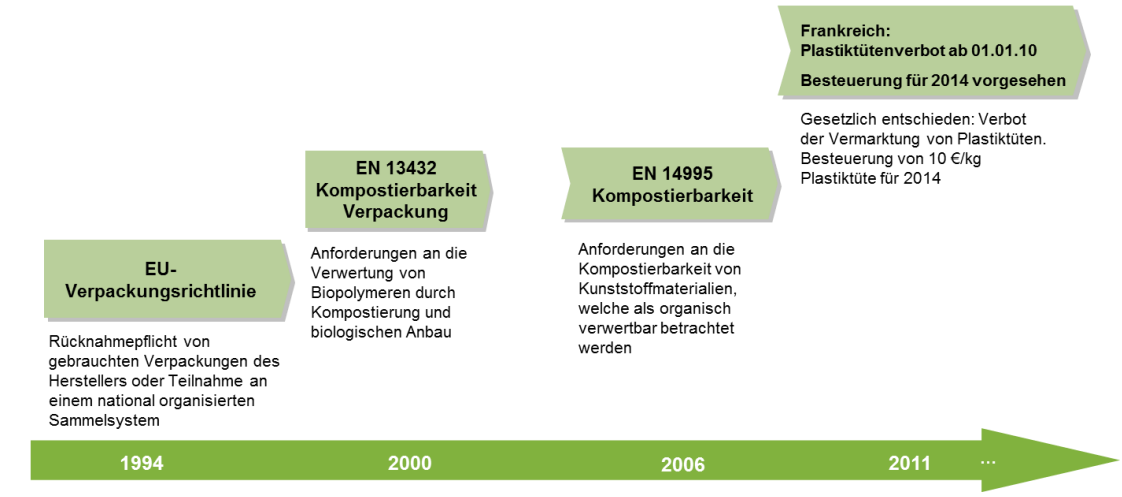

Abb. 128: Rechtliche Bestimmungen und Einflussfaktoren. Wesentliche Determinanten auf EU Ebene[393]

Zwischenzeitlich gab es zudem in Italien erfolgreiche Bemühungen, den Einsatz von bioabbaubaren Kunststoffen für Tragetaschen zu fordern. Dies war jedoch gesetzlich in der ursprünglich vorgesehenen Version nicht haltbar und hat zum vermehrten Einsatz von Papier statt petrobasierter Tragetaschen geführt.

Entwicklung des Marktes

Wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich, werden in **Europa** überwiegend bioabbaubare Stärke Blends hergestellt. Der mengenmäßig wichtigste Hersteller verschiedenster kommerziell erhältlicher Stärkeblends ist die italienische Firma Novamont S.p.A.

Für den europäischen Markt ergeben sich Produktionskapazitäten für biobasierte bioabbaubare Kunststoffe von ca. 180.000 Tonnen pro Jahr.

[393] www.european-bioplastics.org (Abruf:03.04.12); www.actu-environment.com (Abruf: 03.04.12)

Stärkebasierte Kunststoffe stellen den Großteil der biologisch abbaubaren Kunststoffe in Europa 2011

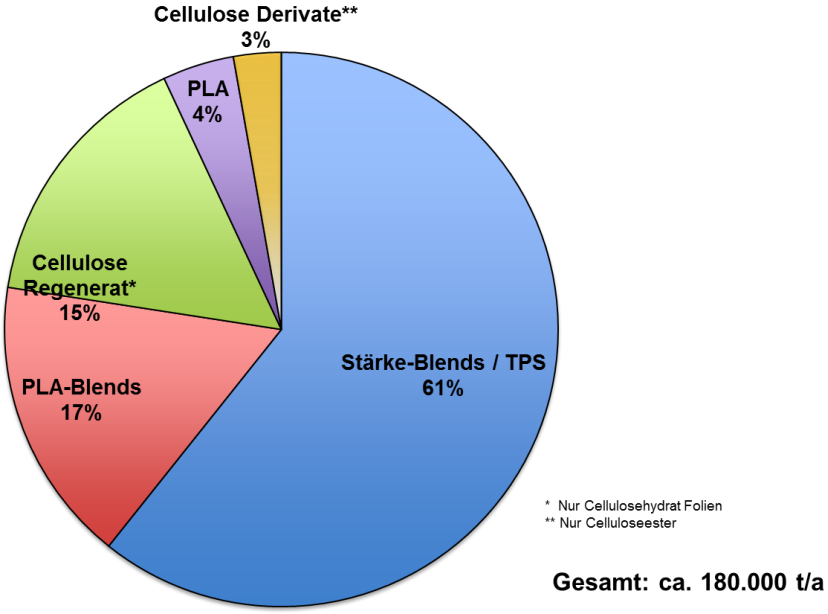

Abb. 129: Produktionskapazitäten biobasierter, bioabbaubarer Kunststoffe in Europa 2011[394]

Ein wichtiger europäischer Hersteller von Zellglasfolien, mit einer Produktionskapazität von ca. 30.000 Tonnen pro Jahr, ist die belgische Firma Innovia Films. Dort wurden in den letzten Jahren auf Basis regenerierter Cellulose eine Reihe verschiedener beschichteter Zellglasfolien, insbesondere mit verbesserten Barriereeigenschaften entwickelt, die zum Teil für Lebensmittelkontakt und als kompostierbar zertifiziert sind. Bei dem Cellulose-Regenerat handelt es sich zwar um keinen klassischen thermoplastischen Werkstoff, dieser wurde aber dennoch in der Abbildung bei den thermoplastischen Biokunststoffen mit aufgeführt, da es sich um einen wichtigen Biokunststoff handelt.

Die Produktionskapazitäten der biobasierten beständigen Kunststoffe in Europa beläuft sich auf ca. 19.000 Tonnen pro Jahr, siehe folgende Abbildung. Es sind drei Hauptvertreter deutlich in diesem Bereich auszumachen: Bio-PA, Bio-PUR und biobasierte Thermoplastische Elastomere, wobei das Bio-PA mit 78% den Hauptanteil darstellt.

394 IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012, *TPS: Thermoplastische Stärke.*

Bio-PA mach 2011 den größten Teil der biobasierten beständigen Kunststoffe in Europa aus

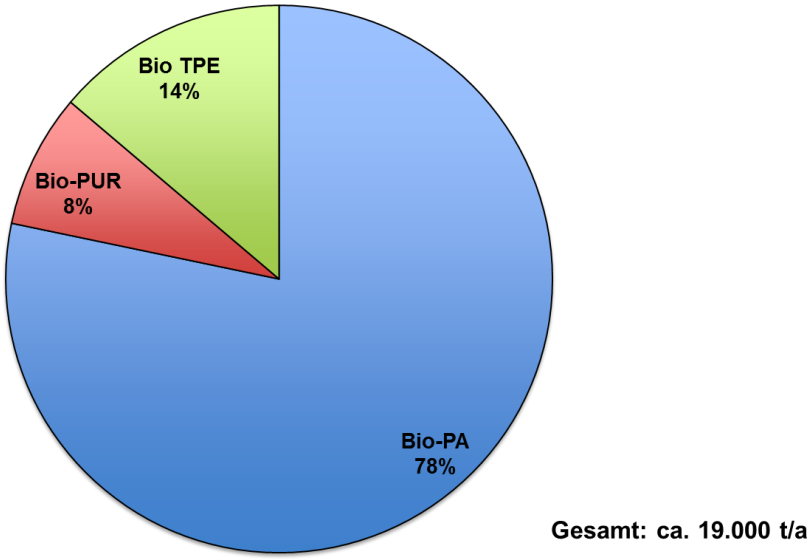

Abb. 130: Produktionskapazitäten biobasierter, beständiger Kunststoffe in Europa 2011[395]

Nach Betrachtung des europäischen Marktes kann zusammenfassend festgestellt werden, dass es in Europa und insbesondere in Deutschland viele Firmen gibt, die sich auf die Modifizierung/Compoundierung und Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen sowie auf die Herstellung von Biokunststoffverpackungen spezialisiert haben. Zahlreiche weitere Firmen befassen sich außerdem im Bereich Forschung und Entwicklung mit der Materialentwicklung, Herstellung, der Verarbeitung oder dem Einsatz von biobasierten Kunststoffen.

Schlussfolgerungen

Laut dem Verband der European Bioplastics wird dem biobasierten Kunststoffmarkt eine zukünftige Wachstumsrate von 15 - 20% für Europa prognostiziert. Für diese Annahme wurden die wesentlichen Markttreiber wie Technologieoptimierung, Preissenkung und ökologische Vorteile in Abhängigkeit von förderrechtlichen politischen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Bei weiterer erfolgreicher Einführung der Drop-Ins kann das Marktwachstum noch dynamischer sein als derzeit angenommen.

[395] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012, *TPE: Thermoplastische Elastomere.*

Abb. 131: Einflussparameter auf die Marktentwicklung und -treiber[396]

Der Biokunststoffmarkt kann in seinem Rahmen für die europäische Agrarwirtschaft und Nutzung lokaler Produktionen nachwachsender Rohstoffe, mit einem Treibhausreduktionspotenzial von 1,5 - 6 kg CO_2/kg Biokunststoffgranulat im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen mit 2 - 8 kg CO_2/kg Kunststoffgranulat und mit der Erschaffung neuer Einsatzmöglichkeiten und Werkstoffe einen positiven Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten.

Allerdings sind die biobasierten Kunststoffe heute gegenüber den konventionellen Massenkunststoff-Produkten noch nicht konkurrenzfähig. Allerdings haben auch diese Massenkunststoffe eine intensive, mehr als 60-jährige Optimierungszeit durchlaufen müssen, um ihren jetzigen Entwicklungsstand zu erreichen. Die biobasierte Kunststoffbranche schaut dagegen erst auf eine ca. 15-jährige Entwicklungszeit im eher kleinindustriellen Maßstab zurück. Heutige Produktionsstandorte der biobasierten Kunststoffe befinden sich in Ländern mit niedrigen Produktionskosten, das Technologie-Know-how liegt allerdings potenziell in Deutschland und Europa. Dieses Know-how der Hersteller gilt es weiter auszubauen und parallel durch politische Rahmenbedingungen in Form von Förderprogrammen oder ähnliches zu optimieren, um höhere Produktionsmengen zu erreichen.

Des Weiteren stellt der Aufbau einer integrierten Entsorgungslogistik für biobasierte Kunststoffe eine große Herausforderung dar, wobei Bottlenecks, wie zum Beispiel fehlende biobasierte Abfallmengen und Vermeidung von Fehlwürfen in Haushalten, eine große beeinflussende Rolle spielen.

Wichtig hierbei ist auch die Akzeptanzschaffung beim Verbraucher, der, mit seiner Bereitschaft auch geringfügig höherpreisige Produkt aus Biokunststoffen zu kaufen, die Markteinführung maßgeblich unterstützt.

[396] European Bioplastics 2011

5.2.8.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Für den europäischen Markt ergeben sich Produktionskapazitäten für biobasierte Verbundwerkstoffe von ca. 325.000 Tonnen pro Jahr. Diese Gesamtmenge umfasst sowohl NFK wie WPC. Die Tonnage teilt sich auf in 220.000 Tonnen WPC, basierend auf der Auskunft des Verbandes der Deutschen Holzindustrie und 105.000 Tonnen NFK, basierend auf der vom IfBB durchgeführten Herstellerbefragung. Aus der Evaluierung der Datengrundlage ergab sich:

- Die Herstellerbefragung deckt nicht den gesamten europäischen Markt ab, da einige Hersteller zu keiner Aussage bereit waren. Gleichzeitig werden von den Firmen, die eine Aussage machten, nur theoretische Produktionskapazitäten und nicht die real produzierten Mengen angegeben. Die Trennschärfe der Begriffsdefinition für NFK und WPC vermindert sich mit zunehmender Internationalisierung der Herstellerbefragung.
- Die Trennschärfe des Übergangs vom WPC zum NFK aufgrund der Partikelgröße des eingesetzten Holzstoffes ist nicht eindeutig und wird bei zunehmender Internationalisierung unklarer.

Im Hinblick auf die oben angeführten Gründe erscheint das Verhältnis der Teilmärkte WPC und NFK verzerrt und als nicht realistisch abgebildet. Es wurde deshalb folgende Annahme getroffen:

- 15% der errechneten Produktionskapazitäten für WPC werden der NFK-Produktion in Europa zugeteilt

Unter dieser Annahme ergeben sich folgende Endmengen in Jahrestonnen für Europa in 2011:

- Gesamtmenge biobasierter Verbundwerkstoffe: 325.000 Tonnen
  - Produktionskapazität NFK: 138.000 Tonnen
  - Produktionskapazität WPC: 187.000 Tonnen

Die folgende Abbildung stellt die prozentuale Verteilung der Anwendungsgebiete für NFK und WPC in Europa dar. Die NFK finden sich im Bereich der Technischen Anwendung wieder und dort insbesondere in der Automobilindustrie. Die WPC werden hauptsächlich im Baubereich, vor allem für Bodenbeläge und Profile, eingesetzt.

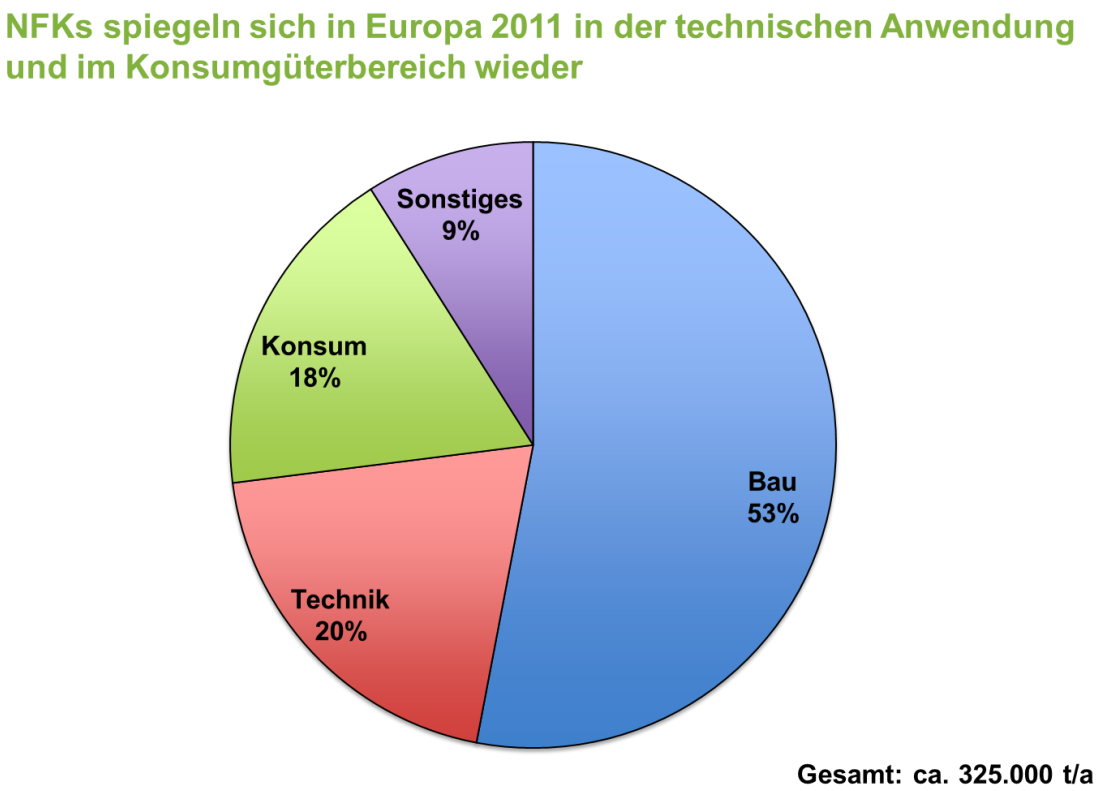

Abb. 132: Anwendungsgebiete NFK und WPC in Europa in 2011[397]

Für die biobasierten Verbundwerkstoffe wurde ein Marktvolumen von ca. 540 Mio. € basierend auf einem Durchschnittspreis von 1,65 € berechnet. Die Berechnung basiert auf recherchierten Marktpreisen verschiedener WPC- und NFK-Granulate.

Im Hinblick der Herstellverfahren von NFK und WPC überwiegt als Bauteilherstell- bzw. Verarbeitungsverfahren auf dem europäischen Markt deutlich das Formpressen der NFK. Das zweistufige Verfahren des Extrudierens (inklusive Granulierung) mit anschließendem Spritzguss hat noch einen geringen Marktanteil, wird aber zukünftig immer bedeutsamer.

[397] Herstellerbefragung, Verband der Deutschen Holzindustrie, eigene Annahmen 2012

Verarbeitungsverfahren von NFK und WPC in Europa 2011

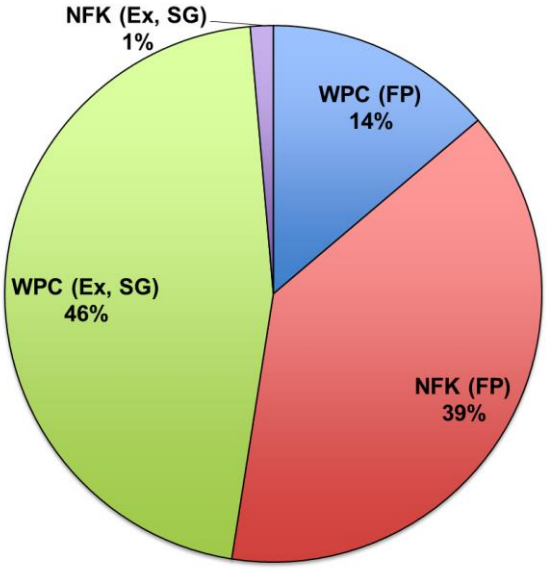

Abb. 133: Darstellung der Verarbeitungsverfahren von NFK und WPC in Europa 2011[398]

5.2.9 Relevante internationale Erfahrungen

5.2.9.1 Biobasierte Kunststoffe

Bei Betrachtung des aktuellen Marktes der abbaubaren und beständigen biobasierten Kunststoffe, kann für 2011 von globalen Produktionskapazitäten von ca. 740.000 Jahrestonnen[399] ausgegangen werden. In dieser Menge sind die hauptsächlich im Textilbereich eingesetzten Cellulose basierten Fasern, wie z.B. Viskose, nicht enthalten. Bei den Cellulosederivaten wurden nur die abbaubaren Celluloseester berücksichtigt.

Zur Ermittlung der Produktionskapazitäten wurden bei den Kunststoffblends nur die ggf. zusätzlichen Komponenten erfasst. Wird ein Material lediglich geblendet oder modifiziert, muss diese Korrektur durchgeführt werden, um Doppelzählungen bei der Bestimmung der Materialmengen zu vermeiden.

Aktuell sind die mengenmäßig wichtigsten biobasierten Kunststoffe das Polylactid, die Stärkeblends, die abbaubaren Biopolyester, die Polyvinylalkohole und die Polyhydroxyalkanoate.

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die globalen Produktionskapazitäten der biobasierten Kunststoffe in der Aufteilung nach der Abbaubarkeit und Beständigkeit dar.

[398] Müssig, J., Carus M. 2011, Annahme der gleichen Verteilung von 2010 in 2011;
FP = Formpressen Ex = Extrusion SG = Spritzguss
[399] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012

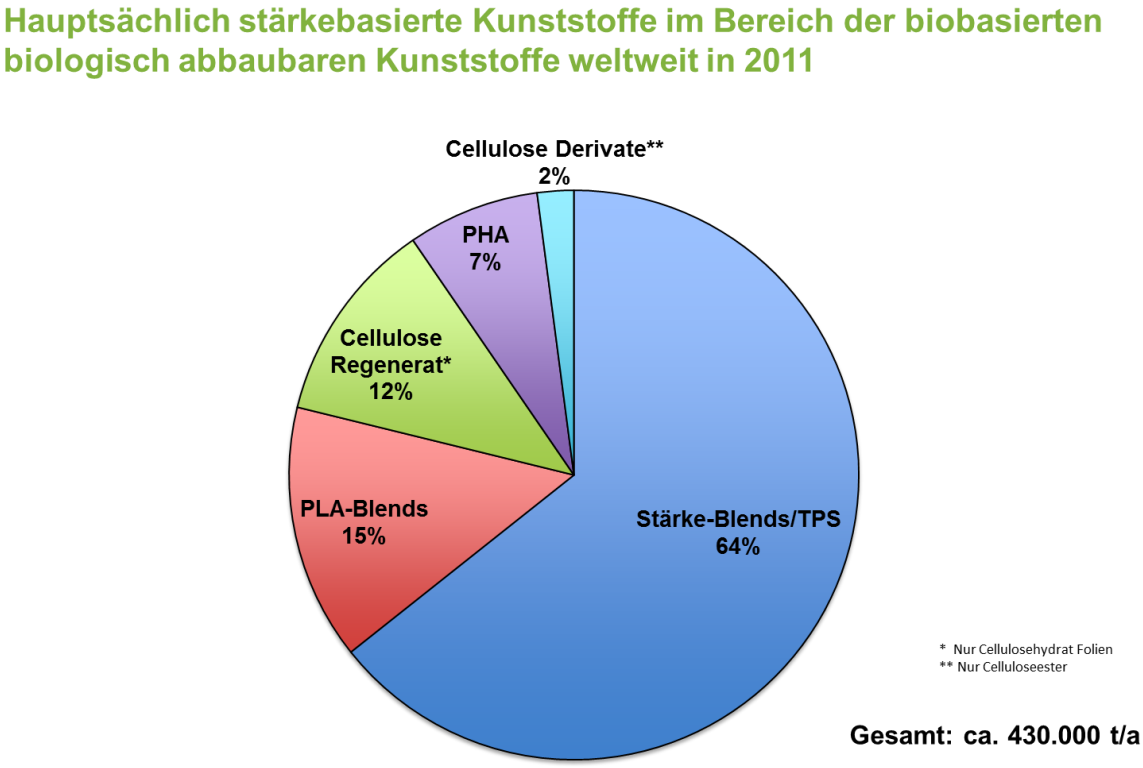

Abb. 134: Globale Produktionskapazitäten biobasierter bioabbaubarer Kunststoffe 2011[400]

Bei den beständigen biobasierten Kunststoffen sind 2011 insbesondere biobasierte PE und PET bedeutsam. Nach Ankündigungen eines Herstellers von Getränkeflaschen aus PET (Coco Cola Company), werden zukünftig vermehrt biobasierte PET eingesetzt werden, was zur einer erheblichen Steigerung der Produktionskapazitäten der Bio-PET führen wird. Das Bio-PET wird dann eine marktführende Position unter den Biokunststoffen einnehmen.

[400] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012, TPS: Thermoplastische Stärke

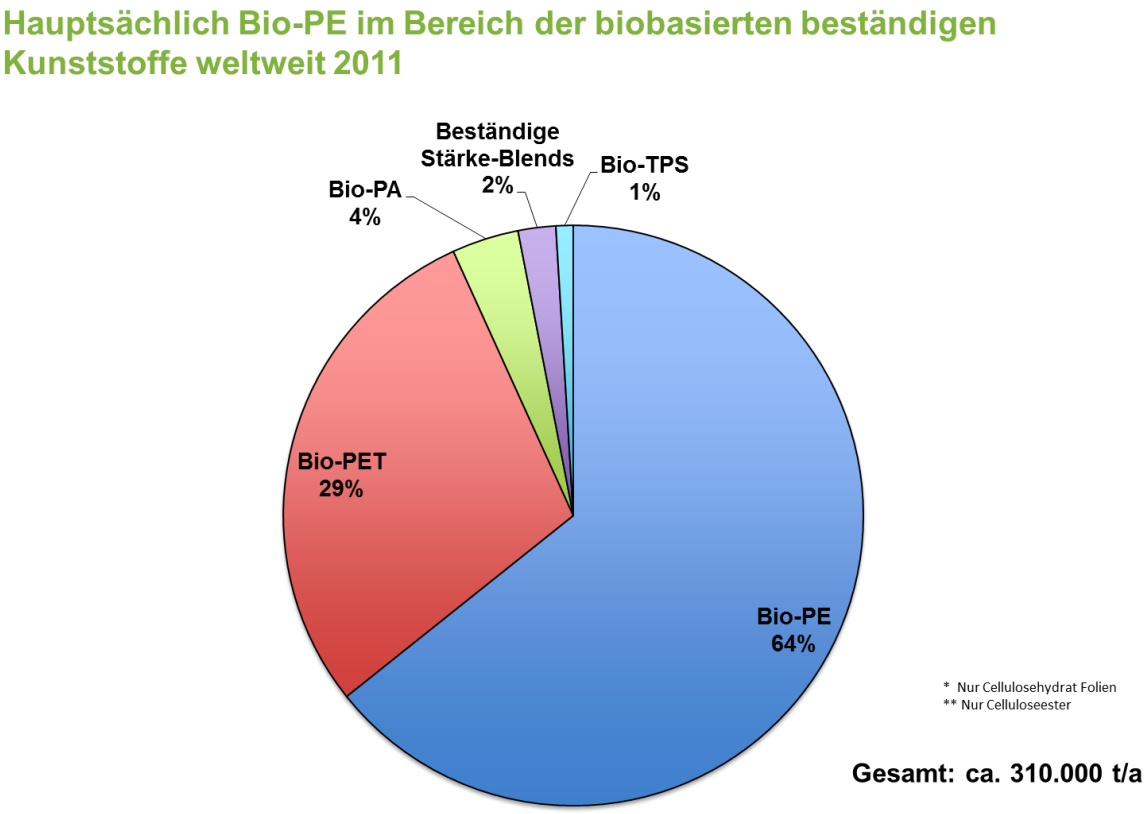

Abb. 135: Globale Produktionskapazitäten biobasierter beständiger Kunststoffe 2011)[401]

Die wichtigsten Produktionsländer für die im großindustriellen Maßstab erzeugten biologisch abbaubaren, thermoplastischen Biokunststoffe sind momentan Amerika, Westeuropa, Asien und Australien. Dabei zeigen sich unterschiedliche nationale Schwerpunkte, die u. a. auf die F&E-Historie, die Rohstoffverfügbarkeit oder einfach auf den jeweiligen Firmensitz zurückzuführen sind.

Mit 195.000 Tonnen entfiel etwas mehr als ein Viertel der weltweiten Produktionskapazität biobasierter Kunststoffe von insgesamt ca. 740.000 Tonnen in 2011 auf die EU. Rund 40% der EU Produktion entfiel auf Deutschland, das macht rund ein Zehntel der globalen Produktion aus.[402]

[401] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012,), Bio-PUR und BIO-PC wurden nicht graphisch dargestellt, da deren Anteile global weniger als 1% betragen. TPS: Thermoplastische Stärke (beständig), PE: Polyethylen, PET:Polyethylenterephthalat

[402] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Experteninterviews 2012

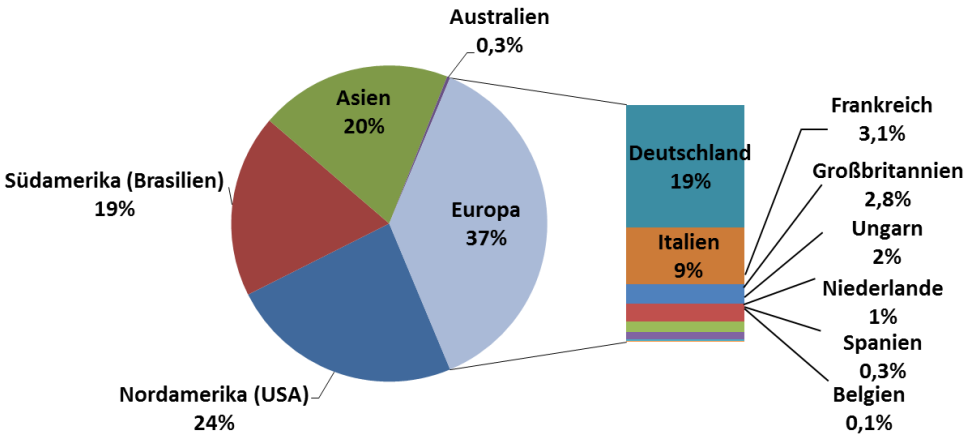

Abb. 136: Globale Produktionskapazitäten biobasierter Kunststoffe nach Ländern[403]

In der folgenden Abbildung sind einige weltweite Produktionsanlagen mit relevanten Kapazitäten von End- sowie Zwischenprodukten sowie geplante Anlagen dargestellt.

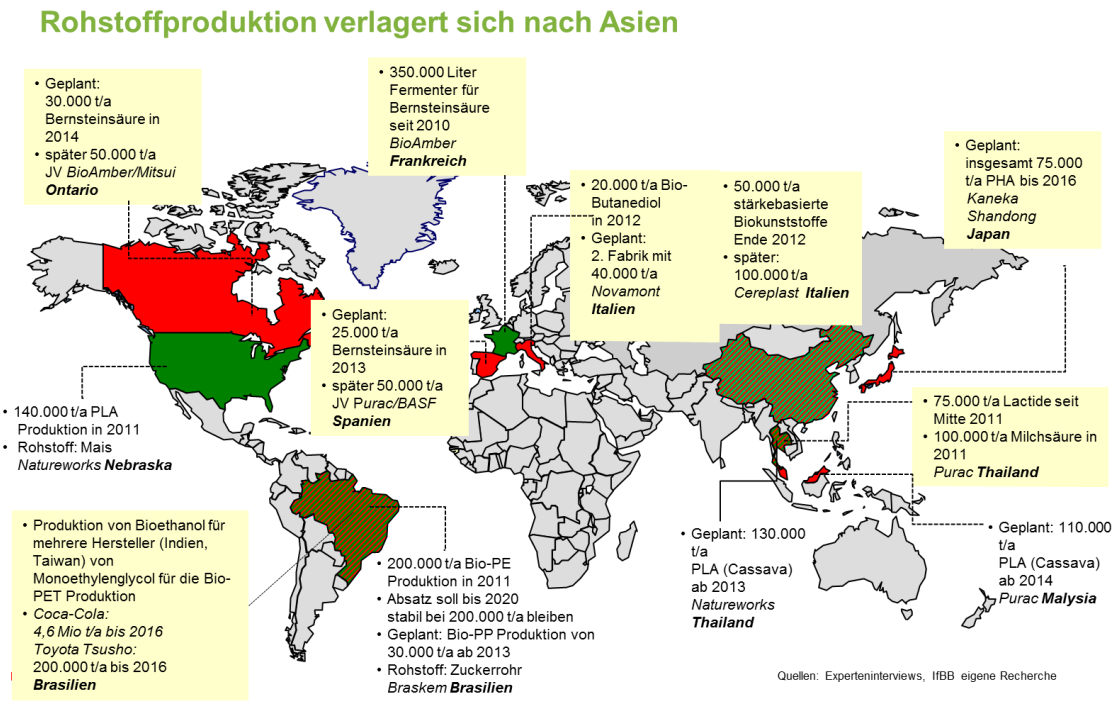

Abb. 137: Relevante internationale Erfahrungen, globaler Überblick 2011[404]

[403] Modifiziert nach Endres. H.-J.; u.a: Kunststoffe „Marktchancen, Flächenbedarf und künftige Entwicklungen“ Kunststoffe, München 2011

[404] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Experteninterviews

Entwicklung des Marktes

Insgesamt existieren global etwa 200 grundsätzlich kommerziell verfügbare Biokunststofftypen inklusive Asien, sofern bekannt. Dabei handelt es sich zur Hälfte um bevorzugt spritzgießtechnisch verarbeitbare biobasierte Kunststoffe bzw. um typische Folienwerkstoffe.

Hinter diesen verschiedenen Folien- und Spritzgusswerkstoffen stehen mehr als 60 kommerzielle Werkstoffhersteller und vermutlich mindestens nochmals 20 Firmen oder Entwicklungseinrichtungen, die sich konkret mit der Entwicklung und Herstellung von biobasierten Kunststoffen im F&E-Bereich befassen.

In den **USA** dominiert der unter dem Handelsnamen NatureWorks Ingeo vertriebene Werkstoff Polylactid der Fa. Nature Works LLC. Im Oktober 2007 wurde bekannt, dass die japanische Fa. Teijin Ltd. einen Anteil von 50% an NatureWorks übernommen hat. Der für das PLA erforderliche Rohstoff Milchsäure wird fermentativ auf Basis von Maisstärke hergestellt.

Ein weiterer wichtiger Biokunststoffhersteller für Bio-PE aus Ethanol ist die Firma Braskem (Südamerika, Brasilien). Braskem arbeitet derzeitig ebenfalls intensiv an der Entwicklung von Bio-PP. Als Ausgangsrohstoff wird Zuckerrohr eingesetzt.

2012 veröffentlichte die Firma Coca-Cola, bis zum Jahr 2016 ca. 4,6 Mio. Tonnen 30% biobasiertes PET für Getränke-Flaschen unter dem Namen „PlantBottle“ zu verwenden und setzt somit großtechnologische Maßstäbe im Einsatz biobasierter Kunststoffe auf Basis von Zuckerrohe im Anwendungsgebiet der Verpackungen.[405]

Wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt, gestaltet es sich als sehr schwierig, den **asiatischen** Biokunststoffmarkt zu erfassen. Nach Auswertung einer chinesischen PLA-Marktanalyse zum asiatischen Raum sowie eigenen Recherchen, können folgende Angaben gemacht werden:

China befindet sich hinsichtlich der PLA-Produktion derzeitig noch in der Anfangsphase. Allerdings ist auch hier das Interesse sehr groß, sodass viele Institute und Firmen auf dem Gebiet forschen und entwickeln.

Aufgrund geringerer Rohstoffpreise in Asien für beispielsweise Cassava als nachwachsenden Rohstoff planen europäische und amerikanische Firmen in **Thailand** und **Malaysia** Produktionsanlagen für PLA und Milchsäure in Maßstäben von 100.000 Tonnen pro Jahr.

Der **japanische** Markt beschäftigt sich sehr stark mit der Herstellung von PLA-Fasern, wobei hier derzeitig fast ausschließlich das PLA von NatureWorks verwendet wird. Auch werden Kooperationen mit der Firma NatureWorks sehr häufig erwähnt. Seit 2007 bestand zwischen der amerikanischen Firma NatureWorks und der japanischen Firma Teijin Limited ein 50:50 Joint Venture, welches 2011 wieder aufgelöst wurde.[406]

[405] Dr. Klaus Stadler, The Coca-Cola Company, 7th European Bioplastics Conference, Berlin 2012

[406] Chem Chemical Consultation Network: China Market Research report, Shanghai 2008; modifiziert nach H.-J. Endres; A. Siebert-Raths “Engineering Biopolymere“, Carl Hanser Verlag 2011

5.2.9.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Für den globalen Markt ergibt sich eine Produktionskapazität für biobasierte Verbundwerkstoffe von ca. 2,35 Mio. Tonnen pro Jahr. Diese Gesamtmenge umfasst sowohl NFK wie WPC. Die Tonnage teilt sich auf in 2,2 Mio. Tonnen WPC, basierend auf der Auskunft des Verbandes der Deutschen Holzindustrie, und 151.000 Tonnen NFK, basierend auf der vom IfBB durchgeführten Herstellerbefragung. Aus der Evaluierung der Datengrundlage ergab sich:

- Die Herstellerbefragung deckt nicht den gesamten globalen Markt ab. Die Produktionskapazitäten sind im Vergleich zur Realität (wahrscheinlich) zu gering abgebildet.
- Die Trennschärfe der Begriffsdefinition für NFK und WPC vermindert sich mit zunehmender Internationalisierung der Herstellerbefragung.
- Die Trennschärfe des Übergangs vom WPC zum NFK aufgrund der Partikelgröße des eingesetzten Holzstoffes ist nicht eindeutig und wird bei zunehmender Internationalisierung unklarer.

Im Hinblick auf die oben angeführten Gründe erscheint das Verhältnis der Teilmärkte WPC und NFK verzerrt und als nicht realistisch abgebildet. Es wurde deshalb folgende Annahme getroffen:

- 15% der Produktionskapazität für WPC wird der globalen NFK-Produktion zugeteilt

Unter dieser Annahme ergeben sich folgende Endproduktionsmengen in Jahrestonnen weltweit in 2011:

- Gesamtproduktionsmenge biobasierte Verbundwerkstoffe: 2,35 Mio. Tonnen
  - Produktionskapazität NFK: 480.000 Tonnen
  - Produktionskapazität WPC: 1,87 Mio. Tonnen

Der globale Markt der biobasierten Verbundwerkstoffe zeigt bei den Anwendungsgebieten eine Verlagerung hin zum Bereich der Baumaterialien. Im amerikanischen Markt werden WPC seit ca. 2006 basierend auf einem CCA-Verbot verstärkt im Baubereich eingesetzt. Der Anwendungssektor „Baumaterialien“ nimmt mit 79% das Haupteinsatzgebiet für den Einsatz von WPC ein. Die folgende Abbildung stellt die prozentuale Verteilung der Anwendungsgebiete für NFK und WPC global dar. Die Anwendungen der NFK liegen überwiegend im technischen Bereich und dort insbesondere in der Automobilindustrie.

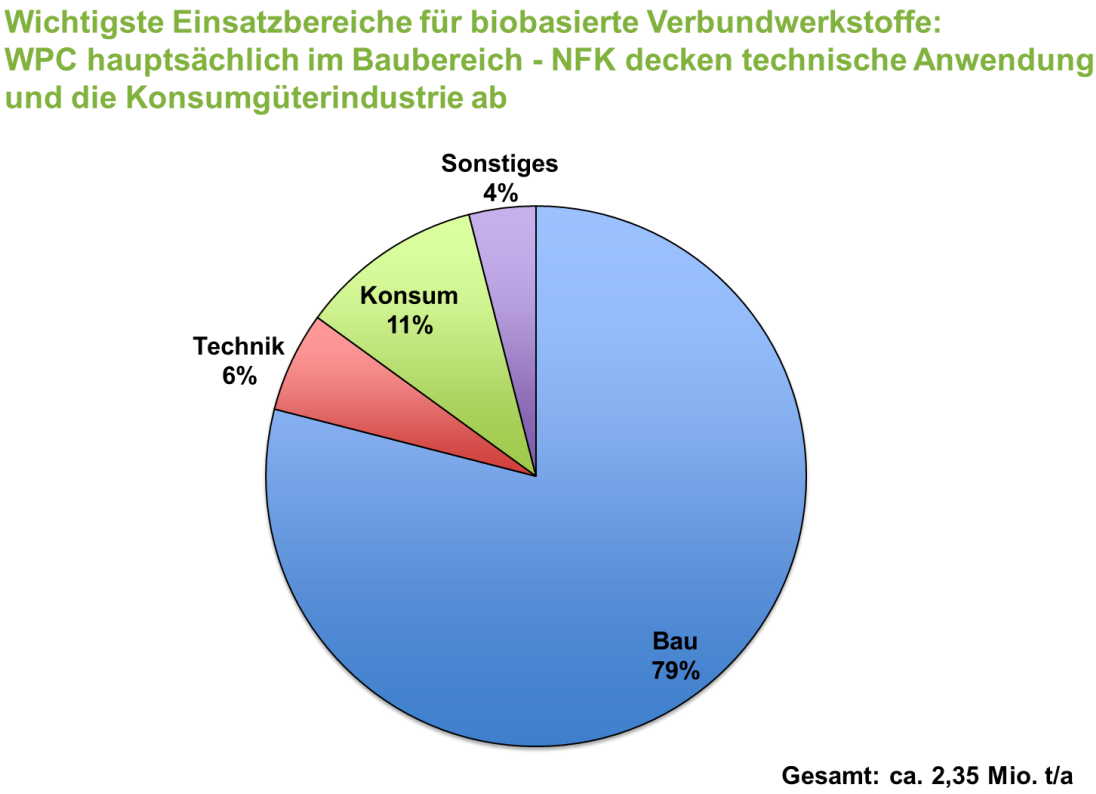

Abb. 138: Wichtigste Anwendungen von WPC und NFK weltweit[407]

5.3 Vergleich mit 2004

5.3.1 Beschreibung des Marktes in 2004

5.3.1.1 Biobasierte Kunststoffe

In der vorangegangenen Marktstudie zu Nachwachsenden Rohstoffen werden Daten für das Jahr 2004 dargestellt. Im Bereich der biobasierten Kunststoffe werden hauptsächlich Verpackungsmaterialien betrachtet. Für biobasierte Kunststoffe im Verpackungsmarkt sind in Europa die Marktsegmente Folien, Tragetaschen, Mulchfolien und Pflanzentöpfe sowie Holzpaletten und –kisten technisch umsetzbar und wirtschaftlich von Interesse.

EU-weit wurden 2004 ca. 30.000 Tonnen biologisch abbaubare Polymere in der Verpackungsindustrie eingesetzt, in Deutschland sind es < 15.000 Tonnen. Eine wesentliche Barriere zum Markteintritt der Verpackungen aus kompostierbaren Biokunststoffen war zu der Zeit die Verpackungsverordnung. Die 5. Novellierung in 2005 sollte für die kompostierbaren Biokunststoffverpackungen den Markteintritt unterstützen. Die anschließende Abbildung stellt die damaligen F&E Defizite, Risiken und Treiber dar.

[407] Herstellerbefragung und eigene Annahme

Kriterien	Verpackungen aus Kunststoff	Mulchfolien & Pflanzentöfe
F&E Defizite	• Grundpolymere sind entwickelt • Bedarf bei Additiven, Compounds und Verfahrensoptimierung.	• Siehe „Verpackungen aus Kunststoff“
Risiken	• Akzeptanzproblematik bei mangelhafter Verbraucherinformation • Aufbau eines flächendeckendes Kompostierungssystems.	• Der Bodeneintrag von Beiprodukten (Additive) muss bewertet und gesetzlich geregelt werden (z.B. Düngemittelverordnung)
Treiber	• Senkung der Entsorgungskosten / Novellierung der VVO 2005 • Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit von Biokunststoffen auf NAWARO Basis bei steigenden Rohölpreisen • Kundenakzeptanz durch Verbraucherinformation über ökologische Vorteile	• Zusätzlich zu den Treibern der „Verpackung aus Kunststoff“ • Zusätzliche wirtschaftliche Attraktivität für Baumschulen sowie Pflanzbetriebe durch Reduzierung des Handlings • Preissprung bei nichtkompostierbaren Konkurrenzprodukten durch Zwang zur Aufnahme in das DSD-System.

Abb. 139: Darstellung der F&E Defizite, Risiken und Treiber für den Verpackungsmarkt und Agrarbereich in Deutschland für 2004

Stellt man die Produktionsmengen in 2011 den Zahlen von 2004 gegenüber, kann ein ansteigender Verlauf in Produktionsmenge und Umsatz festgestellt werden.

Kriterien	Verpackungen	Mulchfolien & Pflanzentöfe	Konsumgüterindustrie.	Automobilindustrie
Marktgröße 2004	• < 15.000 t	• .< 100 t	• .< 100 t	• <10 t .
Marktgröße 2004	• < 45 Mio.€	• .< 300.000 €	• .< 300.000 €	• < 300.000 €.
Prognose Marktgröße 2010	• 110.000 t / 165 Mio. €.	• .3.500 t / 5 Mio.. €	• 24.000 t / 35 Mio. €.	• 24.000 t / 72 Mio. €.
Tatsächliche Marktgröße 2010	• ca. 70.000 t (inkl. Fl.) • 175 Mio. € (2,50€/kg)	• ca. 27.000 t • 135 Mio. € (5 €/kg) .	• ca. 37.000 t • 167 Mio. € (4,50 €/kg) .	• ca. 29.000 t • 174 Mio. €.(6 €/kg)
Grundannahmen der Prognose	• 5% der kurzlebigen Verpackungen • Wachstum: >30% • Preisabschätzung Granulatpreis: 1,50€/kg	• 10% der konventionellen Produkte bes. geeignet für Substitution • Preisabschätzung Granulatpreis: 1,50€/kg	• ca. 1 % des Gesamtmarktes • Preisabschätzung Granulatpreis: 1,50€/kg	• ca. 10 % des Kunststoffes f. AutoInterieur • Preisabschätzung Granulatpreis: 1,50€/kg

Abb. 140: Marktgrößen für biobasierte Kunststoffe in Deutschland für 2004

PLA wurde bereits damals im Jahr 2004 ein großes Potenzial aufgrund hoher Zuwachsraten prognostiziert.

5.3.1.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Der NFK und WPC Markt spiegelt sich in folgenden Marktzahlen in Deutschland im Jahr 2004 wider:

Kriterien	Interieur und Exterieur/Automobil PKW	Interieur und Exterieur/Transport	Dauerhafte Produkte / Konsumgüterindustrie	Profile / Bau & Möbelindustrie
Marktgröße 2005 in t	• 80.000 (vor allem NF und Holz, kein Cotton).	• > 80.000 (vor allem Cotton und Holz)	• < 100	• < 10.000 hauptsächlich WPCs
Marktgröße 2005 in €	• > 400 Mio.	• > 400 Mio.	• > 200 Mio.	• > 15 Mio.

Abb. 141: Marktgrößen für NFK und WPC in Deutschland für 2004

5.3.2 Wesentliche Änderungen und Treiber und Erklärung der Marktentwicklung

5.3.2.1 Biobasierte Kunststoffe

Die wesentlichen Marktreiber und Veränderungen im Zeitraum 2004 bis 2011 sind primär politischer Natur, da 2005 die 5. Novellierung der Verpackungsverordnung gesetzlich festgelegt wurde und somit die zertifizierten kompostierbaren Verpackungen aus der Rücknahmepflicht befreit wurden. Dieser sich daraus ergebende wirtschaftliche Vorteil zeigt sich am Anstieg der Produktionsmengen von 2004 bis 2011.

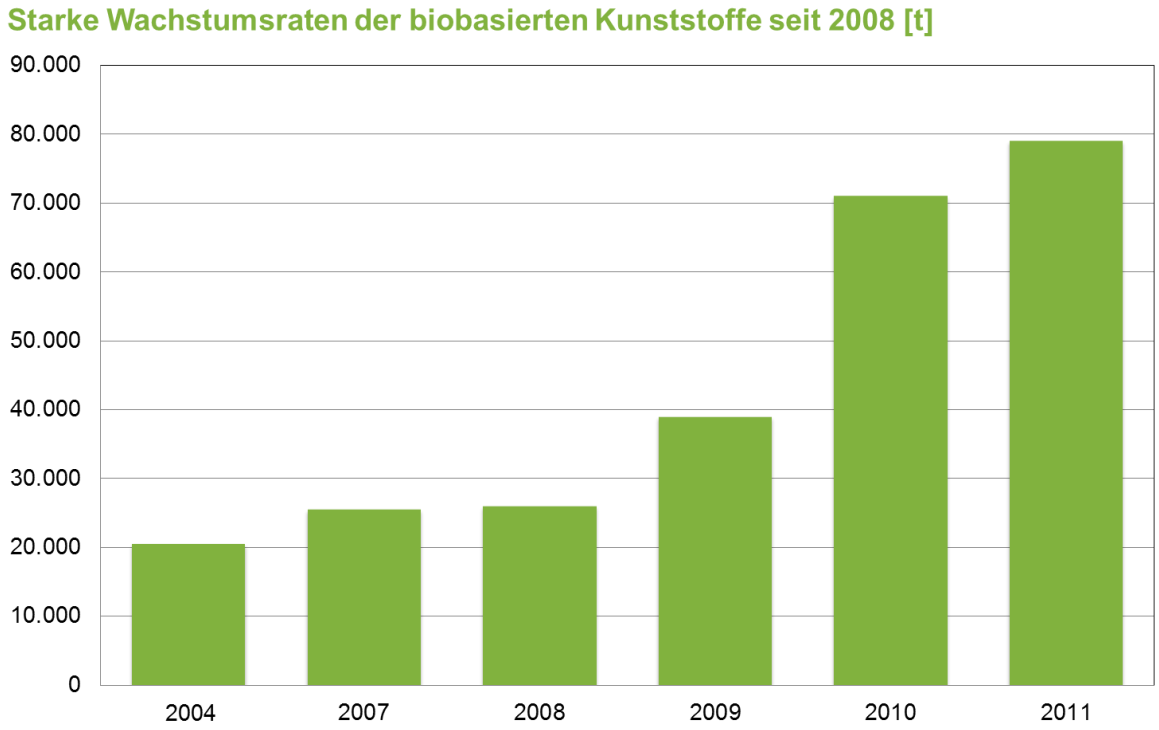

Abb. 142: Produktionsmengen biobasierter Kunststoffe von 2004 bis 2011 im Verlauf in Deutschland[408]

[408] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe) und Herstellerbefragung 2012

5.3.2.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

In der Studie aus 2004 wurde für das gleiche Jahr der Einsatz von NFK/WPC mit 170.000 Jahrestonnen zu hoch angenommen. Aus heutiger Sicht ergab die Marktrecherche und Herstellerbefragung rückwirkend für das Jahr 2004 für Deutschland eine deutlich niedrigere Produktionsmenge von nur ca. 60.000 Jahrestonnen. Diese Menge erscheint gegenüber der Aussage der damaligen Studie im Nachhinein als realistischere Einschätzung und wird durch eine aktualisierte Studie der FNR in Kooperation mit dem nova-Institut aus 2008 unterstützt[409]. Auf Basis der aktuellen Marktrecherche beläuft sich die Produktionskapazität für NFK und WPC 2011 in Deutschland auf ca. 127.000 Jahrestonnen. Die Menge der Terassendeckings von ca. 45.000 t/a ist hier nicht berücksichtigt und wird im Kapitel 10 „Bauen und Wohnen“ betrachtet. Damit liegt auch die für 2011 erfasste Menge unter der damals prognostizierten von knapp 240.000 Jahrestonnen. Wesentliche Treiber sind die Automobilindustrie und die Bauindustrie.

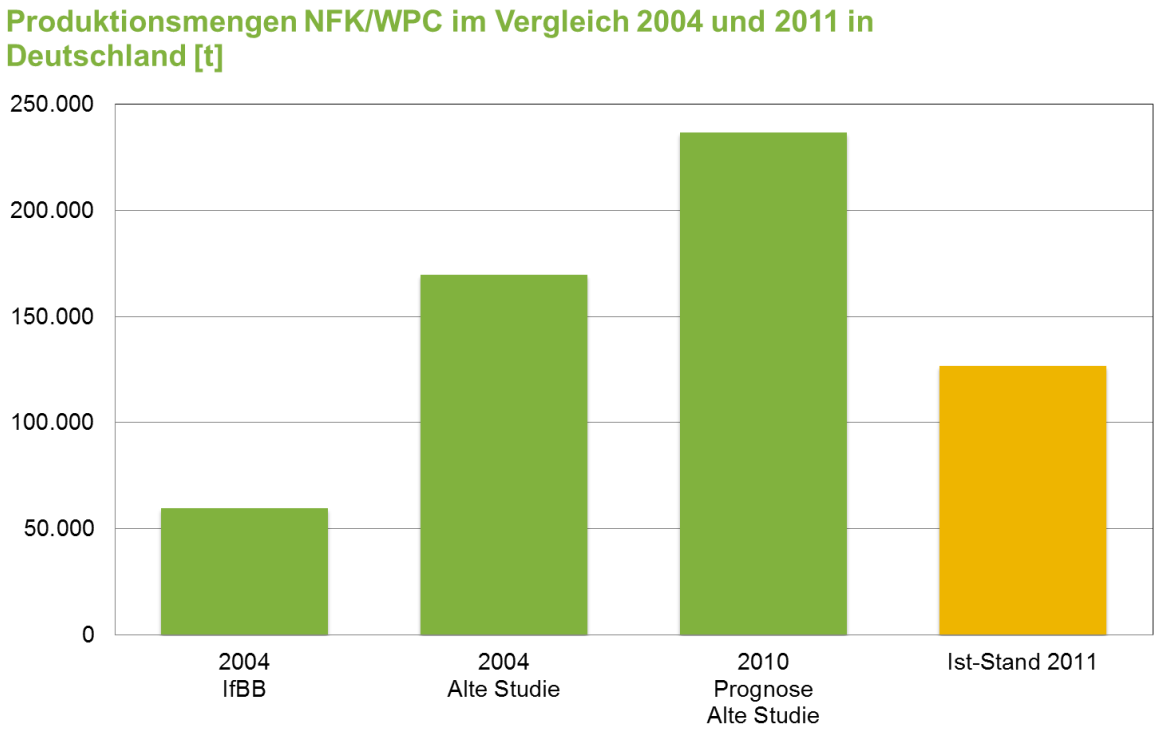

Abb. 143: Produktionskapazitäten der NFK und WPC 2011 in Deutschland im Vergleich mit den 2004 erfassten Produktionsmengen[410]

Wesentliche Änderungen und Treiber waren und sind gesetzlich verbesserte Rahmenbedingungen, positive Marketingstrategien der Industrie auf Basis biobasierter Kunststoffe und die Preisrelation zwischen Erdöl und nachwachsenden Rohstoffe.

[409] nova-Institut / FNR: Gülzower Fachgespräche, Band 26, „Studie zur Markt- und Konkurrenz-situation bei Naturfasern und NaturfaserWerkstoffen (Deutschland und EU)“, 2008

[410] Herstellerbefragung, Abstimmung mit Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.

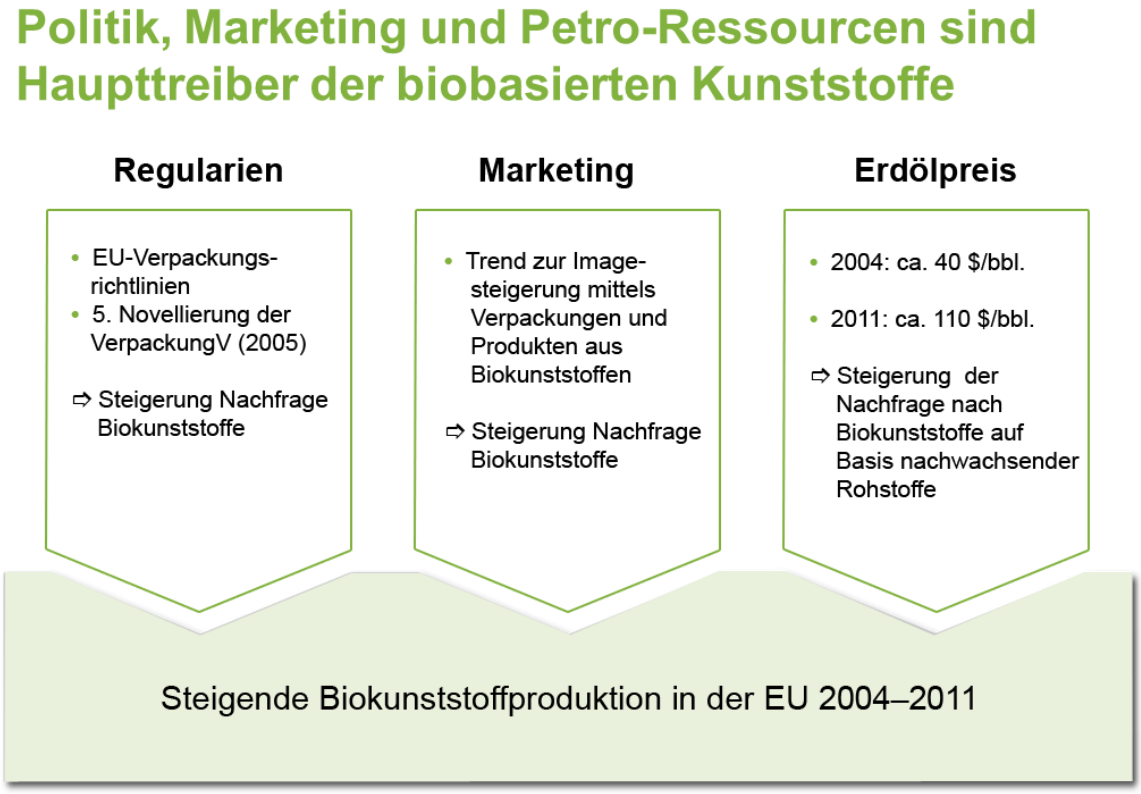

Abb. 144: Rahmenbedingungen und Treiber zwischen 2004 – 2011 im Markt der biobasierten Kunststoffe

Hinsichtlich der Preisentwicklung der Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe zeigt die nachfolgende Abbildung eine Reduzierung der Granulatpreise der NFK und WPC aufgrund steigender Produktionsmengen. Der Preis für konventionelle Kunststoffe steigt dagegen bedingt durch höhere Erdölpreise. Die Bewertung des PLA-Preises ist schwierig. Aktuelle Recherchen des IfBB ergaben für 2004 einen PLA-Preis von über 3 €/kg Granulat. Im Vergleich dazu liegen die Schätzungen des Berichtes von 2004 mit 1,40 €/kg Granulat zu niedrig. Zukünftig wird aufgrund größerer geplanter Produktionsanlagen ein weiteres Absinken des PLA-Preises erwartet.

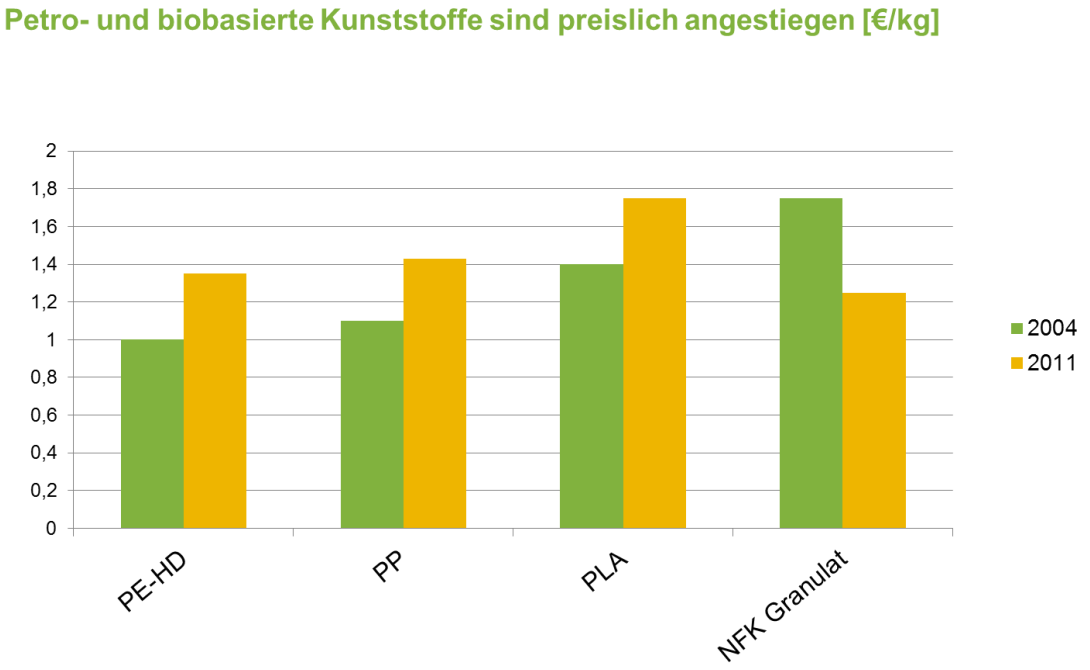

Abb. 145: Preisvergleich von biobasierten Kunststoffen und -werkstoffen der Jahre 2004 und 2011[411]

Der biobasierte Kunststoffmarkt in Deutschland besitzt heute noch einen geringen Anteil am deutschen Gesamtkunststoffmarkt (ca. 0,5%), allerdings liegen die jährlichen Wachstumsraten im Vergleich von 2004 zu 2011 bei ca. 10%. Es wird bei der Betrachtung des Marktes deutlich, dass biobasierte und beständige Kunststoffe ein größeres Wachstumspotenzial besitzen als biobasierte und abbaubare Kunststoffe. In diesem Punkt verschiebt sich der anfängliche Fokus von der Bioabbaubarkeit auf die industrielle Implementierung von beständigen biobasierten Kunststoffen, insbesondere „Drop-In“ Lösungen. In der preislichen Entwicklung sind die Biokunststoffe, mit der Ausnahme von PLA und zunehmend auch Bio-PE sowie Bio-PET, noch nicht im wettbewerbsfähigen Status zu den konventionellen Kunststoffen. Die derzeitige Preisspanne zwischen den biobasierten und petrobasierten Kunststoffen wird sich zukünftig durch steigende Produktionskapazitäten von biobasierten Kunststoffen und weiter steigenden Erdölpreisen verkleinern.,. Steigende Rohstoffpreise werden durch die Verlagerung der Produktionsstandorte in den asiatischen und südamerikanischen raum kompensiert. Die Entwicklung der ersten biobasierten Kunststoffe spielte sich bis vor wenigen Jahren überwiegend in Europa ab. Im Rückblick der Marktentwicklung der letzten Jahre und zukünftig geplanter Anlagen weltweit, wird jedoch deutlich, dass weniger in Europa sondern überwiegend in Nord- und Südamerika sowie Asien neue zusätzliche Kapazitäten in signifikantem Maße aufgebaut wurden und werden. Aufgrund der geringeren Rohstoffkosten fand das Wachstum der Produktionskapazitäten der Grundwerkstoffe durch neue Anlagen zunehmend außerhalb Europas und insbesondere außerhalb Deutschland statt. Im zeitlichen Vergleich ist außerdem erkennbar, dass sich eine Vielzahl von neuen Biokunststoffarten mit einer großen Spanne an Anwendungsgebieten entwickelt hat.

[411] Marktrecherche, IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Herstellerbefragung, kiweb 2011, M. Carus, Angaben in €/kg Granulat

5.4 Vergleich mit der Prognose aus 2004 für 2010

In der Markstudie aus 2004 werden für den Sektor der biobasierten Kunststoffe und biobasierten Verbundwerkstoffe (NFK & WPC) Aussagen und Daten für das Jahr 2010 mit dem Fokus auf den biobasierten Rohstoffeinsatz in Deutschland prognostiziert. Diese damaligen Prognosen werden mit den heutigen Fakten verglichen. Zur korrekten Marktdarstellung der biobasierten Kunststoffe müssen dabei im Rahmen des Vergleiches zusätzlich zu den biobasierten auch die petro-basierten abbaubaren Kunststoffe mit herangezogen werden, da sie z.B. oft als zwingend erforderliche Blendkomponente in den Biokunststoffen enthalten sind. Es werden im Folgenden jeweils die aus 2004 für 2010 prognostizierten Daten mit realen Werten des Jahres 2010 für biobasierte Kunststoffe und anschließend für biobasierte Verbundwerkstoffe verglichen.

5.4.1 Aufbereitung der Prognosedaten und Annahmen aus dem Jahre 2004 für das Jahr 2010

Beginnend werden die in der Marktstudie 2004 formulierten Prognosen aufgelistet, um diese anschließend mit der realen Entwicklung und dem heutigen Ist-Zustand vergleichen zu können. Anschließend zeigen zusammenfassende Abbildungen Daten und Fakten der damaligen Prognose-Annahmen für das Jahr 2010.

Prognosen und Annahmen aus der Marktstudie 2004 für biobasierte Kunststoffe und biobasierte Verbundwerkstoffe

Hinsichtlich der globalen Wettbewerbsfähigkeit von nachwachsenden Werkstoffen wurde aufgrund steigender Erdöl- und Energiepreise eine dementsprechend parallele Preissteigerung von Kunststoffen und Glasfasern angenommen. Demzufolge wurde für die Prognosen von einer zukünftig erhöhten Nachfrage, besserer Wettbewerbsposition sowie zunehmenden Marktanteilen der biobasierten Kunststoffe ausgegangen. Besonders für das Marktsegment der biobasierten Verpackungen im Lebensmittelsektor wurden ein „stürmisches Wachstum“ sowie eine mittelfristige Konkurrenzfähigkeit zu petrochemischen Polymeren angenommen.

In Bezug entstehender attraktiver Märkte und Anwendungen für nachwachsende Werkstoffe wurde für 2010 ein Marktvolumen von ca. 1,5 Mrd. € in Deutschland prognostiziert. Dieses beinhaltet die addierten Prognosen der biobasierten Kunststoffe und biobasierten Verbundwerkstoffe aus der Studie von 2004 für 2010. In den damaligen für biobasierte Kunststoffe betrachteten Anwendungsgebieten „Konsumgüter“ und für NFK „Automobilindustrie und Konsumgüter“ wurden jeweils Wachstumsraten von über 5% pro Jahr vorhergesagt. Den biobasierten abbaubaren Kunststoffen wurden eine wichtige Rolle im Bereich des Garten- und Landschaftsbaus und dort besonders den stärkebasierten Kunststoffen zugesprochen. PLA sollte sich mit seinem großen Potenzial durchsetzen, sobald die Nachfrage durch einen steigenden Verbrauch im Verpackungsmarkt für Lebensmittel anzieht. Die biobasierten abbaubaren Kunststoffe wurden als zukünftige Markthauptakteure herausgestellt, indem sie sich national und insbesondere international in einem stark wachsenden Markt gegenüber den petro-basierten nicht abbaubaren Polymeren etablieren werden. Den petrobasierten abbaubaren Kunststoffen wurde in 2004 eine eher ergän-

zende und nicht konkurrierende Rolle gegenüber den biobasierten abbaubaren Kunststoffen zugesprochen.

5.4.1.1 Gesamtprognose biobasierte Kunststoffe[412]

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Überblick der Prognosedaten zu biobasierten Kunststoffen für das Jahr 2010 in Deutschland aus der Marktstudie 2004. Es wurden dabei folgende vier Anwendungsgebiete als relevant betrachtet:

- Verpackungen / Lebensmittelindustrie
- Garten- & Landschaftsbau (Mulchfolien & Pflanzentöpfe)
- Konsumgüter
- Automobilindustrie

Aus heutiger Sicht wurden damit jedoch nicht alle wesentlichen Marktsegmente für 2010 erfasst bzw. prognostiziert. Im Jahr 2004 war es jedoch schwierig die korrekte Entwicklungen des sehr dynamischen Marktes der biobasierten Kunststoffe richtig vorherzusagen. So war z.B. der damalige Fokus der Marktbetrachtung auf die biobasierten abbaubaren Kunststoffen und deren Rohstoffeinsatz gerichtet. Die Entwicklung verlagerte sich in den letzten Jahren stattdessen verstärkt in Richtung der biobasierten, beständigen Kunststoffe.

Um einen Vergleich der damaligen prognostizierten Daten mit den realen Daten aus 2010 vornehmen zu können, werden die ursprünglichen Marktsegmente der damaligen Betrachtung mit ihren Bezeichnungen beibehalten und die neuen Marktsegmente werden zusätzlich hinzugefügt. Heutzutage tritt zum Beispiel das Marktsegment der biobasierten beständigen Verpackungen außerhalb des Lebensmittelbereiches oder der Bereich der Elektrogeräte zunehmend in den Vordergrund.

In der alten Marktstudie aus 2004 wurde eine Gesamt-“Marktgröße“ der biobasierten Kunststoffe innerhalb der betrachteten Marktsegmente von 186.000 Tonnen für das Jahr 2010 prognostiziert. Dabei ist nicht erläutert, ob es sich um Verbrauchsmengen oder Produktionskapazitäten handelt. Dieser Marktgröße wurde ein Gesamtumsatz von 277 - 310 Mio. € zugesprochen, mit einem jährlichen Wachstum zwischen 30 - 380% und weiter ansteigenden zukünftigen Wachstumsraten. Die viel zu optimistischen Grundannahmen der Prognose setzt folgende Annahmen voraus: Biobasierte Kunststoffe machen5 % am Gesamtmarkt der kurzlebigen Verpackungen aus, 1 % am Gesamtmarkt des Konsumgütersegmentes und ca. 10% am Gesamtmarkt für Autointerieur. Die folgende Abbildung stellt nochmals die wichtigsten Annahmen und die prognostizierten Marktdaten dar.

[412] Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

Prognose Bio-Polymere aus alter Marktstudie 2004 für 2010 für Deutschland

Segmente / Deskriptoren	Verpackungen / Lebensmittelind.	Mulchfolien & Pflanzentöfe / Garten- & Landschaftsbau	Dauerhafte Produkte / Konsumgüter	Interieur / Automobilindustrie	Gesamt
Bio-Polymere Marktgröße in t	• 110.000 t	• 3.500 t	• 24.000 t	• 48.000 t	• 186.000 t
Bio-Polymere Marktgröße in €	• 165 - 185 Mio. €	• 5 -18 Mio. €	• 35 Mio. €	• 72 Mio. €	• 277-310 Mio. €
Absatz- & Einkommenspotenz. für dt. Land-/Forstwirtschaft	• 75.000 - 200.000 t Weizenstärke	• 6.500 – 7.000 t Weizenstärke	• 45.000 t Weizenstärke	• 86.000 t Weizenstärke	• 213.000 – 338.000t Weizenstärke
Wachstum p. a. 2004 - 2010	• > 30 %	• > 70 %	• > 160 %	• > 380 %	• 30 - 380 %
Grundannahmen der Prognose	• 5% der kurzlebigen Verpackungen	• 10% d. konvent. Prod. besonders geeignet für Substitution	• ca. 1 % des Gesamtmarktes	• ca. 10 % der Kunststoffe für AutoInterieur	

Preisabschätzung Granulatpreis: 1,50 €/kg

Quelle: Alte Marktstudie, Experteninterviews, eigene Berechnung

Abb. 146: Prognosedaten der Bio-Polymere aus der Marktstudie von 2004 für das Jahr2010 in Deutschland[413]

5.4.1.2 Gesamtprognose biobasierter Verbundwerkstoffe (NFK/WPC)

Im Rahmen der Betrachtung der biobasierten Verbundwerkstoffe werden in diesem Arbeitspaket überwiegend nur NFK und WPC Werkstoffe erfasst. Analog zu steigenden Erdölpreisen wurde für die Prognose die Annahme getroffen, dass NFK/WPC-Produkte im Allgemeinen zunehmend an Attraktivität gewinnen werden. Der Naturfasermarkt sollte weltweit ein jährliches Wachstum von 5% annehmen, wobei Europa und Deutschland ein geringeres Wachstum zugesprochen wurde, obwohl nach Auffassung der Autoren der damaligen Studie die Naturfasern aus Europa und Deutschland bei Unterstützung durch geringe spezifische Subventionen mit asiatischen, südamerikanischen und afrikanischen Fasern hätten konkurrieren können. Mittelfristig wurde vor allem für Compounds aus biobasierten Kunststoffen mit Naturfasern eine große Marktchance angenommen.

- Als genereller Wachstumsmarkt war für die biobasierten Verbundwerkstoffen auch ein Potenzial in der Spritzgusstechnik angegeben. Dieser Aspekt wird hier nicht weiter erläutert. Im Einzelnen fanden in der alten Studie folgende Marktsegmente Berücksichtigung: Interieur und Exterieur / Automobil PKW
- Interieur und Exterieur / Transport
- Konsumgüter
- Profile / Bau- und Möbelindustrie

[413] Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

Diese Marktsegmente stellen einschließlich auch aus heutiger Sicht die wichtigsten Anwendungsbereiche der NFK/WPC dar. Der Baubereich enthält u.a. die Segmente Möbel und Gartengeräte.

In der alten Marktstudie aus 2004 wurde dabei den biobasierten Verbundwerkstoffen unter der Berücksichtigung dieser aufgeführten Marktsegmente eine Gesamtmarktgröße von 344.000 Tonnen für das Jahr 2010 prognostiziert. Dabei ist nicht erläutert, ob es sich um Verbrauchsmengen oder Produktionskapazitäten handelt. Dieser Marktgröße wurde ein Gesamtumsatz von ca. 1,2 Mrd. € und ein jährliches Wachstum zwischen 4,5 - 200% zugesprochen, wobei dem Marktsegment der Konsumgüter das größte Wachstumspotenzial zufiel. Die Grundannahmen der Prognose beinhalteten eine angenommene Preisschätzung des Granulatpreises von 1,50 €/kg und 5 €/kg für Zwischenprodukte. Da diese Unterteilung nicht näher erläutert wurde ist die Kalkulation des Marktvolumens mit den Zwischenprodukten nicht nachvollziehbar.

Die anschließende Abbildung gibt nochmals einen Überblick der Prognosedaten für NFK und WPC aus 2004 für das Jahr 2010 in Deutschland.

Prognose NFK und WPC aus alter Marktstudie 2004 für 2010

Segmente / Deskriptoren	Interieur und Exterieur/ Automobil PKW	Interieur u. Exterieur / Transport*	Dauerhafte Produkte / Konsumgüterind.	Profile / Bau- & Möbelindustrie	Gesamt
NFK & WPC Marktgröße in t	• 120.000 t	• 100.000 t	• 24.000 t	• 100.000 t	• 344.000 t
NFK & WPC Marktgröße in €	• 500 Mio. €	• 500 Mio. €	• 36 Mio. €	• 150 Mio. €	• 1,19 Mrd. €
Absatz- & Einkommenspotenz. für dt. Land-/Forstwirtschaft	• 60.000 t Je 50% NF, 50% Hnp	• 20.000 t Hnp. und 30.000 t NF	• 8.000 t Hnp. und 4.000 t NF	• 60.000 t Hnp. und < 5.000 t NF	• 118.000 t Hnp. 69.000 t NF
Wachstum p.a. 2004 - 2010	• ca. 4,5 %	• ca. 4 %	• < 200 %	• > 60 %	• 4,5 - 200 %
Grundannahmen der Prognose	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg), Zwischenprodukt Preis (5 €/kg)	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg), Zwischenprodukt Preis (5 €/kg)	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg), Zwischenprodukt Preis (5 €/kg)	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg), Zwischenprodukt Preis (5 €/kg)	

*Transport: NFZ, Schiene, Wasser, Luft Hnp: Holznebenprodukte

Abb. 147: Prognosedaten der biobasierten Verbundwerkstoffe (NFK und WPC) aus der Marktstudie von 2004 für das Jahr 2010 in Deutschland[414]

5.4.2 Vergleich mit Ist-Situation und Abweichungsanalyse

5.4.2.1 Biobasierte Kunststoffe

Für die Gesamtproduktionsmenge der biobasierten Kunststoffe in Deutschland wird in der Studie aus dem Jahr 2004 für das Jahr 2010 ein Wert von 185.500 Jahrestonnen prognostiziert. Die tatsächliche Produktionsmenge für vollständig und partiell biobasierte

[414] Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

Kunststoffe in Deutschland für 2010 beträgt dagegen nach aktuellem Stand nur ca. 79.000 Tonnen.[415] Somit vollziehen biobasierte Kunststoffe zwischen 2044 und 2010 zwar eine positive Entwicklung, allerdings betrug die Wachstumsrate nur ca. 45% der damaligen Prognose. Die Gründe für diese Abweichungen liegen darin, dass die Prognose viel zu optimistisch (z.B. 5% der kurzlebigen Verpackungen oder 10% für Automobilinterieur) und vermutlich nicht um Doppelzählungen bei Blends bereinigt war. Vermutlich wurden die Blendkomponenten doppelt erfasst, d.h. sowohl beim Hersteller der einzelnen Komponenten als auch bei den Herstellern der Blends. Außerdem wurden vermutlich auch petro-basierte Blendkomponenten mit berücksichtigt?

Zudem ist die Abbaubarkeit alleine kein „Selbstläufer“. Die Verfasser der Studie sind damals davon ausgegangen, dass die Abbaubarkeit als Entsorgungsoption alleine schon für ein starkes Marktwachstum ausreichend sei. Es ist jedoch bis heute trotz der Befreiung von den Entsorgungsgebühren (u.a. Grüner Punkt) bis Ende 2012 nicht gelungen in Deutschland eine entsprechende Logistik für kompostierbare Kunststoffe aufzubauen.

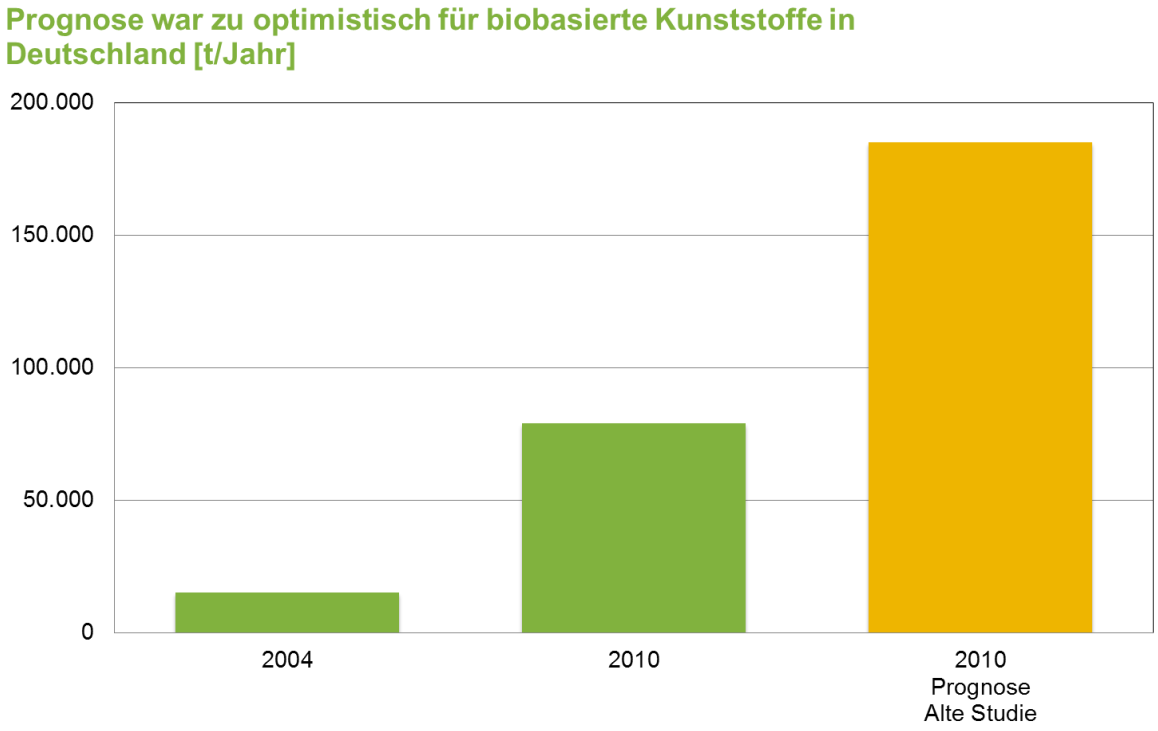

Abb. 148: Prognosedaten biobasierter Kunststoffe für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[416]

Auch wenn die Entwicklung der biobasierten Kunststoffe hinter den Erwartungen zurück blieb, so ist bei einer Betrachtung der verschiedenen Anwendungsgebiete im Einzelnen in allen Segmenten grundsätzlich ein positiver Wachstumstrend zu erkennen.

[415] IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)
[416] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

In der folgenden Tabelle ist die Marktentwicklung der *biologisch abbaubaren* Kunststoffe im **Agrarbereich** im Vergleich zur Prognose dargestellt.

Bioabbaubare Kunststoffe erlangen eine Rolle im Agrarbereich, hier am Beispiel Mulchfolien und Pflanzentöpfe in Deutschland

Kriterien	Ist-Zustand 2004	Prognose 2010 aus 2004	Ist-Zustand 2010 biobasiert	Ist-Zustand 2010 petrobasiert	Ist-Zustand 2010 gesamt
Produktion / Marktgröße	• < 100 t	• 3.500 t	• ca. 9.600 t	• ca. 7.000 t	• ca. 16.600 t
Umsatz	• < 300.000 € • 1,50 €/kg kalk.	• 5 Mio. € • 1,50 €/kg kalk.	• 43 Mio. € • 4,50 €/kg kalk.	• 31,5 Mio. € • 4,50 €/kg kalk.	• 74,5 Mio. € • 4,50 €/kg kalk.
Annahme aus 2004 für 2010	• International stark wachsender Markt, in Deutschland Marktwachstum >70% p.a. bis 2010 • Agrarbereich stellt wichtige Anwendungen für biobasierte Kunststoffe in Deutschland dar • Nawaro-basierte werden sich gegenüber petrochemisch basierten Polymeren durchsetzen				
Fazit heute	• Abbaubare Biokunststoffe haben ihre Rolle im Agrarbereich in Deutschland gefunden • Höhere Preise in 2010 als angenommen, umsatzbezogenes Marktwachstum zur Folge groß • PBAT (Polybutylenadipatterephtalat) noch vollständig petrobasiert, großer Anteil an bioabbaubaren Kunststoffen, da als Blendkomponente aufgrund des für Folienwerkstoffe erforderlichen Eigenschaftsprofils vielfach notwendig				

Abb. 149: Prognosedaten der biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffe im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[417]

Biobasierte biologisch abbaubare Kunststoffe haben sich im Gegensatz zur Prognose aus 2004 nicht als dominierend gegenüber den petro-basierten biologisch abbaubaren Kunststoffen durchsetzen können. Hier spielt in Deutschland das petro-basierte PBAT (Polybutylenadipat Terephthalat) weiterhin eine große Rolle in der Anwendung im Agrarbereich mit einem ca. 40%igen Anteil an der Gesamtproduktionsmenge. Der petro-basierte abbaubare Polyester PBAT ist aus materialtechnischer Sicht eine unverzichtbare Blendkomponente für abbaubaubare Polymerfolien. Diese Tendenz verstärkt sich auch über das Jahr 2010 hinaus. Im Jahr 2011 wurde in Deutschland eine neue Produktionsanlage für PBAT mit einer jährlichen Kapazität von 74.000 Tonnen in Betrieb genommen.[418]

Die Prognose aus 2004 schätzt für biobasierte biologisch abbaubare Kunststoffe für den Agrarbereich im Jahre 2010 einen Wert von 3.500 Jahrestonnen und liegt damit weit unter den realen Produktionsmengen für 2010 mit Werten von ca. 9.600 Jahrestonnen. Hinzu kommen für den realen Biokunststoffeinsatz im Agrarbereich in Deutschland für 2010 noch ca. 7.000 Jahrestonnen petro-basierte abbaubare Biokunststoffe als aus materialtechnischer Sicht unverzichtbare Blendkomponente in den kompostierbaren Folienwerkstoffen. Die damals prognostizierte Umsatzwachstumsrate für dieses Marktsegment von

[417] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)
[418] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)

70 % pro Jahr wurde aufgrund der deutlich größeren Mengen verbunden mit einem höheren Materialpreis weit, d.h. mit ca. 200% überschritten. Statt des prognostizierten Marktvolumens von 5 Mio. Euro lag das Marktvolumen für abbaubare Agrarfolien bei ca. 75 Mio. Euro.

Deutlich erkennbar ist eine Manifestierung der biologisch-abbaubaren Kunststoffe im Agrarbereich. Der positive Markttrend der biobasierten abbaubaren Kunststoffe im Agrarbereich liegt hier in diesem Sektor am funktionalen Vorteil der Abbaubarkeit. Es werden dabei hauptsächlich PLA- und Stärke-Blends sowie das petro-basierte PBAT heute eingesetzt. Der im Jahre 2004 für 2010 angenommene Granulatpreis von 1,50 €/kg ist heute allerdings auf ca. 4,50 €/kg angestiegen.[419] Gründe für diese Fehleinschätzung sind die vermutlich nicht eingetretenen Prognose fallender Biokunststoffpreise und angestiegene Rohstoffkosten. Vermutlich wurde zudem damals davon ausgegangen, dass 2010 die Folien weiterhin überwiegend auf preiswerten biobasierten Kunststoffen wie Stärke und PLA basieren. Die notwendige Weiterentwicklung der Folienwerkstoffe basierte jedoch zu einem wesentlichen Teil auf der Herstellung von Blends aus verschiedenen Biokunststoffen, in denen erst wesentlich teureren Blendkomponenten zur erforderlichen Materialperformance führen.

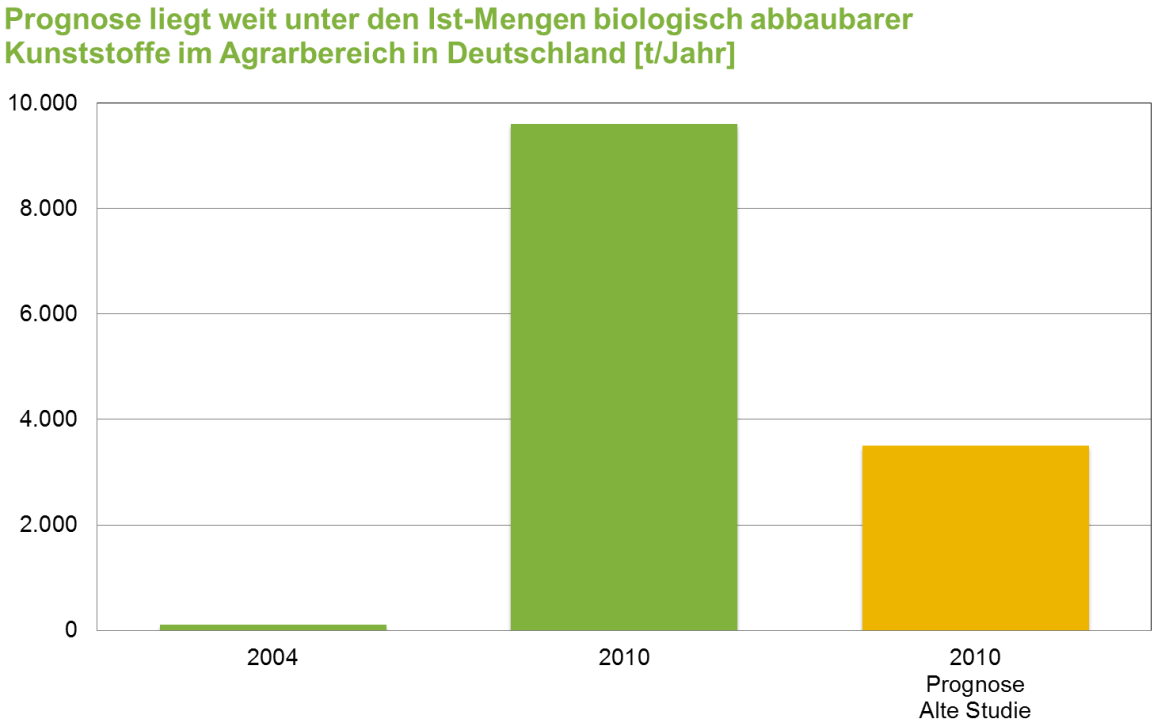

Abb. 150: Graphische Darstellung der Prognosedaten von biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffen im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[420]

[419] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)
[420] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe), Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

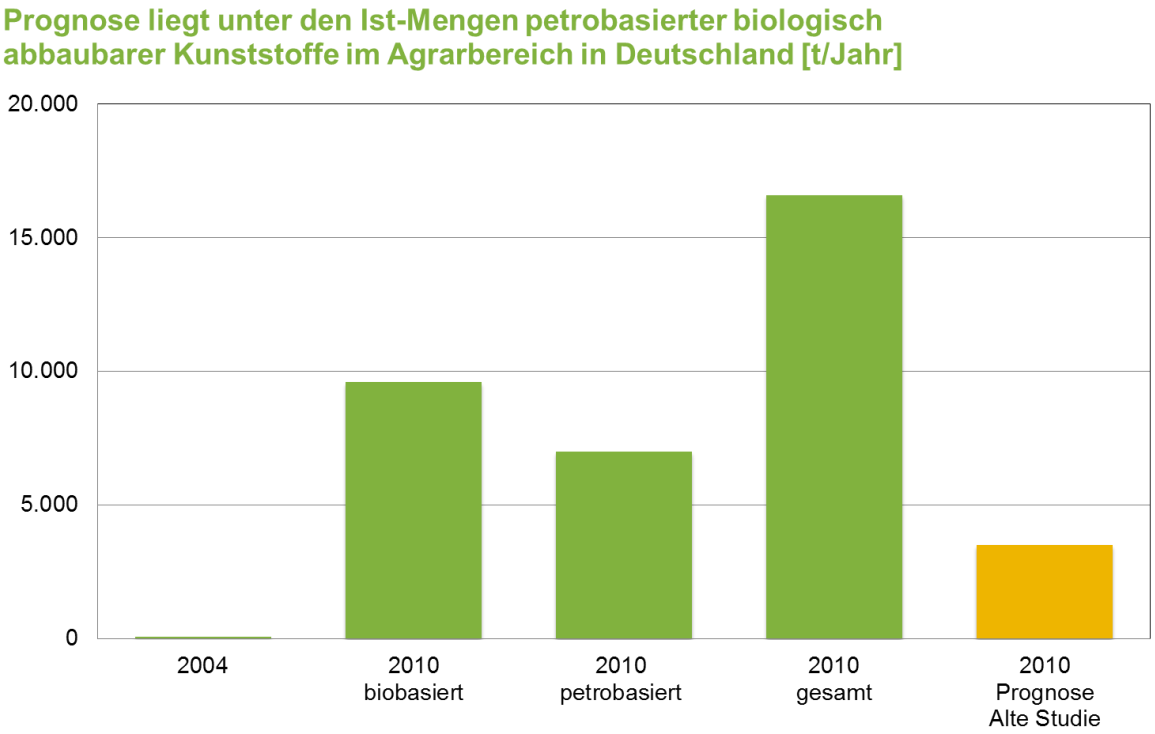

Abb. 151: Graphische Darstellung der Prognosedaten von biobasierten biologisch-abbaubaren Kunststoffen im Agrarbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von in Deutschland[421]

Im Anwendungsgebiet der **Verpackungen** fokussiert sich die Prognose für 2010 auf biobasierte Verpackungen speziell in der Lebensmittelindustrie.[422] Im Vergleich zu den tatsächlich erlangten Mengen in 2010 von ca. 20.400 Tonnen in Deutschland, liegt die Prognose um ein Sechsfaches darüber. Das Marktsegment der bioabbaubaren Lebensmittel-Verpackungen ist deutlich geringer gewachsen als angenommen. Ein Grund liegt vermutlich in einer fehlenden Kompostierungslogistik. Der Entsorgungsweg der Kompostierung für diese biologisch abbaubaren Verpackungen wurde bis heute nicht aufgebaut. Zudem hat sich die Kompostierbarkeit als generellen Nutzen für Einsatz von biobasierten Kunststoffen im Verpackungsbereich nicht bestätigt. Die Abbaubarkeit bzw. Kompostierbarkeit stellt daher für die Lebensmittelverpackungen kein Vorteil sondern eher nur einen zusätzlichen logistischen Aufwand dar. Weitere Gründe für die Abweichung zwischen den für 2010 prognostizierten Mengen der biobasierten Kunststoffe im Lebensmittelverpackungsbereich und den realen Einsatzmengen in 2010 liegen vermutlich auch darin, dass die eingesparten DSD-Gebühren nicht an den Verbraucher weiter gegeben wurden, sondern in der Kette zwischen Materialhersteller, Verpackungshersteller, Produkthersteller, Abfüller und Discounter evtl. auch zur teilweisen Kompensation der höheren Materialpreise der biobasierten Kunststoffe „stecken geblieben“ sind (als kompostierbar zertifizierte Verpackungen waren bis 2012 von der Entsorgungspflicht befreit). Dadurch ergaben sich für die Verbraucher keine direkten technischen oder ökonomischen Vorteile. Die entsorgungs-

[421] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

[422] M. Carus„ Marktanalyse – Nachwachsende Rohstoffe Teil II“ 2004, Seite 98

technischen und ökologischen Vorteile einer kompostierbaren Verpackung konnten nicht umgesetzt und auch nicht kommuniziert werden.

Im Jahr 2010 wurden aufgrund der damals noch mangelnden Verfügbarkeit aber auch noch keine verpackungstypische „Drop-ins“, d.h. chemisch strukturgleiche aber biobasierte und beständige Biokunststoffe wie Bio-PE oder Bio-PET eingesetzt.

Die folgende Abbildung stellt nochmals die Prognosen den realen Zahlen gegenüber.

Bioabbaubare Kunststoffe in der Verpackungsindustrie, hier am Beispiel Verpackungen/Lebensmittelindustrie in Deutschland

Kriterien	Ist-Zustand 2004	Prognose 2010 aus 2004	Ist-Zustand 2010 biobasiert	Ist-Zustand 2010 petrobasiert	Ist-Zustand 2010 gesamt
Produktion / Marktgröße	< 15.000 t	110.000 t	ca. 20.400 t	ca. 7.000 t	ca. 27.400 t
Umsatz	< 45 Mio. € 3,00 €/kg kalk.	165 Mio. € 1,50 €/kg kalk.	100 Mio. € 5 €/kg kalk.	31,5 Mio. € 4,50 €/kg kalk.	132 Mio. € 4,50-5 €/kg kalk.
Annahme aus 2004 für 2010	5% der kurzlebigen Verpackungen werden von Biokunststoffen abgedeckt Wachstum: > 30% p.a. - "stürmisches" Wachstum Mittelfristige Konkurrenzfähigkeit zu petrochemischen Polymeren				
Fazit heute	Nur ca. 1-2% der kurzlebigen Verpackungen werden heute durch petro- & biobasierte Biokunststoffe abgedeckt Gering wachsendes Marktsegment Vollständige Konkurrenzfähigkeit (Verarbeitungs-, Gebrauchs- und ökonomische Eigenschaften) der Biokunststoffe für kurzlebige Verpackungen in 2010 noch nicht erreicht				

Abb. 152: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[423]

Dem Marktsegment Verpackungen wurde ein „stürmisches“ Wachstum für Deutschland von > 30% p.a. prognostiziert. Mit ca. 20.000 Tonnen biobasierten Kunststoffen und 7.000 Tonnen petro-basierten Biokunststoffen für diesen Bereich wurde jedoch in Deutschland bis 2010 lediglich eine ca. 13%ige jährliche Wachstumsrate erreicht. Demzufolge positionieren sich biobasierte Verpackungsmaterialien mit einem sehr geringen Marktanteil von nur ca. 0,4 % im Vergleich zu den konventionellen petro-basierten Kunststoffen, welche 2010 in Deutschland mit einer Menge von 20,7 Mio. Tonnen produziert wurden. Biobasierte Verpackungen hatten im Jahre 2004 und aber auch noch in 2010 im Vergleich zu petrobasierten Verpackungsmaterialien oft noch keine vollständig konkurrenzfähigen Materialeigenschaften (Barriere Eigenschaften, lebensmittelrechtliche Zulassung, Bedruckbarkeit, Verarbeitbarkeit u.a.). Zudem lag der Materialpreis um den Faktor 2 bis 3 über den petrochemischen Konkurrenzwerkstoffen. Des Weiteren besaßen die damaligen Herstel-

[423] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

ler biobasierter Verpackungen mangelnde kunststofftechnologische Sachkenntnisse, da die damaligen Biokunststoffhersteller überwiegend aus dem agrartechnischen Bereich stammten. Es wurden daher auch keine ausreichenden verpackungsrelevanten Materialkennwerte durch die Materialhersteller zur Verfügung gestellt. Dies ist sicher ein weiterer Grund für die Diskrepanz zwischen den zu optimistisch prognostizierten und realen Marktzahlen der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich in 2010.

Beim Vergleich der Prognose mit den realen Marktdaten zeigt sich für den Bereich der Lebensmittelverpackungen, dass sich die falschen, d.h. deutlich zu hohen Einschätzungen für die Marktmengen und die ebenfalls falsch, d.h. deutlich zu gering geschätzten Preise bzgl. des monetären Marktvolumens nahezu kompensieren. Das jährliche Marktvolumen für biobasierte Kunststoffe im Konsumgüterbereich lag 2010 real bei ca. 100 bzw. 130 Mio. Euro im Vergleich zu einem prognostizierten Volumen von 165 Mio. Euro.

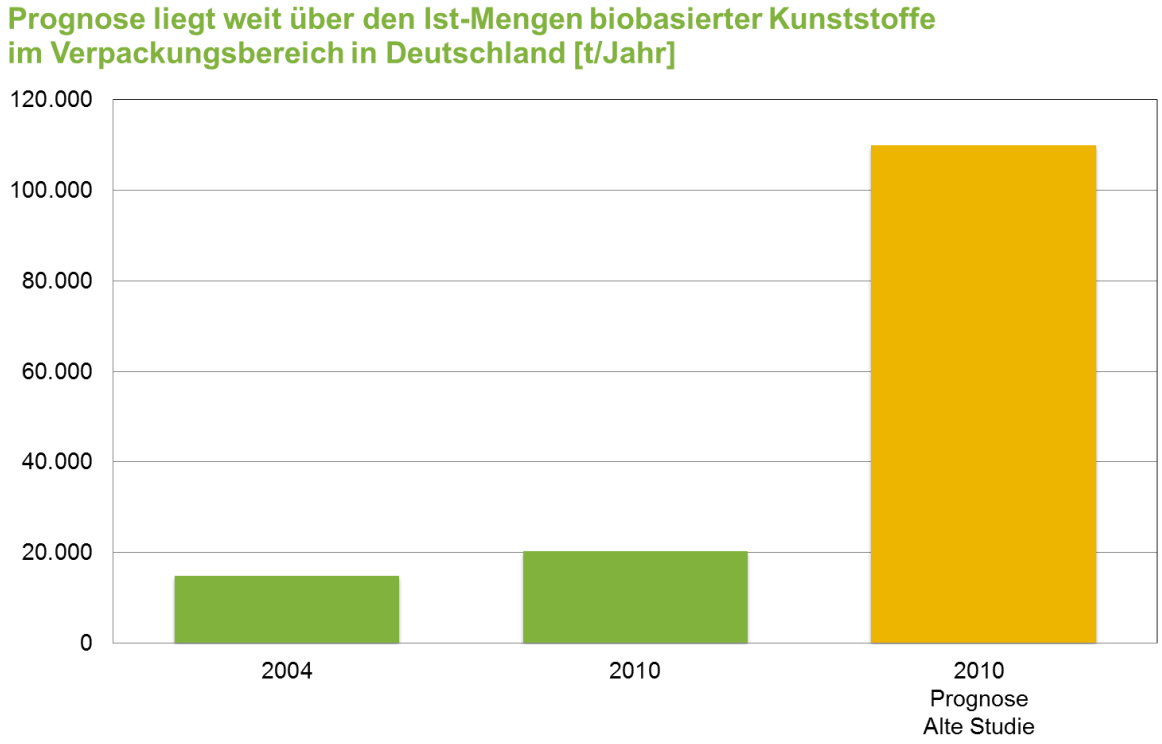

Abb. 153: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe im Verpackungsbereich für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[424]

Im Sektor der **Konsumgüter** (Haushaltsnahe Produkte, Büroartikel, Spielwaren, Sport & Freizeit, u.a.) liegt die Prognose aus 2004 für den Stand 2010 in Deutschland mit 24.000 Tonnen um ca. ein Dreifaches über den real eingetretenen Produktionsgrößen von 8.000 Tonnen. Der eigentlich nicht existierende Markt im Jahr 2004 hat zwar in den letzten 5 Jahren ein durchschnittliches Wachstum von ca. 140% erreicht und bietet ein Potenzial

[424] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

für die Zukunft, jedoch wurden auch in diesem Marktbereich nicht die zu optimistisch prognostizierten Zuwachsraten erreicht.

Auch in diesem Marktsegment wurde in der Studie 2004 der Entwicklungstrend von den bioabbaubaren zu den biobasierten und beständigen Kunststoffen für langlebige Anwendungen nicht so deutlich erkannt.

Außerdem zeigt sich auch in diesem Bereich auch wieder, dass sich die falschen, d.h. deutlich zu hohen Einschätzungen bzgl. der Marktmenge mit den ebenfalls falschen, d.h. deutlich zu gering geschätzten Marktpreisen bzgl. des gesamten monetären Marktvolumens nahezu kompensieren. Das jährliche Marktvolumen für biobasierte Kunststoffe im Konsumgüterbereich lag 2010 bei ca. 40 Mio. Euro.

Biobasierte Kunststoffe in der Konsumgüterindustrie (Dauerhafte Produkte) in Deutschland

Kriterien	Ist-Zustand 2004	Prognose 2010 aus 2004	Ist-Zustand 2010
Produktion / Marktgröße	• < 100 t	• 24.000 t	• ca. 8.000 t
Umsatz	• < 300.000 € • 3,00 €/kg kalk.	• 35 Mio. € • 1,50 €/kg kalk.	• 40 Mio. € • 5 €/kg kalk.
Annahme aus 2004 für 2010	• Wachstumsrate > 5% für BioPolymere im Anwendungsgebiet Konsumgüter • 1% des Gesamtmarktes „Konsumgüter“ werden von Biokunststoffen abgedeckt		
Fazit heute	• Markt Konsumgüter bietet Potential für den Einsatz von Biokunststoffen • Im Wesentlichen werden Stärke- und PLA-Blends sowie Cellulosederivate eingesetzt • Die Biokunststoffe decken ca. 0,3% des Marktsegmentes Konsumgüter ab		

Abb. 154: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Konsumgüterindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[425]

[425] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

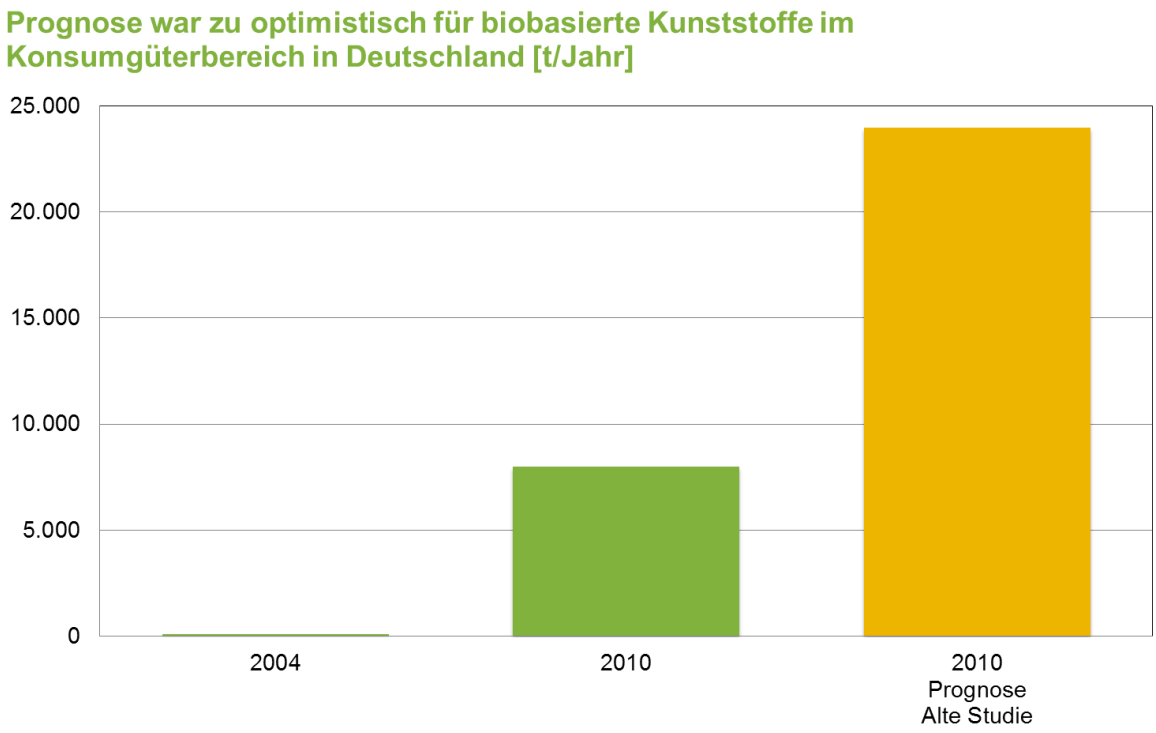

Abb. 155: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Konsumgüterindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[426]

Dem letzten betrachteten Marktsegment der **Automobilindustrie** wurde in der Prognose von 2004 aufgrund seines nicht vorhandenen Marktvolumens von < 10 Tonnen eine jährliche Wachstumsrate von 380% zugesprochen. Die in 2010 real eingesetzte Menge liegt allerdings auch in diesem Marktbereich mit ca. 12.000 Jahrestonnen[427] um ein Vierfaches unter der prognostizierten Produktionsgröße für 2010 mit 48.000 Tonnen.

Das prognostiziertes Marktvolumen von ca. 72 Mio. € wurde dagegen real mit 84 Mio. € im Jahr 2010 sogar etwas übertroffen. Auch in diesem Marktbereich kompensieren sich wieder falsche Markteinschätzungen bzgl. Marktmengen und Marktpreise, d.h. die monetäre Marktgröße wird trotz des um den Faktor Vier zu hoch geschätzten mengenmäßigen Marktvolumen in diesem Bereich durch den gleichzeitig um den Faktor Vier zu gering angenommen Preis etwa erreicht.

Im Automobilbereich werden bis heute hauptsächlich nur wenige gewichtsirrelevante, technische Bauteile im Motorraum (bspw. Schläuche, Leitungen, Ölwannen) sowie beispielsweise Fußmatten aus biobasierten Kunststoffen hergestellt. Dieses noch recht unbedeutende Marktsegment wird durch einen Einsatz von teil- oder komplett biobasierten langlebigen Biokunststoffen dominiert. Trotz der Bekenntnis zur Nachhaltigkeit und der stetigen Betonung der Bedeutung der Nachhaltigkeit in der Automobilhersteller durch die

[426] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007
[427] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)

Hersteller, werden beständige Biokunststoffe von der Automobilindustrie bisher wegen ihres Dichte- und Preisnachteils noch nicht eingesetzt. Daher liegen die Einsatzmengen deutlich unter den prognostizierten Werten. Petro-basierte abbaubare Biokunststoffe kommen selbsterklärend nicht zum Einsatz. Drop-Ins besitzen in Zukunft vermutlich in diesem Marktbereich die größten Wachstumschancen.

Biobasierte Kunststoffe in der Automobilindustrie

Kriterien	Ist-Zustand 2004	Prognose 2010 aus 2004	Ist-Zustand 2010
Produktion / Marktgröße	• < 10 t	• 48.000 t	• 12.000 t
Umsatz	• < 30.000 € • 3,00 €/kg kalk.	• 72 Mio. € • 1,50 €/kg kalk.	• 84 Mio. € • 6,00 €/kg kalk.
Annahme aus 2004 für 2010	• ca. 10 % des Kunststoffes für Auto-Interieur werden von Biokunststoffen abgedeckt • 13% im Auto sind konventionelle Kunststoff, 5,7 Mio. produzierte. PKWs und leichte NFZ • Wachstum > 380% p.a.		
Fazit heute	• Neuartige Eigenschaften, grünes Image aber: kein Kosten- oder Gewichtsvorteil bislang und Langzeitbeständigkeit sowie Verarbeitung kritisch, also geringeres Marktwachstum • Drop-Ins als chemisch strukturgleiche Kunststoffe (z.B. Bio-PP) größte Wachstumschancen im Automobilbereich		

Abb. 156: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Automobilindustrie für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland[428]

[428] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

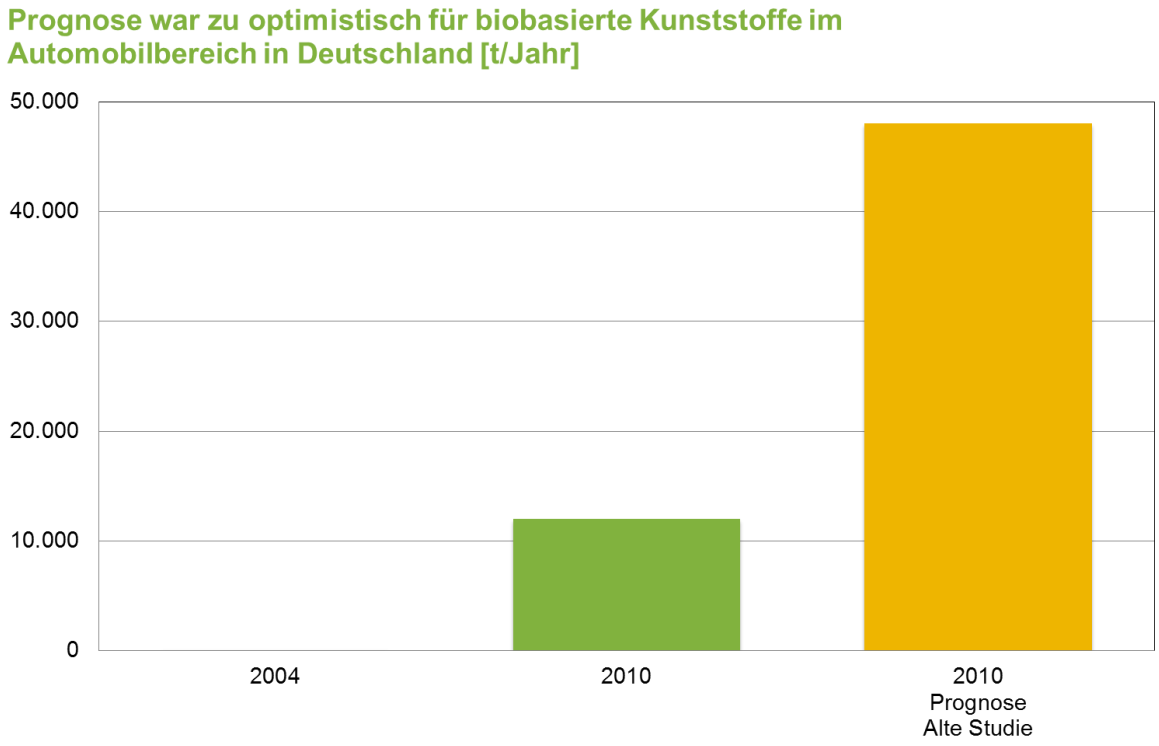

Abb. 157: Prognosedaten der biobasierten Kunststoffe in der Automobilindustrie für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[429]

Nach der Betrachtung der einzelnen Anwendungsgebiete stellt die nachfolgende Abbildung nochmals zusammenfassend die Verteilung dieser aus 2004 für 2010 geschätzten Marktaufteilung prozentual im Vergleich zu den realen Ist-Daten aus 2010 gegenüber. 2004 wurde eine Gesamtproduktionsmenge von 185.500 Jahrestonnen biobasierter Kunststoffe in der unteren Aufteilung prognostiziert. 2010 wurden tatsächlich 79.000 Jahrestonnen im Vergleich erzielt. Hierbei wird deutlich, dass das Marktsegment der biobasierten biologisch-abbaubaren Verpackungen im Lebensmittelbereich heute im Gegensatz zur Prognose keinen Schwerpunkt des Gesamtmarktes darstellt, da sich die kompostierbaren Verpackungen aufgrund der fehlenden Kompostierungslogistik in Deutschland nicht entsprechen durchsetzen konnten. Stattdessen sind in 2010 jedoch weitere Anwendungsgebiete hinzugekommen, deren Entwicklung in 2004 noch nicht ersichtlich war. Hierzu gehören insbesondere der Bereich der Elektroindustrie, Müllbeutel und Tragetaschen sowie Verpackungen außerhalb des Lebensmittelbereiches. Diese unter „Sonstiges“ zusammengefassten Anwendungsgebiete belaufen sich auf eine Produktionsmenge von ca. 29.000 Tonnen in Deutschland. Hinzu kommen für biobasierte Kunststoffe in Deutschland 12.000 Jahrestonnen im Automobilbereich, 8.000 Jahrestonnen im Konsumbereich, 20.400 Jahrestonnen im Verpackungsbereich sowie 9.600 Tonnen im Agrarsektor.

[429] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

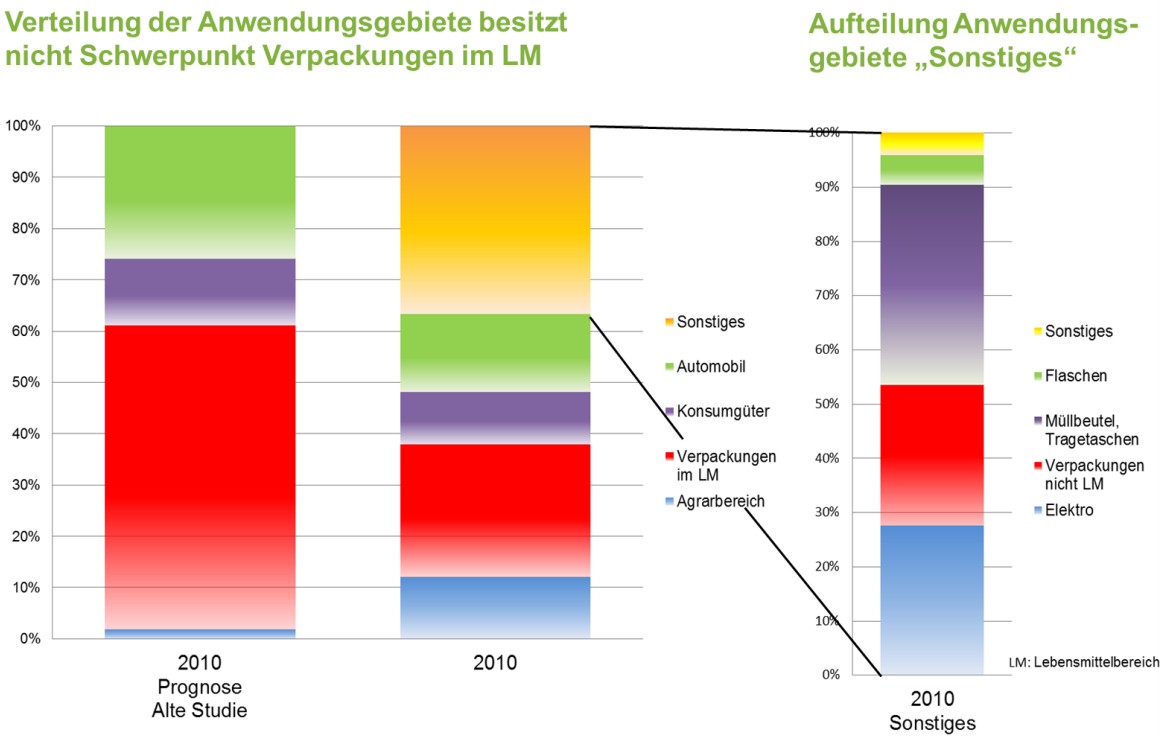

Abb. 158: Prognostizierte Verteilung der Anwendungsgebiete im biobasierten Kunststoffsektor aus der Marktstudie von 2004 für 2010 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[430]

Diese Gesamtproduktionsmenge von 79.000 Tonnen resultiert in einer Marktgröße von ca. 400 Mio. € und wird in ihrer Verteilung auf die einzelnen Anwendungssegmente in der folgenden Abbildung dargestellt.

[430] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

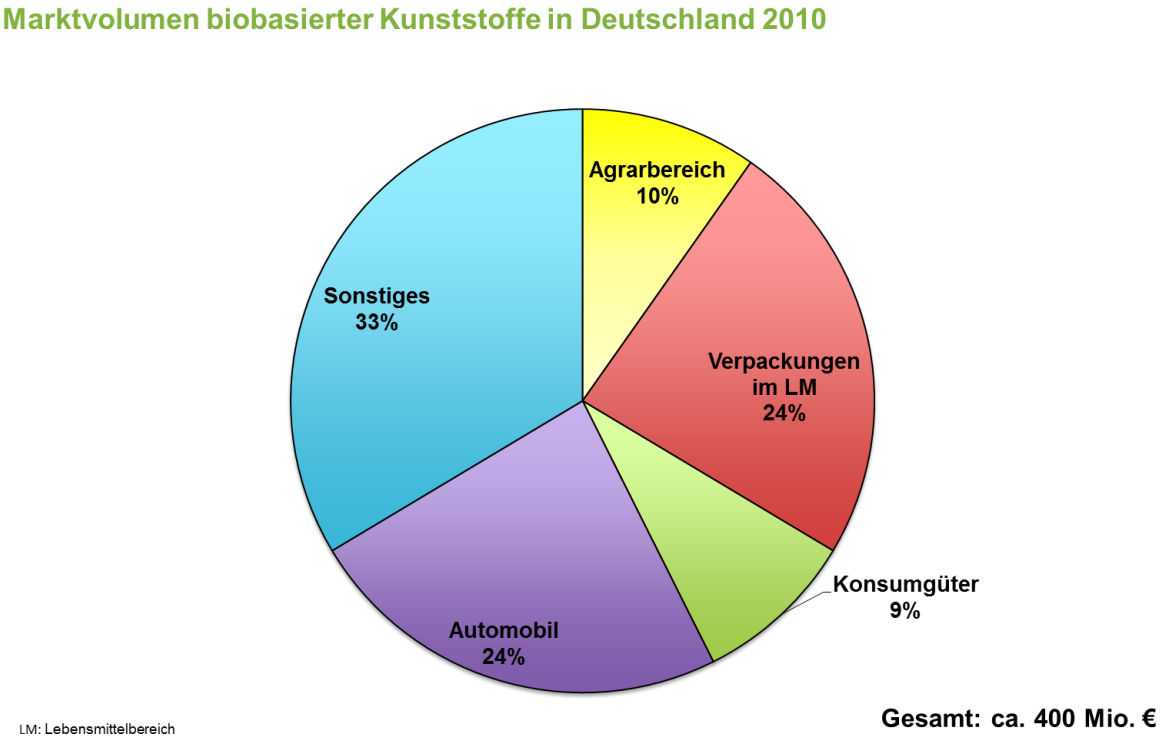

Abb. 159: Marktvolumen biobasierter Kunststoffe in Deutschland 2010 dargestellt in vergleichbaren Anwendungssegmenten der Marktstudie 2004[431]

Die Marktgröße von 400 Mio. € steht im Vergleich zu maximal prognostizierten 310 Mio. € aus der Marktstudie in 2004 für 2010. Die aktuellen Marktgrößen basieren auf recherchierten Marktpreisen der verschiedenen biobasierten Kunststofftypen sowie deren jeweilige Marktmenge. In der Marktstudie 2004 wurde die Marktgröße mit einem durchschnittlichen Granulatpreis von 1,50 -1,70 €/kg für jedes Anwendungsgebiet kalkuliert, allerdings basierend auf einer über 50% höheren Produktionsmenge von 186.000 Tonnen.

[431] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)

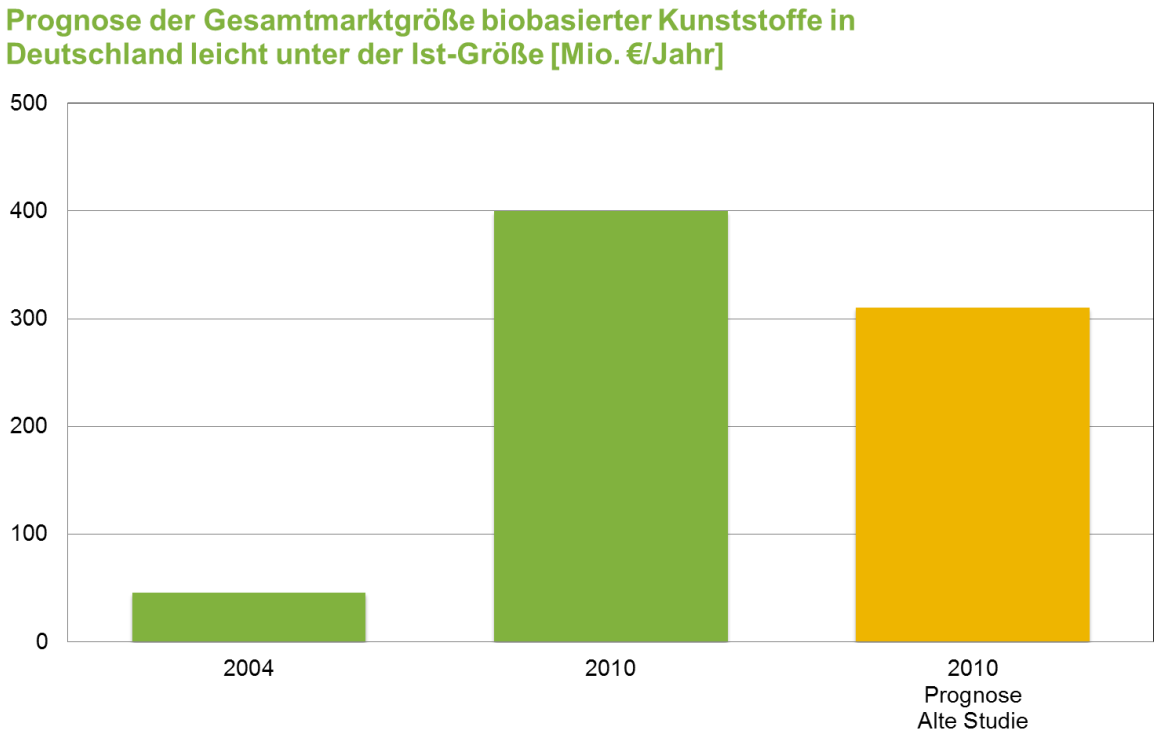

Abb. 160: Prognostizierte Gesamtmarktgröße des biobasierten Kunststoffsektors aus der Marktstudie von 2004 für 2010 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[432]

Demzufolge wurde 2004 eine zu hohe Produktionsmenge für 2010 prognostiziert, allerdings die Entwicklung der Marktpreise der jeweiligen biobasierten Kunststofftypen zu gering eingeschätzt.

5.4.2.2 NFK und WPC

Die Addition der in der Prognose aus 2004 für das Jahr 2010 dargestellten Produktionsmengen für NFK und WPC in Deutschland ergibt eine Gesamtmenge von 344.000 Jahrestonnen Die tatsächliche Produktionskapazität in Deutschland für 2010/11 beträgt dagegen nur ca. 127.000 Jahrestonnen, plus 45.000 t/a die speziell für Terassendeckings eingesetzt und in Kapitel 10 „Bauen und Wohnen“ erfasst werden.. Somit erlangt der Markt der NFK und WPC in Deutschland ca. nur etwas mehr als ein Drittel der in 2004 für 2010 prognostizierten Menge.

Die nachfolgende Tabelle stellt den Vergleich der Prognosedaten für NFK und WPC für 2010 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland für folgende Anwendungsgebiete dar:

- Automobil (PKW und LKW)
- Konsumgüter
- Bau- und Möbelindustrie

[432] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

Die Daten der Marktstudie aus 2004 stellen eine „Gesamtmarktgröße für biobasierte Verbundwerkstoffe von < 170.000 Tonnen für das Jahr 2004 dar. Dabei ist weiterhin nicht erläutert, ob es sich um Verbrauchsmengen oder Produktionskapazitäten handelt. Dieser Mengen wurde mit einem Materialpreis von 1,5 €/kg und ein nicht nachvollziehbarer Gesamtumsatz von < 816 Mio. € im Jahr 2004 zugeordnet. Die Grundannahmen der Prognose für das Jahr 2010 beinhalteten eine Preisschätzung von 1,5 € / kg für Granulat und 5 € / kg für Zwischenprodukte. In der Studie aus dem Jahre 2004 wurden im des Automobilsektors auch Nutzfahrzeuge (NFZ) und die Transportmittel: Schiene, Wasser und Luftfahrt mit berücksichtigt. Detaillierte Quellenangaben waren nicht ersichtlich. Zum heutigen Vergleich des Jahres 2010 war es nicht möglich signifikante Daten dieses Transportsektors zu ermitteln und zu vergleichen. Des Weiteren wurden in den Prognosedaten aus 2004 für das Jahr 2010 als Annahme teilweise biobasierte Verbundwerkstoffe mit einer Biopolymermatrix berücksichtigt. Dabei ist der genaue Anteil dieser nicht gekennzeichnet.

Für den Baubereich wurden dagegen in 2004 für das Jahr 2010 relativ gut eingeschätzt.. Hier liegen die realen Zahlen mit 60.000 Jahrestonnen WPC plus 45.000 Jahrestonnen WPC speziell für Terassendeckings nah an der Prognose von 100.000 Jahrestonnen.

Für das Jahr 2010 wurde in der Studie eine Gesamtmarktgröße von 344.000 Jahrestonnen mit einem berechneten Umsatz von 1.2 Mio. € prognostiziert. Dem Marktsegment der dauerhaften Produkte in Form von Konsumprodukten wurde dabei das größte Wachstumspotenzial von 100 Tonnen in 2004 auf 24.000 Tonnen in 2010 zugesprochen. Dieses Anwendungsgebiet existierte minimal in 2004 und versprach einen großen Wachstumsanstieg.

Vergleich NFKs und WPCs mit der Prognose aus 2004 für 2010

Kriterien	Automobil PKW / Transport*	Dauerhafte Produkte / Konsumgüterindustrie	Profile / Bau- & Möbelindustrie	Gesamt
Marktgröße 2004	• 160.000 t / > 800 Mio.€.	• < 100 t / 200.000 €	• < 10.000 t / < 15 Mio. €	• < 170.000 t / < 816 Mio. €
Prognose Marktgröße 2010	• **220.000 t****	• **24.000 t****	• **100.000 t****	• **344.000 t****
Prognose Umsatz 2010	• 1.000 Mio. €	• 36 Mio. €	• 150 Mio. €	• 1.186 Mio. €
Tatsächliche Marktgröße 2010	• **ca. 40.000 t**	• **ca. 20.000 t**	• **ca. 65.000 t**	• **ca. 127.000 t**
Grundannahmen der Prognose	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg) bzw. Zw.prod.Preis (5 €/kg) • *Transport: NFZ, Schiene, Wasser, Luft • **Teilweise mit Bio-Polymermatrix	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg) bzw. Zw.prod.Preis (5 €/kg) • *`*Teilweise mit Bio-Polymermatrix	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg) bzw. Zw.prod.Preis (5 €/kg) • *Teilweise mit Bio-Polymermatrix	• Preisschätzung Granulat- (1,50 €/kg) bzw. Zw.prod.Preis (5 €/kg) • *Teilweise mit Bio-Polymermatrix

Abb. 161: Prognosedaten NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010/11 in Deutschland[433]

[433] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

Zur Prognose aus dem Jahre 2004 muss ergänzend angemerkt werden, dass nicht nur die in 2004 für 2010 prognostizierten Marktzahlen zu hoch waren, sondern ebenfalls die für das damals aktuelle Jahr 2004 angegebenen Zahlen schon deutlich zu positiv angenommen wurden. Recherchierte Daten des IfBBs aus heutiger Sicht ergaben rückblickend für das Jahr 2004 eine Produktionsgröße von nur ca. 60.000 Jahrestonnen im Vergleich zur Marktgröße der Marktstudie aus 2004 von <170.000 Jahrestonnen. Werden für 2004 die recherchierten 60.000 Jahrestonnen für den Vergleich zu den real eingesetzten 200.000 Jahrestonnen in 2010 zu Grunde gelegt, scheinen diese geringeren Zahlen für 2004 realistischer zu sein. Die prognostizierten 344.000 Jahrestonnen für 2010 gleichen nach den Recherchen des IfBB eher den realen Zahlen für Europa (siehe Abbildung). Nach eigenen Recherchen lag die Produktion für 2010/11 in Deutschland bei ca. 127.000 Jahrestonnen. Aufgrund einer geringen Datenverfügbarkeit für den NFK und WPC-Markt, wurden für die eigene Datenerhebung eine Herstellerbefragungen mittels spezieller Fragebögen durchgeführt. Aus Deutschland wurden 30 Hersteller und weltweit ca. 150 Hersteller befragt. Darunter befinden sich Hersteller, welche überwiegend jeweils NFK oder WPC produzieren, allerdings ebenfalls Hersteller, die beide Produkte gemeinsam vermarkten. Dementsprechend werden diese beiden biobasierten Verbundwerkstoffe gemeinsam in den Produktionsmengen aufgeführt, da weltweit eine saubere Trennung nicht möglich ist. In USA wird beispielsweise nicht zwischen NFK und WPC unterschieden. Trotz einer hohen Frequentierung an versendeten Fragebögen und stetigen Nachfassens erreichte die Anzahl der Rückläufe in Deutschland ca. 30%. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen in der Säule 2010/11 IfBB dargestellt.

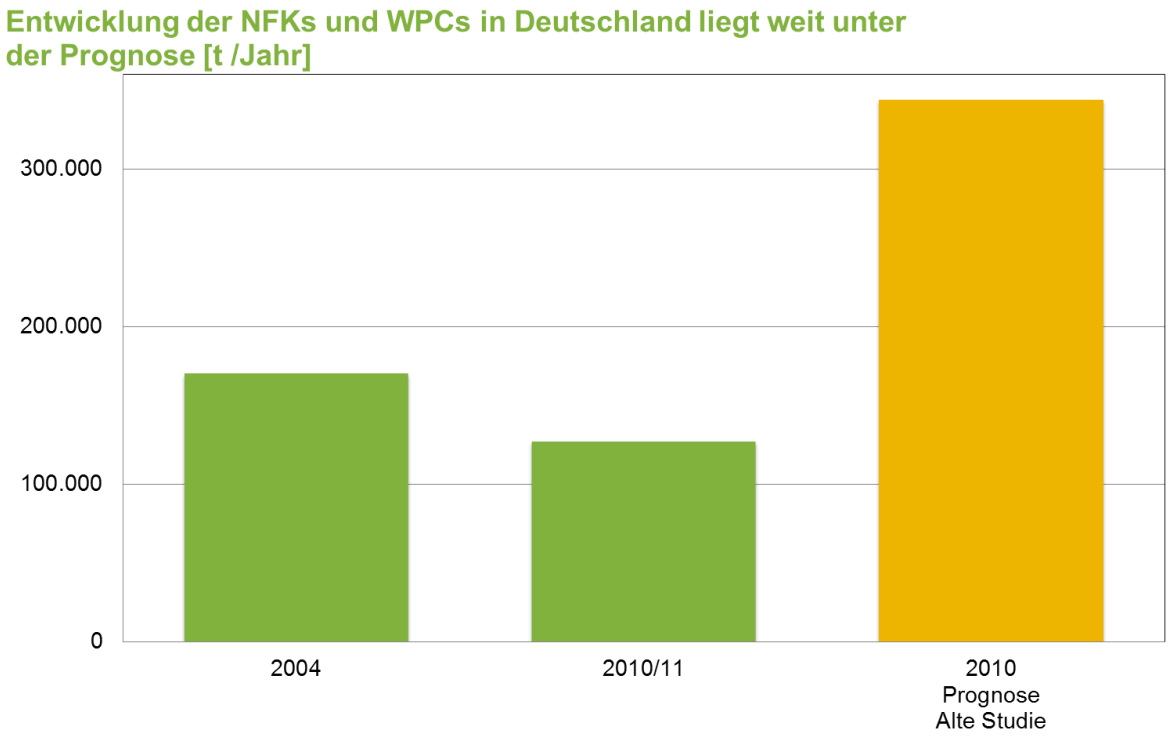

Abb. 162: Prognosedaten der Produktionsmengen für NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten von 2010 in Deutschland[434]

[434] Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

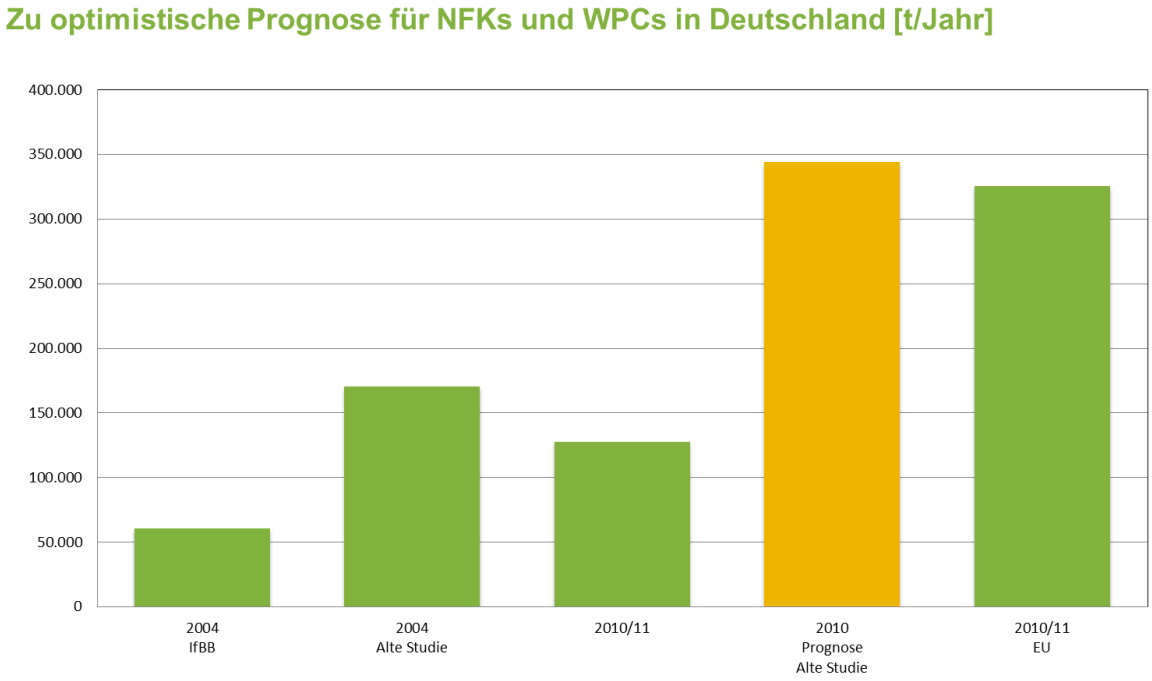

Abb. 163: Prognosedaten der Produktionsmengen für NFK und WPC für 2004 und 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu neu erhobenen Daten für 2004 und Ist-Daten 2010/11 in Deutschland und Europa[435]

Diese Diskrepanz zwischen den realen Marktzahlen und den für 2004 Zahlen und insbesondere für 2010 in der alten Studie zu hoch angegebenen Marktwerten findet sich bei genauerer Betrachtung in allen Marktsegmenten außer den Konsumgütern wieder.

Für den **Automobilsektor** zeigen sich selbst für die realen Werte für 2010/11 geringere Produktionsgrößen im NFK- und WPC-Bereich als der in der alten Markstudie im Jahre 2004 angegebene Ist-Zustand. In der Marktstudie aus 2004 wurde auf Basis des Faseranteils im PKW/LKW die potenzielle Einsatzmenge für diesen Bereich für das Jahr 2004 von 80.000 - 160.000 Tonnen und für 2010 sogar 220.000 Jahrestonnen kalkuliert.[436] Nach der heutigen eigenen Marktrecherche des IfBBs werden demgegenüber für das Jahr 2010/11 nur ca. 40.000 Tonnen NFK im Automobilbereich erreicht (siehe folgende Abbildung), was unterhalb der Annahme der alten Marktstudie aus 2004 und ebenfalls ca. 80% unter den prognostizierten Daten für 2010 liegt.

Für den heutigen Vergleich des Jahres 2010 war es nicht möglich signifikante Daten für die Teilgebiete: Schiene, Wasser und Luftfahrt des Transportsektors Nutzfahrzeuge (NFZ) separat zu ermitteln. In der alten Marktstudie aus 2004 sind diese Teilgebiete betrachtet worden.

[435] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

[436] BMEL „Marktanalyse – Nachwachsende Rohstoffe Teil II“ 2004, S. 165

NFK etablieren sich im Nutzfahrzeugsektor als Innenverkleidung. Im PKW-Bereich wächst der NFK-Einsatz mit seinen Vorteilen der „grünen Komponente“, Gewichtsreduzierung und Festigkeitserhöhung im Wettbewerb zur Mineralfaser, besonders im Formpressverfahren.

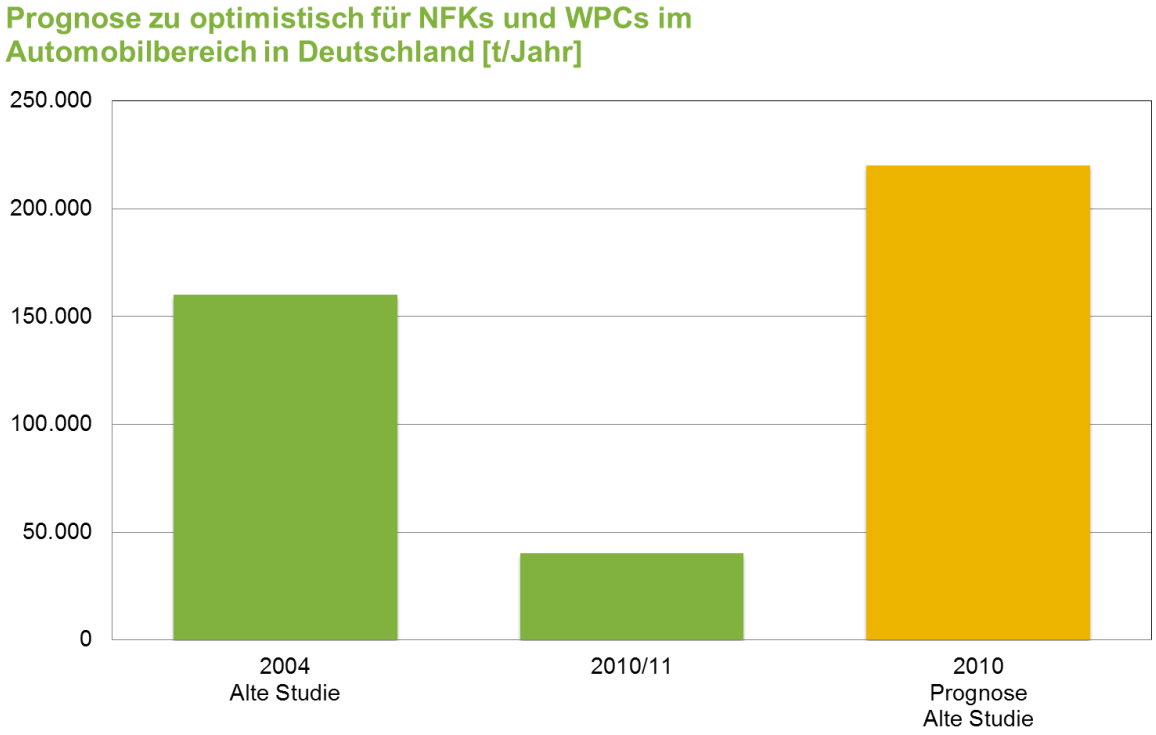

Abb. 164: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Automobilbereich für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland[437]

Im **Baubereich** ist ein stetiges Wachstum zu verzeichnen. WPC als günstiges holzmehlgefülltes Produkt erlangt im Baubereich einen zunehmenden Marktanteil. Das in der alten Studie prognostizierte wachsende Interesse an diesem Produkt im Baubereich hat sich bestätigt. Die in der alten Studie für 2010 prognostizierte Marktgröße von 100.000 Jahrestonnen liegt nah an der den erfassten Produktionskapazitäten in Höhe von ca. 60.000 Jahrestonnen WPC plus 45.000 Tonnen WPC speziell für die Herstellung von Terrassendeckings. Aus strukturellen Gründen werden die Jahrestonnen an WPC für Terrassendeckings nochmal gesondert in Kapitel 10 „Bauen und Wohnen“ erfasst.

[437] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

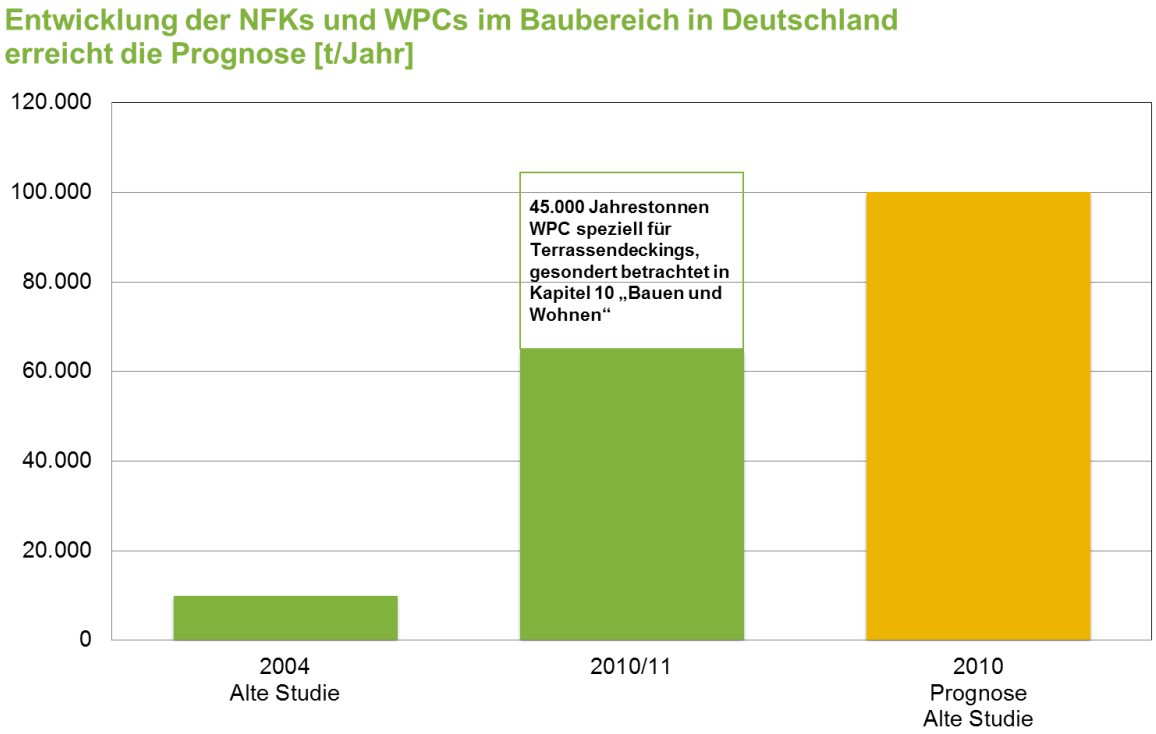

Abb. 165: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Baubereich für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland[438]

Dem Marktsegment **Konsumgüter** (bspw.: Lautsprechermodelle, Sitz-, Koffer- oder Obstschalen, Büro- und Möbelartikel, Lenkradsegmente, u.v.m.)[439] wurde in der Prognose von 2004 aufgrund seiner nicht existierender Marktgröße von <100 Tonnen ein Potenzial für 2010 von nur 24.000 Tonnen zugesprochen. Diese Entwicklung wurde mit einer Produktionsgröße von 20.000 Tonnen im Jahr 2010/11 fast erreicht.

[438] BMEL „Marktanalyse – Nachwachsende Rohstoffe Teil II“ 2004, Seite 165; Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)

[439] Dr. Sauerwein, Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. 2012; Dr. Ziegler, Tecnaro GmbH, 2012

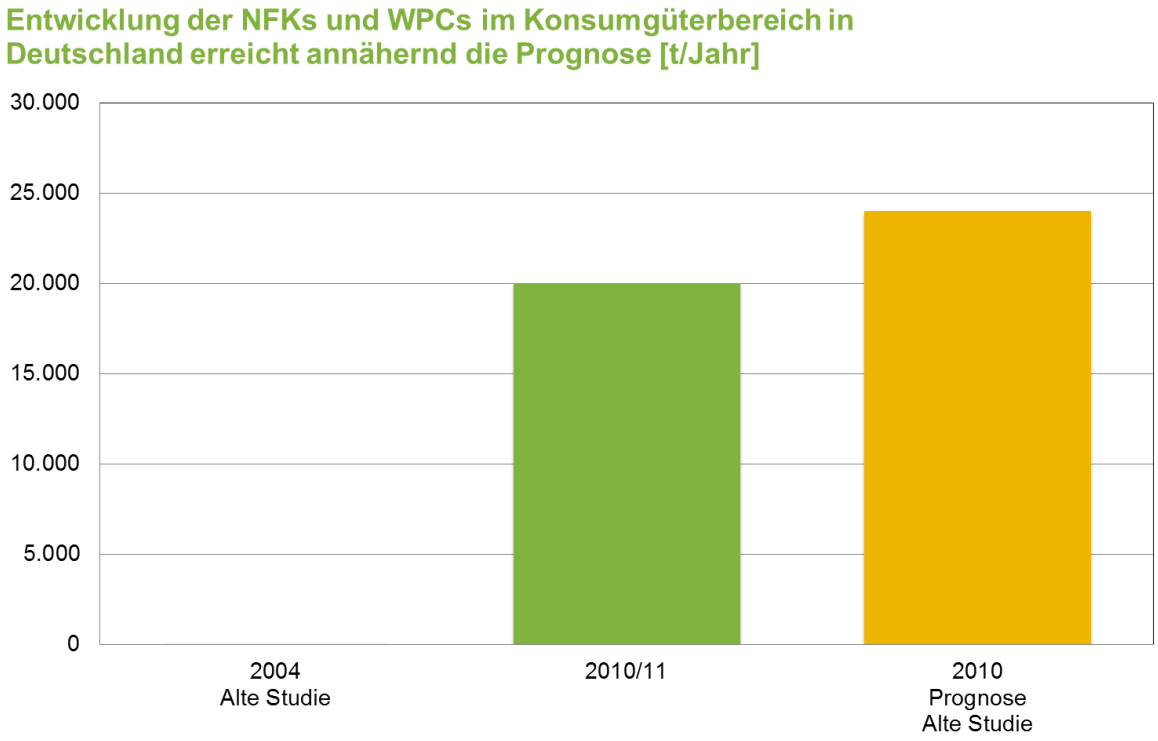

Abb. 166: Graphische Darstellung der Prognosedaten von NFK und WPC im Konsum-gütersektor für 2010 aus der Marktstudie von 2004 im Vergleich zu Ist-Daten in Deutschland[440]

Die einzelnen betrachteten Anwendungssegmente lassen sich hinsichtlich der Gesamtmarktgröße in Euro/Jahr im Vergleich der Prognose der alten Studie aus 2004 für 2010 und real kalkulierten Werten für 2010/11 folglich darstellen. Aus Sicht der Marktstudie in 2004 wurde eine Gesamtmarktgröße von 1.186 Mio. € für biobasierte Verbundwerkstoffe in 2010 prognostiziert. Auf Basis der bereits erläuterten niedrigeren Ausgangsproduktionsmengen von 60.000 Jahrestonnen für 2004 als damals veröffentlicht, entwickelte sich das Wachstum der Branche gemächlicher als angenommen. Hervorzuheben ist der Automobilsektor mit einer prognostizierten Marktgröße von 1.000 Mio. € für 2010. Diese starke Entwicklung wurde nicht erfüllt. Die heutige Marktgröße für den Automobilsektor liegt mit ca. 70 Mio. € für 2010/11. Der Baubereich wurde relativ realistisch für 2010 prognostiziert, dort erreichen die Ist-Werte in 2010/11 mit ca. 110 Mio. € annähernd die angenommenen 150 Mio. €. Der Konsumgüterbereich wurde in 2004 mit einer geringeren Wachstumsrate für 2010 in der Marktgröße prognostiziert. Hier erfolgte eine positive Entwicklung und es wurde eine Marktgröße von ca. 34 Mio. € statt angenommenen 36 Mio. € erreicht. Das reale Marktvolumen des Baubereichs liegt höher, wenn man die Produktion von Terassendeckings für 2010 mit einbezieht (zu finden in Kapitel 10, „Bauen und Wohnen“). Die Ist-Marktgrößen wurden auf Basis eines Durchschnittspreises von ca. 1,70 €/kg kalkuliert und liegen einer Herstellerbefragung zugrunde.[441] Die Prognosedaten aus 2004 für 2010 wurden unter der Annahme eines Granulatpreises von 1,50 €/kg und eines Zwischenproduktpreises von 5 €/kg berechnet.

[440] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

[441] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe)

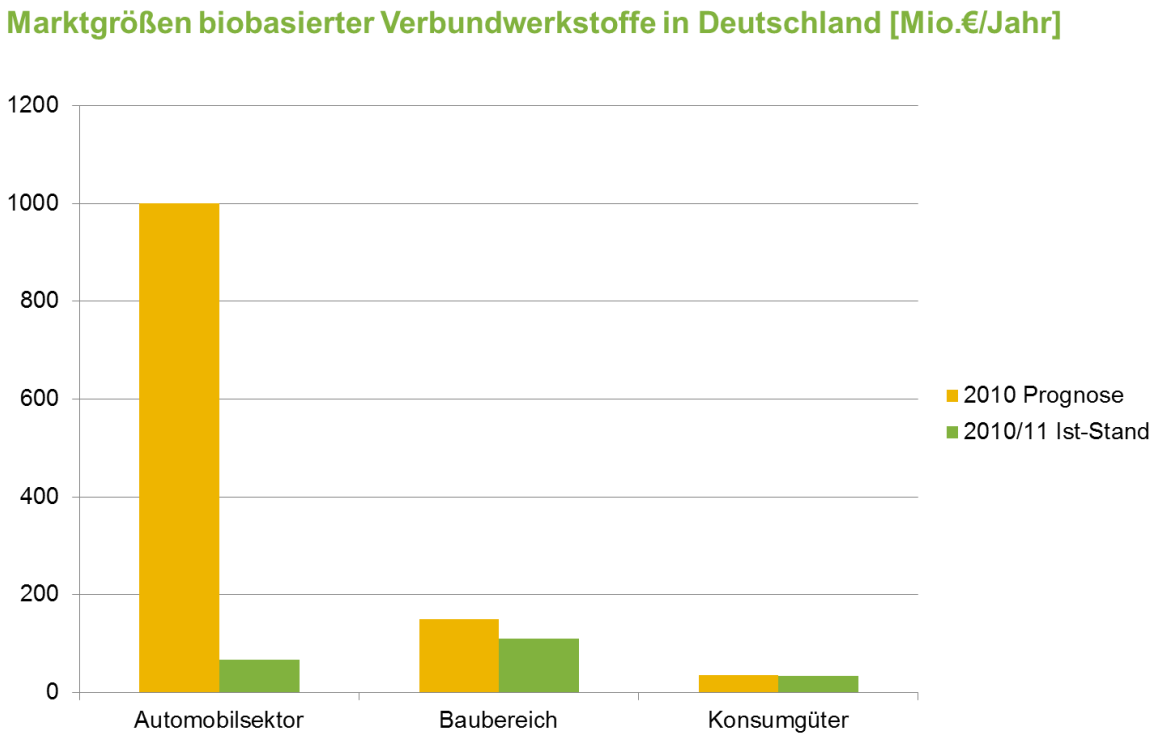

Abb. 167: Marktgrößen biobasierter Verbundwerkstoffe in Deutschland, Vergleich der Prognosedaten für 2010 aus der Marktstudie von 2004 mit Ist-Daten 2010/11[442]

5.4.3 Schlussfolgerungen für das Prognosemodell

5.4.3.1 Biobasierte Kunststoffe

Beim Vergleich der damaligen Prognosen mit den realen Marktmengen im Jahr 2010 ergeben sich z.T. sehr deutliche Abweichungen.

Die real eingesetzte Menge an biobasierten Kunststoffen beträgt in Deutschland weniger als die Hälfte der damals prognostizierten ca. 185.000 Jahrestonnen.

In den einzelnen Marktbereichen sind die Abweichungen zwischen Prognose und Realität noch deutlich größer, d.h. die Marktentwicklung für bestimmte Anwendungen wurde deutlich über- und teilweise auch deutlich unterschätzt. So lag die Einsatzmenge biobasierter Kunststoffe im Agrarbereich um den Faktor 3 über der Prognose, während er im Verpackungsbereich um den Faktor 5 - 6 oder im Automobilbereich um den Faktor 4 und im Konsumgüterbereich um den Faktor 3 unter den prognostizierten Werten lag.

Gleichzeitig wurde die Preisentwicklung für die biobasierten Kunststoffe falsch eingeschätzt. Die durchschnittlichen Preise biobasierter Kunststoffe betrugen im Jahr 2010 mehr als das doppelte gegenüber den in der Prognose angenommenen Werten.

Neben den zu optimistisch prognostizierten Marktmengen und der ebenfalls zu optimistisch prognostizierten Preissenkung bei biobasierten Kunststoffen, wurde auch die grundsätzliche Marktentwicklung nicht vollständig richtig vorhergesagt. In der Prognose werden für 2010 wichtige Marktsegmente wie der Elektrobereich oder auch Verpackungen außer-

[442] Marktrecherche und Herstellerbefragung des IfBB (Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe); Marktstudie „Nachwachsende Rohstoffe“, BMEL, 2004/2007

halb des Lebensmittelbereiches nicht erfasst. Die für derartige Anwendungen beständigen biobasierten Kunststoffe wurden offensichtlich 2004 nicht berücksichtigt. Diese nicht berücksichtigten Anwendungen entsprechen ca. 1/3 der realen Anwendungen der biobasierten Kunststoffe in 2010.

Da sich die zu hohen Prognosewert für die Menge der biobasierten Kunststoffe mit den gleichzeitig dafür deutlich zu niedrig angesetzten Materialpreise kompensieren, übertreffen die realen monetären Marktvolumina mit etwa 400 Mio. Euro in 2010 ca. um den Faktor 1,3 die entsprechenden Prognosen.

5.4.3.2 Biobasierte Verbundwerkstoffe

Ähnlich wie bei den biobasierten Kunststoffen stellt sich die Situation auch bei den WPC und NFK dar.

Die Prognosen haben für 2010 fast die dreifache Menge der real eingesetzten Menge vorhergesagt. Insbesondere im Automobilbereich, als der in Deutschland in 2010/11 mengenmäßig noch größte WPC/NFK-Markt, betrug die real eingesetzte Menge mit ca. 40.000 Jahrestonnen weniger als ein Viertel der Prognosewerte. Im zweitwichtigsten Marktsegment, dem Baubereich wurden die Prognosewerte im Grunde zu 100% erreicht. Im Vergleich zur Prognose von 100.000 Jahrestonnen wurden im Jahr 2010/11 ca. 60.000 Jahrestonnen NFK und WPC im Baubereich eingesetzt, plus 45.000 Tonnen speziell für Terrassendeckings. Letztere werde gesondert im Bereich „Bauen und Wohnen“ , Kapitel 10 betrachtet und erfasst. Der dritte betrachtete Bereich ist der Konsumgüterbereich. Hier betrugen die Prognosen ca. 25.000 gegenüber real eingesetzten 20.000 Jahrestonnen.

Die Menge der NFK- und WPC Werkstoffe war damit in Deutschland in 2010/11 etwa doppelt so groß wie die Menge der biobasierten Kunststoffe. Das gesamte reale monetäre Marktvolumen der WPC und NFK beträgt mit ca. 200 Mio. € (d.h. ein mittlerer WPC/NFK-Preis von ca. 2 €/kg), ca. die Hälfte des Marktvolumens der biobasierten Kunststoffe.

5.5 Prognose für das Jahr 2020

5.5.1 Grundannahmen für den speziellen Markt

Im Arbeitspaket der biobasierten Kunststoffe (bioKs) und biobasierten Verbundwerkstoffe (bioVws) wurden folgende drei Teilmärkte in den Prognoseszenarien betrachtet:

1. Biobasierte langlebig beständige Kunststoffe (lbKs)
2. Biobasierte biologisch abbaubare, kurzlebige Kunststoffe (baKs)
3. Naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe (NFK)

Die Produkte dieser aufgeführten Teilmärkte unterliegen unterschiedlichen Rahmenbedingungen, Materialeigenschaften und Qualitätsanforderungen, welche in den einzelnen Betrachtungen berücksichtigt werden. Zudem handelt es sich um völlig unterschiedliche Materialien, Produkte, Hersteller und Märkte. Beispielsweise unterliegt ein biologisch abbaubarer Müllbeutel ganz anderen Materialanforderungen als eine naturfaserverstärkte Innenverkleidung in einem PKW. Des Weiteren durchliefen die drei Teilmärkte in der Betrachtung seit 2004 unterschiedliche Entwicklungen. Biobasierte biologisch abbaubare und als kompostierbar zertifizierte Kunststoffe erfuhren seit der 5. Novellierung der Deutschen Verpackungsverordnung bis heute eine explizite politische Förderung, die allerdings Ende 2012 ausgelaufen ist.

Biobasierte langlebig beständige Kunststoffe hingegen erlangen seit ein paar Jahren an Bedeutung in der großindustriellen Anwendung in Form der Drop-In Lösung, aufgrund ihrer gleichen Herstellungs-, Verarbeitungs-, Gebrauchs- und Entsorgungseigenschaften im Vergleich zu den konventionellen Kunststoffen. Aufgrund des damit verbundenen einfachen Substitutionspotenzials der chemisch strukturgleichen petrochemischen Kunststoffe durch entsprechende Drop-In Biokunststoffe wird sich diese Tendenz in den nächsten Jahren auch verstärkt fortsetzen. Das Marktwachstum wird deutlich über dem der bioabbaubaren biobasierten Kunststoffe liegen.

Naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe unterscheiden sich im Einsatz des nachwachsenden Rohstoffes als biobasierte Werkstoffkomponente, als auch in den resultierenden Materialeigenschaften und Anwendungsgebieten zu den biobasierten Kunststoffen. Gemäß der Vorgabe sollte jedoch der Teilmarkt der NFK bei der Betrachtung der Biokunststoffe miteinbezogen werden, sowie eine Darstellung der Szenarien des „Gesamtmarktes“ im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgen. Der Gesamtmarkt umfasst daher die drei erläuterten Teilmärkte. Es bleibt allerdings zu berücksichtigen, dass es sich nicht um einen einheitlichen, sondern eher um einen sehr heterogenen Markt handelt.

Die WPC wurden aufgrund ihrer Hauptanwendung im Bereich der Bauprodukte nicht in diesem Teil der Studie in der Prognose berücksichtigt.

Folgende Einflussfaktoren mit den dazugehörigen Dimensionen wurden für alle Teilmärkte und den Gesamtmarkt definiert.

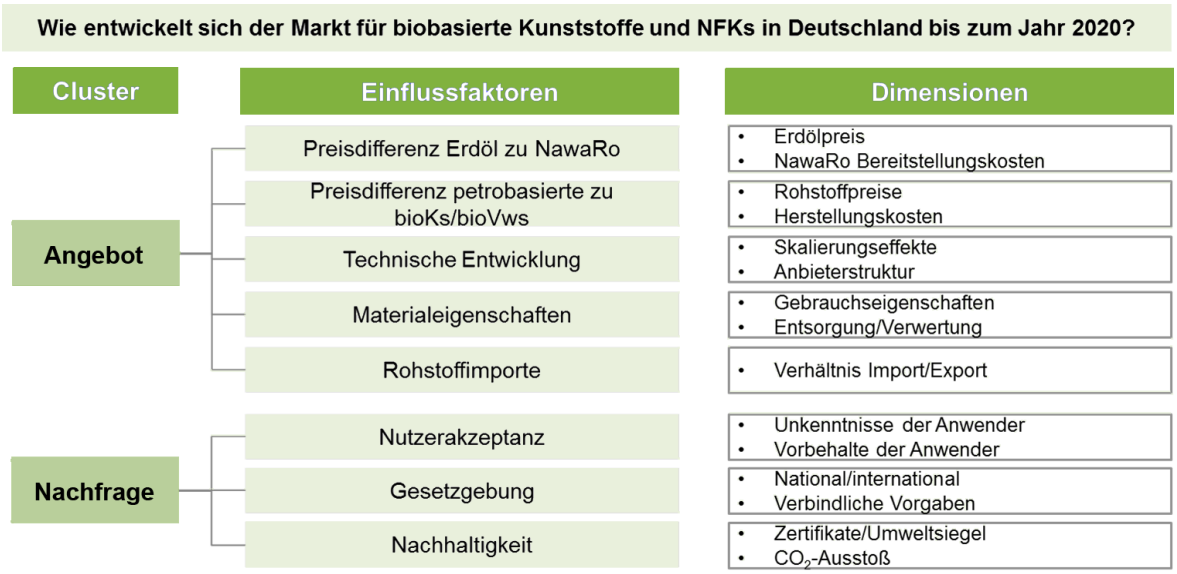

Abb. 168: Definierte Einflussfaktoren und deren Dimensionen des Prognosekonzeptes der biobasierten Kunststoffe und NFK

Das Prognosekonzept wurde analog zur erläuterten Methodik in Kapitel 3 angewendet. Folgende Fragestellung liegt in der Gesamtbetrachtung im Vordergrund: „Wie entwickelt sich der Markt für biobasierte Kunststoffe/Verbundwerkstoffe bis zum Jahr 2020?“.

Detaillierte Ergebnisse der drei Teilmärkte und dem Gesamtmarkt sind im Anhang in Form von unterschiedlichen Tabellen dargestellt. Folgende Tabellen-Struktur wurde vom Prognosekonzept übernommen und für den Markt der biobasierten Kunststoffe und NFK qualitativ ausgewertet:

1. Darstellung des Ist-Zustandes des jeweiligen Teilmarktes in Bezugnahme der definierten Einflussfaktoren und deren Dimensionen.
2. Einschätzbare Ausprägungen basierend auf den definierten Einflussfaktoren in vier unterschiedlichen Szenarien-Stufen (++, + -, - +, - -) für das Jahr 2020.
3. Cluster – Einteilung der definierten Einflussfaktoren auf zwei übergeordnete Hauptgrößen (Angebot und Nachfrage) und deren positive und negative Szenario-Darstellung.
4. Darstellung der jeweiligen qualitativen Marktszenarien auf Basis der zwei ermittelten Haupteinflussgrößen Angebot und Nachfrage sowie der Erläuterung von Zielkonflikten und Nutzungskonkurrenzen und einer quantitativen Prognose für das Jahr 2020.

   Bei der Erstellung von Szenarien könnte man von einer Art rückblickendem Zeitungsartikel erstellt im Jahre 2020 sprechen. Dieser soll die Entwicklungen der letzten Jahre innerhalb der Branche beschreiben, mit Einflüssen sowie Auswirkungen auf die Branche und einem Fazit für die weitere Entwicklung des Marktes. Es wurden dabei Szenarios mit sowohl konkreten positiven, als auch negativen Einflüssen beschrieben.

Diese erstellten Szenarien werden anschließend einer Betrachtung von Ziel- und Nutzungskonkurrenzen unterzogen. Das heißt für den Fall der nachwachsenden Rohstoffe, dass zum Beispiel betrachtet wird, inwiefern die stoffliche Nutzung der energetischen Nutzung entgegenwirkt und umgekehrt. Außerdem wird die Erfüllung bzw. Nichterfüllung von politischen Rahmenbedingungen betrachtet.

Im Rahmen der qualitativen Bewertung des Marktes wurde eine SWOT Analyse durchgeführt und ist in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abb. 169: SWOT-Analyse Deutschland für den biobasierten Kunst- und Verbundwerkstoffmarkt

Nach der Erarbeitung von qualitativen Entwicklungsverläufen werden quantitative Schlüsse für die Marktentwicklung gezogen. Vorhergehende Recherchen für Marktvolumina sind die Basis, um weitere Prognosen für die Entwicklung aufstellen zu können. Bei der Betrachtung der Volumina der vergangen Perioden können Wachstumszahlen für die weiteren Jahre bis hin zum angestrebten Prognosejahr erzeugt werden. Diese Wachstumszahlen sind abhängig von den betrachteten Szenarien, sodass das positiv-positiv Szenario ein deutlich größeres Wachstum und größere Produktionsmengen aufweist, als das negativ-positiv Szenario.

Die folgende Tabelle stellt die prognostizierten Wachstumsraten der jeweiligen Teilmärkte und des Gesamtmarktes im Überblick dar. Aufgrund der zuvor beschriebenen unterschiedlichen Teilmärkte ergeben sich dabei auch entsprechend unterschiedliche Wachstumsraten.

	lbKs	baKs	NFK	Gesamt
Szenario: + +	30 %	10 %	10 %	17 %
Szenario: + -	20 %	5 %	5 %	10 %
Szenario: - +	0 %	0 %	0 %	0 %
Szenario: - -	-10 %	-10 %	-10 %	-10 %

Tab. 26: Definierte Einflussfaktoren und deren Dimensionen des Prognosekonzeptes der biobasierten Kunststoffe und NFK[443]

Den biobasierten langlebig beständigen Kunststoffen wird in der Szenarien Darstellung das größte Wachstumspotenzial aufgrund der zu erwartenden großindustriellen Herstellung der Drop-In Anwendungsmöglichkeit zugewiesen. Mit den chemisch strukturgleichen biobasierten Drop-In Kunststoffen können die petrochemischen Pendants aufgrund der nahezu exakt gleichen Eigenschaftsprofile einfach substituiert werden.

5.5.2 Szenarien und Real Case

In diesem Arbeitspaket der kurz- und langlebigen biobasierten Kunststoffe und NFK wurden folgende vier Szenarien für das Jahr 2020 entwickelt:

Szenario A (Positiv/Positiv):

Die beiden übergeordneten Haupteinflussgrößen (Angebot und Nachfrage) stellen sich als positive Entwicklung dar. Beispielsweise:

- Rohölpreis steigt, biobasierte Kunststoffe und NFK werden zunehmend konkurrenzfähig
- Langlebig, beständige Kunststoffe erreichen den Maßstab der Massenproduktion in Form der Drop-In Lösungen
- Öffentlichkeitsarbeit und politischen Förderungen überzeugen viele Endverbraucher, somit erlangen biobasierte Kunststoffe und NFK eine hohe Nutzerakzeptanz
- Klare Regelungen und Standards für baKs sorgen für eine Aufwertung des Images von baKs und steigern die Nachfrage
- Sinkende Bereitstellungskosten nachwachsender Rohstoffe bei gleichbleibender oder weiter verbesserter Materialqualität erhöhen die Nachfrage biobasierter Kunststoffe und NFK

[443] In Abstimmung mit Experten auf der Fachveranstaltung: Nachwachsende Rohstoffe – Welche Märkte haben Zukunft? Diskussion von Ergebnissen der BMEL/FNR Marktanalyse für stoffliche und energetische Märkte, Berlin 20.11.2012

Szenario B (Positiv/Negativ):

Einer der beiden übergeordneten Haupteinflussgrößen (Angebot und Nachfrage) stellt sich als positive, der andere als negative Entwicklung dar. Beispielsweise:

- Steigende Angebotsmengen durch ansteigende Massenfertigung von langlebig, beständigen Kunststoffen, allerdings wird Vorbehalten nur bedingt entgegengewirkt
- Ausbau von bestehenden Anlagen möglich durch günstige Rohstoffbereitstellung, allerdings geringe Nutzerakzeptanz durch verwirrende Kommunikation verbunden mit mangelnder Kennzeichnung und Zertifizierung von biobasierten Produkten
- Die steigende Massenfertigung und konstante Qualität der NFK machen diese zu einem Konkurrenten der GFKs

Szenario C (Negativ/Positiv):

Einer der beiden übergeordneten Haupteinflussgrößen (Angebot und Nachfrage) stellt sich als positive, der andere als negative Entwicklung dar. Das Wachstumspotenzial dieses Szenarios liegt allerdings unter dem Szenario B. Beispielsweise:

- Keine kommerzielle Produktion von biobasierten Kunststoffen und NFK, aber stabile Nachfragezahlen in Nischenmärkten
- Technisch aufwändiges Upscaling verhindert die Zunahme des Angebotes, aber Verbraucher zeigen Interesse für nachhaltig erzeugte Kunststoffe
- Preisspanne zwischen biobasierten Kunststoffen und konventionellen Kunststoffen wächst durch hohe Bereitstellungskosten der nachwachsenden Rohstoffe und sinkende Erdölpreise, allerdings sorgt die Entwicklung von Standards bei der Kennzeichnung und Nachhaltigkeitszertifizierung der biobasierten Kunststoffe für eine Aufwertung des Images und steigert die Nachfrage; Informationskampagnen der Fachverbände greifen
- Produzenten verzichten auf das Upscaling bestehender Anlagen und die Weiterentwicklung von Materialeigenschaften, aber bereits etablierten NFK unterliegen einer konstanten Nachfrage

Szenario D (Negativ/Negativ):

Die beiden übergeordneten Haupteinflussgrößen (Angebot und Nachfrage) stellen sich als negative Entwicklung dar. Beispielsweise:

- Rückläufige Produzentenzahlen und steigende Bereitstellungskosten für nachwachsende Rohstoffe verringern die produzierte Menge biobasierter Kunststoffe und NFK massiv. Der Einsatz von biobasierten Kunststoffen und NFK bleibt freigestellt – Vorbehalten der Verbraucher wird nicht entgegengewirkt

- Materialien werden nicht weiter entwickelt, Verarbeitungs- oder Gebrauchseigenschaften sind z.T. nicht konkurrenzfähig. Rückläufige Angebotszahlen durch größer werdende Preisdifferenzen
- Geringe Nutzerakzeptanz durch mangelnde Kennzeichnung und Zertifizierung der Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen
- Angebot von NFK nur noch in Nischenmärkten. Schlechtes Image von NFK bekräftigt die Vorbehalte der Anwender

Die qualitative Auswertung der vier unterschiedlichen Szenarien für die jeweiligen drei Teilmärkte und dem Gesamtmarkt der biobasierten Kunststoffe und NFK ist im Detail den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

Das quantitative Gesamtergebnis der jeweiligen Marktentwicklungen auf Basis der vorherigen Auswertung der vier definierten Szenarien kann der folgenden Abbildung entnommen werden:

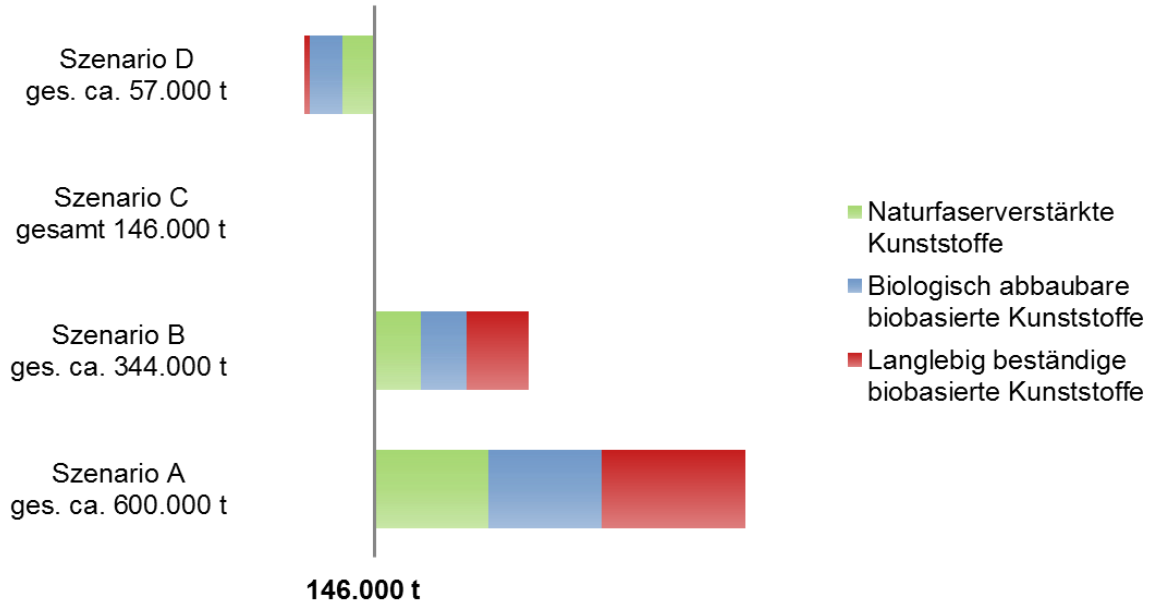

Abb. 170: Darstellung der quantitativen Wachstumspotenziale der einzelnen Teilmärkte für die vier definierten Wachstumsszenarien[444]

Real Case

Der angenommene realistisch mögliche Real Case befindet sich in dieser Betrachtung zwischen dem Szenario B und C mit einer Wachstumsrate von 0 bis 10% des Gesamtmarktes. Die Wachstumsraten der einzelnen drei Teilmärkte entwickeln sich dabei unterschiedlich und liegen zwischen 0 und 20%. Dem Teilmarkt der langlebig beständigen Kunststoffe wird dabei das größte Potenzial zugesprochen. Die folgende Abbildung stellt den Real Case der Wachstumsprognose für die einzelnen Teilmärkte das. Es wurde jeweils der Mittelwert der Wachstumsprognosen der Scenarios B und C eingesetzt.

[444] ausgehend von der aktuellen jährlichen Produktionskapazität in Höhe von 146.000 t biobasierter Kunststoffe und NFK in Deutschland

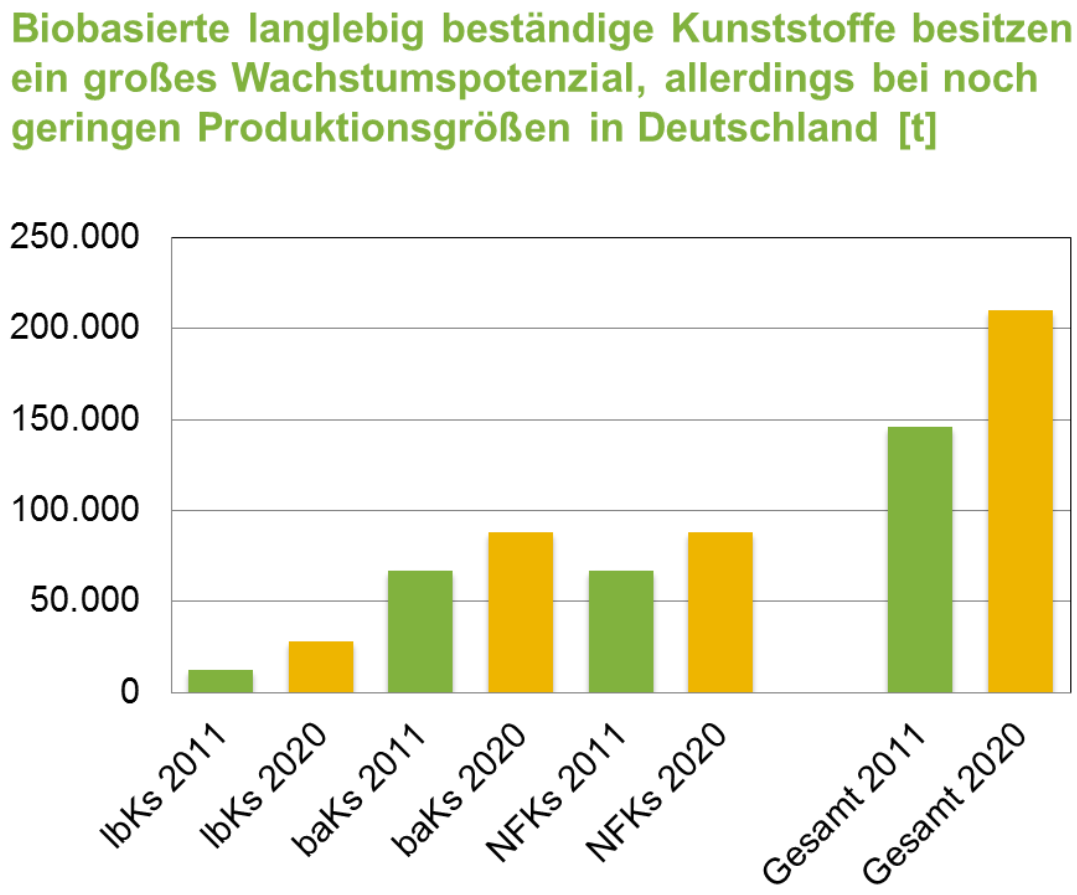

Abb. 171: Darstellung der jeweiligen Real Case Prognosen der Teilmärkte und des Gesamtmarktes für 2020 in der Gegenüberstellung der Produktionsgrößen im Jahr 2011 in Deutschland

5.6 Zusammenfassende Bewertung und strategische Optionen

Basierend auf der Gesamtbetrachtung der Entwicklung biobasierter Kunststoffe und NFK in den vorherigen Kapiteln für das Jahr 2011 sowie die vergleichende Analyse des Marktes im Jahr 2004 und der Prognose aus dem gleichen Jahr für 2010 sowie den im Rahmen dieser Studie auf Basis der aktuellen Marktsituation erstellten Prognoseszenarien für 2020 sollen abschließend Empfehlungen an die Politik zur Erreichung der ASN Ziele formuliert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der heutige positive Trend der Biowerkstoffe sich in Zukunft am Markt weiter fortsetzen wird. Neben einer zunehmenden Anzahl und Vielfalt an Werkstoffherstellern und Materialien selbst nehmen auch die Anwendungen und daraus hergestellte Produkte stetig zu. Wichtige materialtechnische Informationen zur weiteren Marktdurchdringung werden immer besser verfügbar. Parallel dazu wurde und wird die Qualität der Biowerkstoffe kontinuierlich verbessert, so dass bei einigen Biokunststoffen inzwischen ein vollständig konkurrenzfähiges Eigenschaftsniveau erreicht ist.

Dies wurde u.a. durch die Entwicklung von hochwertigen und gegenüber den etablierten petrochemisch strukturgleichen aber biobasierten Kunststoffen (so genannte „Drop-Ins“) sowie durch die Übertragung des Know-hows aus dem Bereich der konventionellen Kunststoffe ermöglicht. In Zukunft wird es im Rahmen dieser weiteren Materialentwicklungen ebenfalls vermehrt zu einem Verschmelzen der beiden Werkstoffgruppen der naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffe und der biobasierten Kunststoffe kommen. Das bedeutet: Es werden neben den derzeit bereits eingeführten Werkstoffen auch Holz- und Pflanzenfasern zur Verstärkung von Biokunststoffen oder auch biobasierte Kunststoffe zur Erzeugung von Verstärkungsfasern verwendet werden.

Gleichzeitig werden die Rohstoffe für die Herstellung biobasierter Werkstoffe immer mehr in Asien und Südamerika produziert werden. So wie aber Deutschland auch ohne eigenes Rohöl ein führendes Kunststoffland ist, wird es auch im Bereich der biobasierten Werkstoffe ohne große eigene Flächen zur Produktion nachwachsender Rohstoffe (weiterhin) eine Technologieführerschaft übernehmen. Deutschland verfügt dazu u.a. über einen hochwertigen und angesehenen Kunststoffmaschinenbau, eine Vielzahl an mittelständischen Kunststoffverarbeitern, einen entsprechend großen Absatzmarkt für Kunststoffprodukte, wie z.B. die Verpackungs- oder Automobilindustrie, und ein ausgeprägtes ökologisches Verantwortungsbewusstsein, sowohl in der Industrie als auch in der Politik und beim Verbraucher. Hinzu kommen ein umfangreiches technisches Kunststoff-Know-how in der chemischen Industrie sowie eine große Anzahl an langjährigen Forschungsarbeiten zu biobasierten Werkstoffen an unterschiedlichsten Forschungseinrichtungen, nicht zuletzt auch Dank dem Auftraggeber dieser Studie, dem BMEL und der FNR.

Strategische Optionen und Empfehlungen für zukünftige Förderstrategien im Bereich der biobasierten Kunststoffe und naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffe:

- Nachhaltigkeit biobasierter Kunststoffe, NFK und WPC bewertbar und insbesondere auch kommunizierbar machen
- Erstellung von für Verbraucher geeigneten Informationsmaterialien (inklusive Internet als Informationsmedium)
- Weitere Förderung der Informationsbereitstellung für die oft mittelständische Kunststoffverarbeitende Industrie
- Förderung der gesamten Prozesskette von biobasierten Kunststoffen, NFK und WPC, d.h.
  - Vom Rohstoff-, über den Werkstoff- bis zum Produkthersteller (nicht ausschließlich und isoliert die NawaRo-Erzeugung/-Umwandlung)
  - Intensivere Betrachtung der Entsorgungs- und Verwertungsoptionen unter Berücksichtigung der bestehenden Abfalllogistik
  - Förderung von Kaskadennutzen mit maximaler Rohstoff- und Flächeneffizienz
  - Verstärkte Förderung der Nutzung von organischen Abfallstoffen als Feedstock

- Neben Förderung von technischen Entwicklungen auch nachhaltigere, längerfristigere Förderung von Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die langjährig sowohl die Forschung/Entwicklung aber insbesondere auch die Ausbildung zukünftiger Entscheidungsträger im Bereich der stofflichen Nutzung NawaRo sicherstellen
- Kontinuität in der Forschungsförderung, d.h. Fortführung des ASN
- Engere Vernetzung mit Europäischen Förderprogrammen
- Dosierte Unterstützung durch rechtliche Maßnahmen, wie z.B.:

  - Betrachtung der biobasierten Kunststoffe im Sinne des EEGs als biobasierte Energieträger
  - Betrachtung der energetischen Verwertung von biobasierten Kunststoffen, NFK und WPC als stoffliche (Kohlenstoff-)verwertung, da der freigesetzte Kohlenstoff automatisch in wieder stofflich nutzbare Biomasse umgewandelt wird (z.B. bei der Altautoverordnung)

5.7 Quellenverzeichnis

Verwendete Literatur

AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V., Handbuch Faserverbundkunststoffe, Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010

Baillie, C. (Ed.): Green composites. Polymer composites and the environment, Boca Raton Fl 2004.

Baur, E., et al.: Saechtling Kunststoff Taschenbuch, Carl Hanser Verlag, München 2007.

Brehmer, B.: Beständig und umweltfreundlich, Kunststoffe (102), 2012, S. 72-75

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Berlin 2009.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung, Berlin 2011.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe, Berlin 2008.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Zukunftsmarkt-Technologien zur Stofferkennung und –trennung, Berlin 2009.

Bundesministerium der Justiz, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW/AbfG), Berlin, 1994/2009.

Bundesministerium der Justiz (BMJ): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Berlin 2002.

Carus, M.: Market overview of Wood Plastic Composites and other Bio-Composites, Vortrag 4. deutscher WPC-Kongress, Köln 2011.

Carus, M. et al.: Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser- Werkstoffen (Deutschland und EU), Gülzower Fachgespräche, Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Band 26, Hürth 2008.

CEFIC Sector Group Carbohydrates: The European biochemical industry: a key asset for the European Union, Brüssel 2004.

Chem Chemical Consultation Network: China Market Research Report, Shanghai 2008.

Consulting Ltd.: Wood-Plastic Composites 2010, Tagungsband, Bristol 2010

Doi, Y. und Fukuda, K.: Biodegradable plastics and polymers. Proceedings of the Third International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers, Osaka, Japan, November 9–11, 1993, Studies in polymer science 12/1994.

Dominghaus, H.: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften, 5. Auflage, Berlin 1998.

Ehrenstein, G. W.: Faserverbund-Kunststoffe – Werkstoffe – Verarbeitung – Eigenschaften, Carls Hanser Verlag, München 2006

Eastman: Tenite cellulosic plastics, From trees to plastic, Kingsport 2005.

Endres. H.-J., Siebert-Raths A.: Technische Biopolymere, Carl Hanser Verlag, München 2009.

Endres. H.-J., Siebert-Raths A.: Engineering Biopolymers, Carl Hanser Verlag, München 2011.

Endres H.-J.: Herstellung und Eigenschaften biologisch auf- und abbaubarer Werkstoffe auf Basis von Polysacchariden (Dis.), Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Maschinenbau, Bochum 1994.

Endres H.-J et al.: Plastification Behaviour of Different Native Starches, Stärke/Starch, Band 46, 1994.

Endres H-J., A-S. Kitzler, u.a.: Ökologische Nachhaltigkeit von Verpackungen, DMZ, Kempten 2011

Endres H.-J., M. Bengs, C. Schulz, A. Siebert-Raths, Biopolymere - Marktchancen, Flächenbedarf und künftige Entwicklungen; Kunststoffe 9/2011

Endres H.-J., T. Koplin, C. Habermann, Technology and Nature Combined? – Biocomposites; Kunststoffe International 06/2012

European Commission Enterprise and Industry, Ad-hoc Advisory Group: Taking bio-based from promise to market, Brüssel 2009.

European Commission, Joint Research Centre (DG JRC): Technoeconomic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe, Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg 2005.

Finch, C. A.: Polyvinylalkohol Developments, John Wiley & Sons Ltd., Chihester, England 1992.

FNR: Nachwachsende Rohstoffe – Spitzentechnologie ohne Ende, Gülzow 2011.

Fritz H.-G. et al: Production of Thermo-Bioplastics and Fibres based mainly on Biological Materials, Europäische Kommission, Direktorat XII, Brüssel 1994.

Haider, A., et al. Market oppertunities for bio-based-composites. [Vortrag bei dem "Biobased Materials - 9th WPC, Natural Fibre and other innovative Composites Congress"]. S. PL7 1-9, Stuttgart, 19-20. 06 2012.

Härkönen, M. et al.: Properties and Polymerization of biodegradable Thermoplastic Poly(esterurethane), J. Macromol-Sci. Pure Appl. Chem. Vol. 32, 1995.

Henning, I., Rohe Kunststoff AG: Wood-Plastics-Composites im Haushalt - Verarbeitung, Vertrieb und Vision, Vortrag auf dem 4. WPC-Kongress, Köln 2011.

Hocking, P., et al.: Enzymatic Degradability of Poly(beta-Hydroxybutyrate) as a Function of Tacticity, Macromolecular Raprid Communication, Jg. 15 , 2003.

Holm V.K. et al.: The stability of poly lactic acid packaging films as influenced by humidity and temperature, Journal of Food Science, Jg. 71, 2006.

Jacobsen, S.: Darstellung von Polylactiden mittels reaktiver Extrusion (Dis.), [Hrsg.] Institut für Kunststofftechnologie Universität Stuttgart, Stuttgart 2000.

Kaplan, D. L.: Biopolymers from renewable resources, Springer-Verlag, Berlin 1998.

Kennedy, J. F. et al.: Recent advances in environ-mentally compatible polymers, [Hrsg.] P. A. Williams, Cambridge 2001.

Endres, H.J. et al.: Marktchancen, Flächenbedarf und zukünftige Entwicklung, Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München 09/2011.

Meinert, T.: Einsatz von Polypropylen / Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerblends als Matrix in Wood-Polymer-Compounds, FH Hannover, Fachbereich Bioverfahrenstechnik, nicht publiziert 2011.

Mühlbauer, U.: Die Machbarkeit von Milchsäure- und Polylactidanlagen, Tagung „Bio raffiniert III – Von der Vision zur Machbarkeit“ (02.02. – 03.02.2006), Veranstalter: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik & Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, Gelsenkirchen 2006.

Müssig, J., Carus, M.: Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe Teil II; Bio-Polymerwerkstoffe sowie holz- und naturfaserverstärkte Kunststoffe, Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, Gülzow 2007.

N.N.: Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, [Hrsg.] H. Römpp, 1995.

Oberbach, K.: KunststoffTaschenbuch, 26. Ausgabe, München 1996.

Owen, S. et al.: Biodegradation of Poly-D, L-lactic Acid Polyurethanes, J. Macromol-Sci. Pure Appl. Chem. Vol. 32, Issue 4, 1995

PE International GmbH, University of Stuttgart, [Hrsg.] GABI: GaBi 4: Software and data-base for life cycle engineering, Leinfelden-Echterdingen 2006.

Peters, D.: Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie, FNR, Auflage 4, Gülzow 2010

Platt, D.: Biodegradable Polymers – Market report, Rapra Technology, United Kingdom, 2006

Prömper Eugen, Dr., Johnson Controls Interior: WPC Kongress, Köln 2005

Ratschka, A. und Carus, M. Nova institut: Stoffliche Nutzung von Biomasse - Basisdaten für deutschland, Europa und die Welt, Online, Hürth 2012

Scheer-Triebel M.. & J. Léon: Industriefaser – Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview, Bonn, 2000

Schroeter, J. und Endres, H.-J.: Eigenschaften thermoplastisch verarbeiteter reiner Kartoffelstärke, Kunststoffe Jg. 82, H.11, 1992.

Seitz, H.: Grundlegende Untersuchungen über den Einfluß einer chemischen Modifizierung auf bestimmte physikalische Eigenschaften von Zellglas als Verpackungsmittel unter besonderer Berücksichtigung polyfunktioneller Verbindungen (Dis.), Universität Karlsruhe, Institut für Lebensmittelchemie, Karlsruhe 1979.

Utz, H. et al.: Untersuchung zum Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe im Verpackungsbereich, Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Forschungsbericht Nr. 01-ZV 8904, Karlsruhe 1991.

VHI, Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie. www.vhi.de [Online] 2012.

Vink, E. H., et al.: The eco-profiles for current and near future NatureWorks Polylactid (PLA) production, Industrial Biotechnology, Vol. 3, 2007.

Vogt, D. et al.: Studie - Wood-Plastic-Composites (WPC) - Märkte in Nordamerika, Japan und Europa - mit Schwerpunkt auf Deutschland, nova-Institut GmbH, überarbeitete und ergänzte Auflage, Hürth 2006.

Westermann, K.: Verpackung aus nachwachsenden Rohstoffen, [Hrsg.] Vogel Buchverlag, Würzburg 1994.

Witt, U. et al.: Biodegradation of Polyester Copolymers containing aromatic Compounds, J. Macromol-Sci. Pure Appl. Chem. Vol. 32, Issue 4, 1995.

Wolf, O. (Ed.) et al.: Techno-economic Feasibility of Largescale Production of Bio-based Polymers in Europe, Technical Report EUR 22103 EN, Brüssel 2005.

Wydra S et al: Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors, Faunhofer ISI, Karlsruhe 2010.

Websites

www.bmel.de

www.bmub.bund.de

www.bmj.de

www.fnr.de

www.europa.eu

www.european-bioplastics.org

www.plasticseurope.org

www.fao.com

www.juris.de

www.uba.de

www.forbes.com

www.starchtech.com

www.plasticbiz360.com

www.materialdatacenter.com

www.vhi.de

www.wdk.de

Experteninterviews

- Arkema
- Caria Bioplastics
- Cereplast
- FKUR
- Galactic
- Kingfa
- Synbra
- BASF
- Biotec
- Innovia Films
- Limagrain Céréales Ingrédients
- Kaneka
- PHB Industrial
- Braskem
- NatureWorks
- Telles/Metabolix
- Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.
- VW
- Ford