1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

> *„Die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann einen nicht unerheblichen Beitrag zur zukünftigen nachhaltigen Rohstoffversorgung in Deutschland leisten […].“ (BMU 2012a, S. 36)*

Nachwachsende Rohstoffe werden vermehrt zur Energie- und Wärmegewinnung genutzt, allerdings steigt auch ihr Einsatz zur stofflichen Nutzung in der industriellen Produktion an und wird immer bedeutender (Geldermann 2012, S. 191). Dies zeigt sich auch daran, dass die Anbaufläche für landwirtschaftliche Nutzpflanzen einen steigenden Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland einnimmt (Deutscher Bauernverband 2012, S. 57). Neben der Endlichkeit fossiler Ressourcen wie Erdöl und der nahezu unendlichen Verfügbarkeit nachwachsender Rohstoffe steht auch die Umweltfreundlichkeit, vor allem die CO_2-Neutralität des Rohstoffeinsatzes, für die Unternehmen und Kunden im Vordergrund. Nachwachsende Rohstoffe nehmen während des Wachstums CO_2 auf, welches sie bei späterer Entsorgung in gleicher Menge wieder abgeben (Narodoslawsky 2003; Berndes 2006; Mohanty et al. 2002, S. 20). Neben diesen ökologischen Aspekten betont die Bundesregierung auch, dass durch die verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe die Rohstoffversorgung in Deutschland gesichert werden kann. Deshalb ist ihre zukünftige industrielle Nutzung eine der zentralen Forderungen im Aktionsplan zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (FNR 2009).

Allerdings ist die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen im industriellen Umfeld mit vermehrten Unsicherheiten verbunden: Durch das natürliche Wachstum sind die Erntemenge, die Qualität der Rohstoffe und auch der Erntezeitpunkt von Faktoren wie Wetter- und Umwelteinflüssen abhängig (Geldermann 2012, S. 192; Kohler et al. 2004, S. 11; Krupinsky et al. 2002; Saphores 2003, S. 509). Außerdem verstärken zahlreiche weitere Faktoren wie Düngung oder Wasserversorgung die eben genannten Unsicherheiten. Hinzu kommt, dass auch die Lieferwege bzw. die Logistik von Umwelteinflüssen betroffen sein können. Aus Sicht der strategischen Planung kommen Preisunsicherheiten, rechtliche Rahmenbedingungen wie Subventionierung und Verordnungen oder Flächenkonkurrenzen zu Lebensmitteln zu den bereits genannten Unsicherheiten hinzu, so dass insgesamt ein hohes Rohstoffrisiko für die Industrie besteht. Deutsche Unternehmen sehen dies, auch für industrielle pflanzliche Rohstoffe, als Problem an (Schwarz 2011).

Wenn nachwachsende Rohstoffe vermehrt in der Industrie genutzt werden, ergeben sich somit neue Herausforderungen für die Produktionsplanung. Produktionsplanungssysteme gehen normalerweise von idealisierten Annahmen aus, das heißt die Planungsdaten werden als sicher oder zumindest verlässlich prognostizierbar angesehen (Kurbel 2010; Gebhard 2009, S. 67; Günther und Tempelmeier 1994, S. 8). Zwar war die Planung mit zukunftsbezogenen Daten schon immer mit Unsicherheiten konfrontiert (Gebhard 2009, S. 2), allerdings sind bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe mehrere Unsicherheitsfaktoren gleichzeitig vorhanden (Geldermann 2012, S. 198). Zudem gibt es auch neue Möglichkeiten für die Produktionsplanung, um mit solchen Unsicherheiten umzugehen: Beispielsweise lassen sich verschiedene Rohstoffe untereinander substituieren, so können etwa Flachsfasern in Verbundwerkstoffen durch Hanffasern ersetzt werden. Die vorliegende Arbeit wird sich

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

dem Problem widmen, wie die spezifischen Unsicherheiten von nachwachsenden Rohstoffen in Produktionsplanungssystemen berücksichtigt werden können. Dazu werden Methoden analysiert, die eine Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Produktionsplanung zulassen, und anschließend diskutiert, wie diese in Produktionsplanungssystemen genutzt werden können. Die Nutzung von Informationstechnologie und die Vernetzung der beteiligten Partner in der Lieferkette wird als sehr wichtiger Schritt eines professionellen Rohstoffrisikomanagements gesehen (Fridgen et al. 2013, S. 187). Deshalb werden auch Ideen und Vorschläge entworfen, welche die Datengrundlage zur Planung durch den Einsatz von Informationstechnologie entlang der Supply Chain von nachwachsenden Rohstoffen erhöhen und sicherer machen. So sollen die Planung und die industrielle Nutzbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen verbessert werden.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es zum Einen, den aktuellen Umgang mit Unsicherheiten in der Produktionsplanung mit nachwachsenden Rohstoffen zu analysieren. Zum Anderen werden darauf aufbauend Handlungsempfehlungen für die Unterstützung dieses Prozesses durch Informationstechnologien abgeleitet. Diese Fragestellung wird in vier einzelne Forschungsfragen unterteilt, welche im Verlauf der Arbeit beantwortet werden.

F1: Was sind die Besonderheiten der Supply Chain nachwachsender Rohstoffe?

Da aus wissenschaftlicher Sicht bislang wenig Wissen über die Supply Chain nachwachsender Rohstoffe verfügbar ist, müssen zunächst einige Grundlagen geschaffen werden. Hierbei geht es vor allem darum, wie die Supply Chain ausgestaltet ist und welche Akteure an ihr beteiligt sind. Auch die Rohstoffe selbst müssen im Hinblick auf ihre aktuelle und zukünftige Verwendung analysiert werden. Aus Sicht der Wirtschaftsinformatik ist dafür zudem relevant, welche Informationstechnologien derzeit in diesen Supply Chains eingesetzt werden, um so den Ist-Stand zu erheben. Nur auf Basis dieses Wissens können im Anschluss Handlungsempfehlungen und konkrete Vorschläge für die Verbesserung der IT-Unterstützung erarbeitet und vor allem eine eventuell entstehende Vorteilhaftigkeit evaluiert werden.

F2: Welche Unsicherheiten treten in der Supply Chain auf?

Da die Unsicherheiten in der Supply Chain zentrales Thema dieser Arbeit sind, werden sie zunächst näher analysiert und klassifiziert. Es ist vor allem von Interesse, welcher Art die Unsicherheiten sind und wie sie entstehen. Im Rahmen dieser Forschungsfrage ist auch zu klären, welche Wirkungen die Unsicherheiten auf die Produktionsplanung haben. Auf Basis der Wirkungen können wiederum Handlungsempfehlungen und konkrete Vorschläge zur Verbesserung der Planung gemacht werden. Ebenso können die Unterstützungsmöglichkeiten durch IT anhand der positiven Wirkung auf die Unsicherheitsreduzierung bewertet werden.

F3: Welche generellen Möglichkeiten zur Berücksichtigung der spezifischen Unsicherheiten in der Produktionsplanung existieren?

Nachdem die spezifische Situation in der Supply Chain von nachwachsenden Rohstoffen und auch die auftretenden Unsicherheiten bekannt sind, können Möglichkeiten zur Berücksichtigung eben dieser in

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

der Produktionsplanung erarbeitet werden. Zunächst werden diese Möglichkeiten IT-unabhängig dargestellt, um bekannte und auch schon genutzte Verfahren zu analysieren und auf ihre Verwendbarkeit hin zu prüfen. Durch die Forschungsfrage soll beantwortet werden, welche Verfahren sich dafür als geeignet erweisen.

F4: Wie kann die Produktionsplanung durch Einsatz von Informationstechnologie in der Supply Chain verbessert werden?

Bei dieser Forschungsfrage steht im Vordergrund, wie die generellen Verfahren aus Forschungsfrage 3 in IT-basierten Produktionsplanungssystemen umgesetzt und mit den benötigten Daten zur Planung unterstützt werden können. Neben dieser Umsetzung wird erläutert, wie der verfügbare Datenbestand über Ereignisse und Rohstoffe in der Lieferkette verbessert werden kann, um so die Informationsbedarfe der Verfahren zu decken. Dazu wird auch erörtert, welche Informationstechnologie im spezifischen Umfeld nachwachsender Rohstoffe (F1 und F2) eingesetzt werden kann. Als Ergebnis entsteht ein Artefakt eines IT-Systems, welches die geschilderten Aufgaben übernimmt. Letztendlich muss geprüft werden, inwiefern die Anforderungen in diesem Umfeld erfüllt wurden – also ob die in Forschungsfrage 2 aufgezeigten Unsicherheiten durch die verbesserte Planung reduziert werden können.

Wissenschaft	Praxis
Zusammenfassen des Forschungsstands zur Supply Chain nachwachsender Rohstoffe	Erhebung des aktuellen Stands von IT-Einsatz und Unsicherheiten in der Supply Chain nachwachsender Rohstoffe
Systematisieren der Unsicherheiten in der Supply Chain von nachwachsenden Rohstoffen	Bewusstmachen der bestehenden Unsicherheiten
Entwurf eines Artefakts zur Analyse des Einsatzes und der Vorteilhaftigkeit von Informationstechnologie zur Datenerfassung und -weitergabe	Aufzeigen von Handlungsmöglichkeiten zur Unsicherheitsreduzierung in der Produktionsplanung
Anregung neuer Forschungsthemen	Darstellen der Vorteilhaftigkeit des IT-Einsatzes und Handlungsempfehlungen zum Einsatz

Tabelle 1: Beiträge der Arbeit für Wissenschaft und Praxis

Die Produktionsplanung und -steuerung ist sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus praktischer Sicht gut erforscht und entsprechende IT-Systeme sind im Einsatz. Allerdings gibt es bisher keine Arbeiten, welche die Produktionsplanung mit nachwachsenden Rohstoffen und deren IT-Unterstützung näher betrachten. Die Ziele der Arbeit aus wissenschaftlicher Sicht sind in Tabelle 1 dargestellt. In dieser Tabelle sind auch die Erkenntnisziele der Arbeit für die Praxis aufgeführt. Im Sinne einer gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik sollen neben der Analyse und Beschreibung von real existierenden Phänomenen, in diesem Falle der Analyse der Supply Chain von nachwachsenden Rohstoffen und deren Besonderheiten, auch Artefakte erstellt werden (Österle et al. 2010, S. 3). Das Artefakt dieser Arbeit soll ein Referenzmodell der Supply Chain und der entstehenden Daten sein, bei dem auch die Verwendung der Daten für die Produktionsplanung berücksichtigt wird. Die Praxis erhält somit Handlungsempfehlungen für einen sinnvollen Einsatz von Informationstechnologie in diesem speziellen Umfeld.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

1.3 Positionierung und Forschungsmethodik

Durch die obigen Forschungsfragen ist die Arbeit in der Schnittmenge der Forschungsdomänen Produktionsplanung und Supply Chain Management innerhalb der Wirtschaftsinformatik positioniert (im Sinne von Mertens et al. 2012, S. 90-105, 134 f., vgl. auch Geldermann 2012, S. 209). Zudem wird Wissen aus den Disziplinen Agrar- und Forstwissenschaft und speziell auch der Agrar- und Forstinformatik benötigt (vgl. Selbstdarstellung der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, GIL o. J.). Außerdem gibt es grundsätzlich zwei Forschungsrichtungen im Bereich der IT-bezogenen Nachhaltigkeitsforschung (Melville 2010; Watson et al. 2010): IT wird entweder als Verursacher von Emissionen gesehen, deren Betrieb effizienter und weniger umweltbelastend gestaltet werden soll (Green IT), oder als Wegbereiter von nachhaltigen Prozessen durch Messen, Unterstützen und Steuern (Green IS). Manche Autoren konstatieren mittlerweile auch den Zweig ‚Green by IS', wobei per se nachhaltige Tätigkeiten durch IS unterstützt werden sollen – es handelt sich dabei also um eine inhaltlich ausgedehnte Green IS-Perspektive (Heng et al. 2011; Park et al. 2009, S. 388). Diese Arbeit lässt sich in den letzten Bereich einordnen, da nachwachsende Rohstoffe in der Produktion zu mehr Nachhaltigkeit und besseren CO_2-Footprints führen. Die relevanten Forschungsdomänen und die Positionierung der Arbeit sind in Abbildung 1 dargestellt.

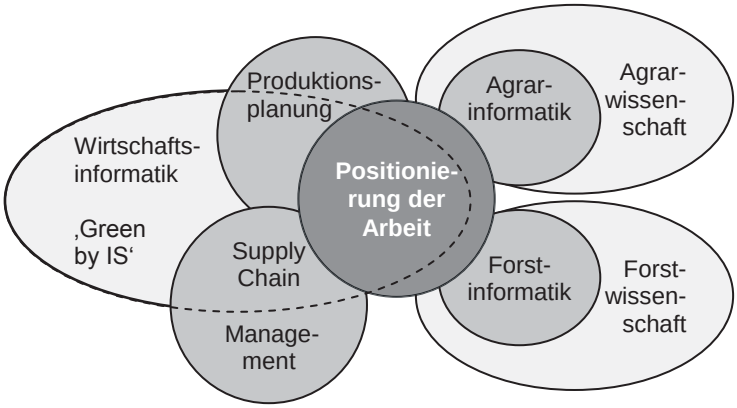

Abbildung 1: Positionierung der Arbeit innerhalb der Forschungsdomänen

Die Ziele der Forschung in der Wirtschaftsinformatik sind auf „Analyse, Gestaltung und Lenkung" von Informationssystemen ausgelegt (Sinz 2010, S. 28). Diese Arbeit hat mit den Forschungsfragen F1 und F2 einen beschreibenden, also behavioristischen, Teil und mit den Forschungsfragen F3 und F4 einen gestaltenden Teil. Bezogen auf die Ziele sind die Forschungsfragen F1 und F2 der Analyse und F3 und F4 der Gestaltung zuzuordnen. Die Analyse erfolgt auf mehreren Ebenen: Zunächst werden das zu behandelnde Problem und dessen Einflussfaktoren untersucht und dargestellt, um darauf aufbauend die Anforderungen an das zu entwerfende Artefakt zu identifizieren (Becker 2010). Schließlich wird im Sinne der Gestaltung ein Artefakt zur Behebung des Problems entworfen. Die Lenkung des Informationssystems wird in dieser Arbeit nicht untersucht, da es sich bei der übergeordneten Fragestellung um ein neues Themenfeld und somit um eine Konstruktionsforschung handelt, bei der ein noch nicht existierendes System untersucht wird (Sinz 2010, S. 28).

Die Forschung in der Wirtschaftsinformatik bedient sich eines breiten Fundus an Forschungsmethoden, welche sowohl aus verwandten betriebswirtschaftlichen, sozialwissenschaftlichen als auch aus natur-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

wissenschaftlichen Bereichen entlehnt werden. Da sowohl eine Analyse als auch eine Gestaltung durchgeführt werden, sind sowohl verhaltenswissenschaftliche als auch gestaltungsorientierte Methoden zu verwenden. Die Analyse der Ist-Situation, also die Beantwortung der Forschungsfragen F1 und F2, erfolgt sowohl literaturbasiert per argumentativ-deduktiver Analyse als auch durch empirische Befragungen (vgl. für Forschungsmethoden Wilde und Hess 2007, S. 282). Dazu wurden drei Studien mit einem Fragebogen und Expertengesprächen als Fallstudien durchgeführt (s. Kapitel 3). Somit werden sowohl die quantitative und qualitative Querschnittsanalyse als auch die Fallstudie als Forschungsmethoden verwendet. Das Hauptziel der Arbeit, die Gestaltung eines IT-Systems zur Lösung des beschriebenen Problems und zum Schaffen neuer Möglichkeiten in der Produktionsplanung (F3 und F4), wird durch die argumentativ-deduktive Analyse methodisch unterstützt. Die Ergebnisse werden in Form einer Referenzmodellierung festgehalten. Die Bewertung des Lösungsvorschlags erfolgt sowohl argumentativ-deduktiv als auch in Form einer empirischen Befragung. Letzere wird in Form von strukturierten Interviews mit Praxisvertretern durchgeführt.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert, wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Im folgenden Kapitel 2 werden Grundlagen zu nachwachsenden Rohstoffen, zu Beschaffungsunsicherheiten und zur Produktionsplanung geschildert. Dort werden für alle Begriffe auch die Definitionen hergeleitet und notwendige Einschränkungen für diese Arbeit vorgenommen. Anschließend wird in Kapitel 3 der Stand der Forschung dargestellt und daraus die Forschungslücke abgeleitet, um so die Relevanz des bereits geschilderten Problems zu belegen (Becker 2010, S. 13). Da alle drei Studien auf der gleichen Forschungsmethodik aufbauen, wird diese zunächst allgemein geschildert und anschließend jeweils auf Aufbau, Herleitung des Fragebogens und Analyse der Ergebnisse der drei Studien eingegangen. Zudem werden die Expertengespräche ausgewertet. Am Ende des Kapitels 3 erfolgt eine Zusammenfassung über den Ist-Stand, sowohl aus Sicht der Wissenschaft als auch aus Sicht der Praxis. Damit werden Forschungsfrage 1 und 2 beantwortet. Zentrales Ergebnis für die folgenden Kapitel sind die Anforderungen an ein IT-System, welche sich aus den Studien ergeben. Im Sinne des wirtschaftsinformatorischen Erkenntnisprozesses folgt nach dieser Analyse und der Kenntnis der Einflussfaktoren eines Problems der Entwurf (Österle et al. 2010, S. 4). Dieser wird in Kapitel 4, basierend auf den Anforderungen aus Kapitel 3, mit den Berücksichtigungsmöglichkeiten von Unsicherheiten in der Produktionsplanung begonnen. Es werden zunächst allgemeine Methoden analysiert, welche anschließend auf ihre Umsetzbarkeit in IT-Systemen geprüft werden. In Kapitel 5 wird dann, ebenfalls aufbauend auf den Anforderungen, eine ‚vollinformatisierte' Supply Chain entworfen. Dabei sollen durch IT-Unterstützung möglichst viele Daten entlang der Lieferkette von nachwachsenden Rohstoffen entstehen und nutzbar gemacht werden. Anschließend wird geprüft, welchen Einfluss diese Daten auf die Methoden aus Kapitel 4 haben, um so eine eventuelle Vorteilhaftigkeit sowie Potentiale und Grenzen abzuleiten. Die Arbeit endet mit einem Fazit, in dem die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und daraus resultierende Implikationen für Forschung und Praxis dargestellt werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

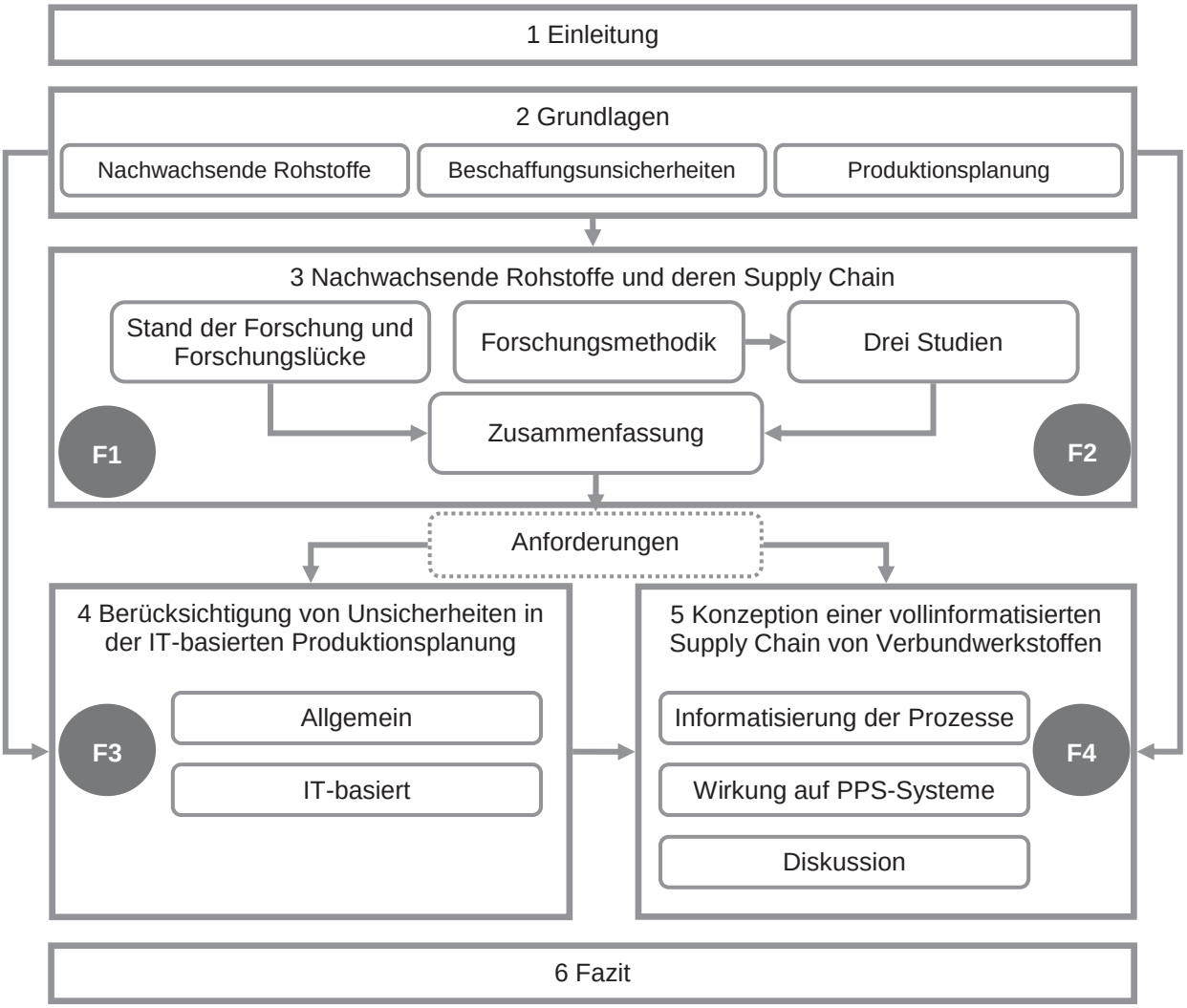

Abbildung 2: Aufbau der Arbeit

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die weitere Arbeit geschaffen. Dazu werden in Kapitel 2.1 zunächst nachwachsende Rohstoffe erläutert, eine Definition hergeleitet, Nutzungsmöglichkeiten dargestellt und eine Eingrenzung der betrachteten Rohstoffe für den weiteren Verlauf der Arbeit vorgenommen. Allgemeine Beschaffungsunsicherheiten werden in Kapitel 2.2 angeführt, um daraus eine Klassifikation abzuleiten. Die Verbindung dieser beiden Kapitel, also die spezifischen Unsicherheiten bei nachwachsenden Rohstoffen, wird später in Kapitel 3 behandelt. Anschließend werden in Kapitel 2.3 die Grundlagen zur Produktionsplanung und -steuerung dargelegt. Dazu wird der Ablauf der Planung ebenso erläutert wie die dazu genutzten IT-Systeme, um auch hier eine Eingrenzung bezüglich der in der Arbeit genauer analysierten Prozesse und Systeme zu geben.

2.1 Nachwachsende Rohstoffe

In diesem Kapitel werden nachwachsende Rohstoffe zunächst beschrieben und von natürlichen Rohstoffen abgegrenzt, um so eine Definition für diese Arbeit zu bilden. Zudem werden die nachwachsenden Rohstoffe klassifiziert, um eine spätere Einschränkung auf bestimmte Verwendungsarten und Rohstoffe zu begründen. Dies muss vor dem Hintergrund der Spezifität der Arbeit erfolgen, da der Untersuchungsbereich sonst zu weit gefasst wäre. Anschließend wird auf die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in der produzierenden Industrie und die Unsicherheit, welche die Rohstoffe mit sich bringen, eingegangen.[1]

2.1.1 Definition

Als Rohstoffe werden allgemein „alle Güter natürlichen, pflanzlichen oder mineralischen Ursprungs bezeichnet“ (Fridgen et al. 2013, S. 169), welche einer industriellen Nutzung zugeführt werden sollen. Diese Definition ist kritisch zu sehen, da auch pflanzliche und mineralische Rohstoffe natürlichen Ursprungs sind. Es scheint also treffender, die Definition auf ‚alle Güter natürlichen Ursprungs‘ zu verallgemeinern. Die nachwachsenden Rohstoffe sind eine Untergruppe dieser *natürlichen Rohstoffe*. Diese umfassen alle Ressourcen, welche von der Natur bereitgestellt werden (Siebert 1983, S. 2). Dabei sind nicht nur diejenigen Stoffe zu berücksichtigen, welche direkt oder indirekt der Produktion von Gütern zugeführt werden, sondern auch Konsumgüter wie Lebensmittel oder im umfassenderen Ansatz auch Sauerstoff und Wasser. Der Begriff der *nachwachsenden Rohstoffe* (manchmal auch erneuerbare Rohstoffe) umfasst alle biogenen Stoffe bzw. Biomasse, welche in natürlichen Systemen regeneriert werden (Siebert 1983, S. 110; FNR o. J. c; Leible et al. 2001; Karafyllis 2000, S. 87). Hauptunterscheidungsmerkmal gegenüber anderen natürlichen Rohstoffen ist damit die Erneuerung, wohingegen fossile und mineralische Stoffe in der Natur nicht wieder erzeugt werden können und nach der Nutzung einer Erschöpfung unterliegen. Natürliche Rohstoffe, welche nicht nachwachsen, sind meist durch geologische oder astronomische Prozesse entstanden. Leible et al. (2001) und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR o. J. c) grenzen den Begriff dahingehend ein, dass die Stoffe nicht als

[1] Die Kapitel 2.1 und 2.2 basieren auf Friedemann und Schumann 2010 und sind teilweise daraus entnommen. Ebenso basieren die Kapitel 2.2 und 2.3 auf Friedemann und Schumann 2012 und sind stellenweise übernommen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nahrungs- oder Futtermittel genutzt werden. Zudem ist ein nachwachsender Rohstoff erst dann ein Rohstoff und kein natürliches Gut mehr, wenn er vom Menschen gezielt genutzt wird (Karafyllis 2000, S. 87). Diesem Verständnis folgend wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit folgende Definition genutzt:

Definition: Nachwachsende Rohstoffe
Nachwachsende Rohstoffe sind alle in der Natur vorkommenden organischen Ressourcen, welche durch natürliche Prozesse regeneriert werden. Sie erneuern sich somit selbstständig oder können durch Forst- und Landwirtschaft erzeugt werden. Es erfolgt eine zielgerichtete industrielle Nutzung außerhalb des Nahrungsmittelbereichs.

Die nachwachsenden Rohstoffe können bei der industriellen Nutzung sowohl stofflich als auch energetisch genutzt werden (FNR o. J. b). Je nach Nutzungsabsicht werden unterschiedliche Bedingungen an die Rohstoffe gestellt. Die Definitionen für die beiden Nutzungsarten werden im Folgenden dargestellt.

Definition: Stoffliche Nutzung	**Definition: Energetische Nutzung**
Bei der stofflichen Nutzung in der Produktion wird auf den gesamten Rohstoff oder auf einzelne Bestandteile abgezielt, um diese in anderen Produkten weiterzuverarbeiten.	Die energetische Nutzung zielt auf die Gewinnung von Wärme oder Energie aus den nachwachsenden Rohstoffen ab.

Bereits vor dem Beginn des industriellen Zeitalters waren nachwachsende Rohstoffe die Grundlage für die Produktion von alltäglichen Dingen, da sie überall verfügbar waren und bei Bedarf erneut angebaut werden konnten (FNR o. J. c; Karafyllis 2000, S. 53). Die verstärkte Nutzung von Erdöl und anderen fossilen Stoffen hat, vor allem im Bereich der energetischen Nutzung, zu einer Verdrängung der nachwachsenden Rohstoffe geführt (Müller-Sämann et al. 2003; Karafyllis 2000, S. 53). Verschiedene Aspekte, wie bspw. steigende Ölpreise, das aufkommende Umweltbewusstsein und die Erkenntnis darüber, dass die fossilen Brennstoffe eines Tages erschöpft sein werden, führen im beginnenden 21. Jahrhundert dazu, dass die nachwachsenden Rohstoffe derzeit eine Renaissance vor allem bei der energetischen Nutzung erfahren. Dies gilt aber auch für die stoffliche Nutzung, wobei hier bislang nur ein geringer Nutzungsanstieg stattgefunden hat, für die Zukunft wird aber eine steigende Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen erwartet. Die Bundesregierung führt im Ressourceneffizienzprogramm nachwachsende Rohstoffe deshalb auch als einen Handlungsansatz an, um die nachhaltige Rohstoffversorgung Deutschlands sicherzustellen (BMU 2012a, S. 36 f.). Man sieht in ihnen eine langfristige, umweltverträgliche und somit nachhaltige Rohstoffbasis für die Zukunft (FNR o. J. c). Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Arten von nachwachsenden Rohstoffen näher erläutert und Klassifizierungsmöglichkeiten vorgestellt, um so eine Einschränkung des Betrachtungsfeldes dieser Arbeit vornehmen zu können. Die Verwendungsmöglichkeiten in der Industrie werden dann in Kapitel 2.1.3 dargestellt.

2.1.2 Klassifizierung

Eine erste Unterscheidung der Rohstoffe kann anhand der Herkunft geschehen: Grundsätzlich können nachwachsende Rohstoffe tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sein. Eine Übersicht ausgewählter

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten an tierischen Rohstoffen sowie ihrer Quelle und industrieller Verwendungsmöglichkeiten ist in Tabelle 2 dargestellt (in Anlehnung an Peters 2007 und FNR o. J. g). Viele dieser Rohstoffe werden schon seit vielen Jahrhunderten genutzt, einige erschließen sich erst mit heutigen Produktionsverfahren einer neuen Verwendung. So kann beispielsweise mit heutigen Produktionsverfahren Biokunststoff aus den Chitinpanzern von Meerestieren und auch aus Gelatine oder aus Keratin, welches beispielsweise in Hühnerfedern vorkommt, gewonnen werden. Viele Rohstoffe können auch noch weiter zerlegt und dann wiederum anderen Anwendungen zugeführt werden – auf diese detaillierte Darstellung soll an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden. Oftmals handelt es sich bei den Rohstoffen um Abfall- oder Kuppelprodukte, die beispielsweise in der Nahrungsmittelproduktion anfallen. Auf die Nutzung von Tieren als Nahrungsmittel soll an dieser Stelle ebenfalls nicht eingegangen werden, da dies für die weiteren Betrachtungen der produzierenden Industrie nicht relevant ist und in der oben gebildeten Definition ausgeschlossen wurde (siehe Kapitel 2.1.1).

Art des Rohstoffs	Ursprung	Verwendung
Insulin	Schwein, Rind	Pharmazie/Medizin
Hormone	Schwein, Rind	
Leder	Rind, Schwein	Textilindustrie
Seide	Seidenraupe	
Felle	Schaf, Fuchs, Nerz	
Borsten	Schwein	
Wolle	Schaf, Alpakas	
Federn	Huhn, Ente, Gans	
Wachse	Biene, Wal	Chemische Industrie
Fette	Schwein, Fisch, Gans, Rind	
Öle	Schwein, Fisch, Gans, Rind	
Talg	Rind, Hammel	
Gelatine	Schwein, Rind	
Karmin (Purpur)	Purpurschnecke	
Biokunststoffe	Chitin (bspw. aus Krustentieren, Pilzen oder einigen Fischen), Keratin (bspw. aus Federn von Vögeln)	Verpackungsindustrie
Dünger	Mist, Gülle, Guano	Agrarindustrie
Tiermehl	Verschiedene Tiere	

Tabelle 2: Ausgewählte Rohstoffe tierischen Ursprungs für die industrielle Nutzung

Im industriellen Umfeld werden mehr Rohstoffe pflanzlichen Ursprungs genutzt. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Arten aufgelistet (in Anlehnung an Peters 2007, FNR o. J. g, FNR 2010b, Agentur für Erneuerbare Energien e. V. o. J., Karafyllis 2000, S. 62, Hofmann 2010 und Pude und Wenig 2005). Aufgrund der gebildeten Definition wurde auch in dieser Darstellung bewusst auf die Verwendung von Pflanzen als Nahrungsmittel verzichtet. Insbesondere im Baugewerbe werden schon immer nachwachsende Rohstoffe, vor allem Holz als Material und Fasern zur Dämmung, genutzt (FNR 2010a). Ein sehr neues Forschungsfeld hingegen sind Biopolymere, auch Biokunststoffe genannt. Dies sind Kunststoffe, die überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden (FNR o. J. f; Kaplan 1998; FNR

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2010b, S. 36) und deshalb teilweise oder vollständig biologisch rückstandsfrei abbaubar sind (Jensen 2008; Mohanty et al. 2002, S. 20). Aufgrund der Wichtigkeit und der erwarteten positiven zukünftigen Marktentwicklung (Berndes 2006, S. 11; Jensen 2008) sind sie als eigener Verwendungsbereich aufgeführt und nicht in den Bereich der chemischen Industrie eingruppiert. Insbesondere die Arzneipflanzen sind nur ausgewählt und nicht vollständig, sondern zeigen nur bekannte Beispiele.

Art des Rohstoffs bzw. Nutzung	Ursprung	Verwendung
Holz	Buche, Eiche, Fichte, Kiefer, Pappel, Weiden, Rattan, Teak, Mahagoni, Bambus	Bau, Möbelindustrie
Gräser und Stroh	Schilf (Reet), Acker- und Wiesengras, Stroh	Bau[2] , Verpackungsindustrie[3], Energiegewinnung
Fasern	Kokos, Hanf, Gras, Schilf, Flachs, Baumwolle, Jute, Sisal, Kenaf, Fasernessel	Bau[2], Möbel-, Papier-, Textilindustrie
Fette	Soja, Raps, Sonnenblume, Olive	Chemische Industrie
Gerbstoffe	Walnussblätter, Eichenrinde, Galläpfel	
Gummi (Kautschuk/Latex)	Kautschukbaum	
Öle[3]	Soja, Sonnenblume, Raps, Ölpalme, Flachs, Wunderbaum (Rizinusöl), Öllein, Mohn, Leindotter, Krambe	
Pflanzenfarbstoff	Färberwaid, Färberkrapp, Färberwau, Indigo, Krapp, Färberknöterich, Saflor	
Proteine	Ackerbohne, Lupine, Erbse	
Stärke[3]	Mais, Weizen, Kartoffeln, Maniok, Zuckerrübe, Topinambur	
Tenside	Kokosöl, Palmöl	
Wachse	Zuckerrohr, Carnauba, Jojoba	
Verbrennung, Holzpellets, Hackschnitzel	Alle Hölzer und Bäume, oft Weiden und Pappeln, Chinaschilf, Triticale	Energie- und Wärmegewinnung
Vergärung	Chinaschilf, Triticale, Ackergras, Silphie, Rübe, Gerste, Jatropha, Mais, Ölpalme, Raps, Roggen, Sonnenblume, Sudangras, Topinambur, Weizen	
Biokraftstoff und Bioethanol	Zuckerrohr, Mais, Weizen, Zuckerrübe, Triticale, Raps, Soja, Ölpalme, Gerste, Jatropha, Mais, Ölpalme, Roggen, Sojabohne, Sonnenblume, Topinambur	
Genussmittelpflanzen	Tabak, Hopfen	Genussmittelindustrie
Arzneipflanze	Salbei, Holunder, Kamille, Wermut, Kümmel, Kürbiskern, Ingwer, Krambe, Johanniskraut, Mariendistel	Pharmazie/Medizin
Wolle	Holzwolle, Baumwolle	Textilindustrie, Bau[2]
Zellulose	Hart- und Weichholz, Baumwolle, Topinambur	Verpackungsindustrie[3], Papierindustrie
Biopolymere	Zucker (insb. Zuckerrohr), Lignin, Rizinusöl	Verpackungsindustrie

Tabelle 3: Ausgewählte Rohstoffe pflanzlichen Ursprungs für die industrielle Nutzung

Viele der aufgeführten Rohstoffe werden mittlerweile gezielt für die Nutzung in der Industrie angebaut. So werden bspw. in Kurzumtriebsplantagen schnell wachsende Bäume wie Weiden, Pappeln oder Robinien mit dem Ziel der Nutzung als Energiepflanze angebaut (Rösch und Jörissen 2012; Pallast et al. 2005; Pude und Wenig 2005, S. 41; Pude und Wenig 2005, S. 37-42; Hofmann 2010). Zunehmend gewinnen aber auch Abfall- und Kuppelprodukte an Bedeutung, wie dies bspw. bei Altholz der Fall ist

[2] Die Rohstoffe werden im Bau unter anderem zur Dämmung oder Dachdeckung eingesetzt.
[3] Diese Rohstoffe können in der Verpackungsindustrie (unter anderem) als Grundlage für biologisch abbaubare, CO_2-neutrale Verpackungen genutzt werden, siehe ‚Biopolymere'.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

(Baier und Soyez 2000). Faserpflanzen können durch Entholzung in die eigentliche Faser und Schäben (holzartige Reste) getrennt werden, welche dann energetisch genutzt werden können. Des Weiteren kann auch die aus Verschnittholz erzeugte Energie und Wärme in Holzverbrennungskraftwerken als Koppelprodukt angesehen werden. In diesem Zusammenhang wird häufig auch von der *mehrstufigen Nutzung* gesprochen: Ein nachwachsender Rohstoff wird erst stofflich genutzt und am Ende des Produktlebenszyklus, also mit dem Recycling, der energetischen Nutzung in Verbrennungskraftwerken zugeführt (Geldermann 2012, S. 193; Arnold et al. 2009).

Klassifizierungsmerkmal	**Klassen**				
Ursprung	Tier			Pflanze	
Verwendung	Energetisch			Stofflich	
Herkunft	Planmäßig produziert		Abfallprodukt	Koppelprodukt	
Nutzende Industrie	Bau	Chemie	Energie- und Wärmeerzeugung	Genussmittel	Möbel
	Papier	Pharmazie/ Medizin	Textil	Verpackung	Weitere
Rohstoffart	Arzneipflanze	Bioethanol	Biokraftstoff	Biopolymere	Cellulose
	Fasern	Fette	Genussmittelpflanzen	Gerbstoffe	Gräser und Stroh
	Gummi	Holz	Holzpellets, Hackschnitzel	Öle	Pflanzenfarbstoff
	Stärke	Tenside	Wachse	Wolle	Weitere

Abbildung 3: Klassifizierungsmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen

Weitere Klassifizierungsmöglichkeiten sind die Herkunft der Rohstoffe oder ihre Verwendung (Müller-Sämann et al. 2003, S. 2). Bei der Herkunft lassen sich, wie weiter oben bereits erwähnt, der planmäßige und zielgerichtete Anbau eines Rohstoffes für den Produktionszweck sowie die Herkunft aus Abfall- und Kuppelprodukten unterscheiden (Geldermann 2012, S. 193). Bei der Verwendung ist die energetische und stoffliche Nutzung zu differenzieren (Geldermann 2012, S. 193). Eine Unterscheidung kann auch, wie in Tabelle 2 und Tabelle 3 angewandt, nach dem verwendenden Industriezweig oder dem Ursprung der Rohstoffart vorgenommen werden. Eine Kombination der Merkmale kann durchgängig erfolgen; so können beispielsweise die pflanzlichen Rohstoffe auch weiter nach energetischer und stofflicher Nutzung differenziert werden. Die Zuordnungen zu den Klassen sind nicht immer überschneidungsfrei, da Rohstoffe oftmals für mehrere Zwecke genutzt werden können. Die verschiedenen Klassifizierungen sind in Abbildung 3 zusammengefasst.

Manche Rohstoffe wie z. B. Soja, Mais oder Raps können für mehrere Zwecke verwendet werden. Dadurch entsteht eine neuartige (Flächen-)Konkurrenz in der Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe (Geldermann 2012, S. 191; Carus und Piotrowski 2010, S. 57). Insbesondere bei einer Verwendung als Nahrungspflanze oder als Energiepflanze entstehen so neue sozioökonomische Fragestellungen. Eine oft diskutierte Frage in diesem Zusammenhang ist beispielsweise die Verwendung von Lebensmitteln wie Getreide oder Mais für die Energieerzeugung – oft auch als „Tank oder Teller“ paraphrasiert (Burdick und Waskow 2009; Ahrens 2013, S. 9). Aus Sicht von Umweltverbänden besteht die Gefahr

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

von Monokulturen, eine Konkurrenz der Anbauflächen zu Naturschutzflächen sowie die Abholzung von tropischen Wäldern zur Gewinnung neuer Nutzflächen (Greenpeace 2008; attac 2011). Interessenverbände weisen demgegenüber darauf hin, dass vielmehr der „Teller […] mit dem Trog“ konkurriere (Agentur für Erneuerbare Energien e. V. o. J., S. 31). Diese Aspekte sollen darauf hindeuten, dass die alleinige Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen nicht per se zu Nachhaltigkeit, insbesondere im sozialen Sinne, führt. Eine weitere Diskussion der Vor- oder Nachteile von nachwachsenden Rohstoffen soll und kann an dieser Stelle aber nicht erfolgen, da dies nicht das Kernthema der Arbeit ist.

2.1.3 Nutzung in der Industrie

Insbesondere die **chemische Industrie** verwendet nachwachsende Rohstoffe seit langer Zeit. Vor allem Farbstoffe, Öle, Fette und Wachse werden schon seit Jahrhunderten aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Auch heutzutage werden sie noch genutzt: Deutsche Chemieunternehmen sind mit einem Anteil nachwachsender Rohstoffe von circa 10 bis 13 % des gesamten Rohstoffeinsatzes weltweit führend (Ahrens 2013, S. 9; Armansperg 2006, S. 269). Schmierstoffe werden hauptsächlich aus Ölpflanzen wie Raps, Soja, Palm oder Sonnenblumen gewonnen, aus tierischer Herkunft wird vor allem Rindertalg verarbeitet (Lenz und Weber 2006, S. 243). Da die biogenen Schmierstoffe aus natürlichen Rohstoffen gewonnen werden, sind sie biologisch schnell abbaubar. Im Bereich der Tenside wird etwa die Hälfte aller hergestellten Mengen aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen (Fabry 2004, S. 216). Auch im Bereich von Ölen und Fetten gibt es zahlreiche Forschungsaktivitäten, um neue Synthesen zu finden (Ahrens 2013, S. 9; Biermann et al. 2000). Durch die Entwicklung im Bereich der Gentechnik und Zuchtverfahren ist es u. a. bei Ölpflanzen bereits heute möglich, die Pflanzen speziell im Hinblick auf die gewünschten Öle zu züchten (Minol und Sinemus 2004-2005, S. 40). So können störende Begleitstoffe eliminiert und der Anteil des gewünschten Rohstoffes innerhalb der Pflanze erhöht werden. In Zukunft soll die Forschung und Anwendung auf weitere Pflanzen und Rohstoffarten, vor allem auf Stärke, Zucker und Cellulose, ausgedehnt werden. Mittelfristig wird vor allem der Einsatz in umweltsensiblen Bereichen, z. B. bei Wasch- und Reinigungsmitteln sowie im Bau aufgrund der biologischen Abbaubarkeit und den Vorteilen gegenüber petrochemisch hergestellten Rohstoffen im Bezug auf Schadstoffe gesteigert werden (Müller-Sämann et al. 2003, S. 20). Für das Jahr 2015 wird Chemikalien aus nachwachsenden Rohstoffen ein Marktwert von fünf Milliarden US-Dollar vorhergesagt (Frost & Sullivan 2009). In aktuellen Entwicklungen wird die Verwendung nachwachsender Rohstoffe auch in vielen anderen verwandten Bereichen erforscht. So gelang es bspw. den in der Elektronikindustrie benötigten seltenen Rohstoff Graphen durch Hanf zu ersetzen (Wang et al. 2013).

Holz wird in verschiedenen Industriezweigen benötigt und ist aufgrund seiner Eigenschaften ein vielseitig verwendbarer Rohstoff. Der Verwertungsprozess beim Holz ist typischerweise zweistufig aufgebaut, da im ersten Schritt das Schnittholz von Sägewerken oder ähnlichen Vorarbeitern bearbeitet und erst im zweiten Schritt der verwertenden Industrie zugeführt wird (Cescutti et al. 2006, S. 513 f.). In diesem zweiten Schritt wird circa die Hälfte des deutschlandweit verfügbaren Holzes der **Papier- und Zellstoffindustrie** zugeführt (FNR o. J. g; FNR 2010b, S. 68). Die andere Hälfte wird von der holzverarbeitenden Industrie, wie z. B. der **Möbel- und Bauindustrie**, benötigt (Peters 2007, S. 25). Die Einsatzmöglichkeiten von Holz sind zu vielseitig, um sie an dieser Stelle erschöpfend ausführen zu können. Des-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

halb sollen exemplarisch die nach Produktionswert wichtigsten Produkte des Baugewerbes aufgeführt werden. Dies sind Mitteldichte Holzfaserplatten (MDF) und Spanplatten sowie komplette Holzhäuser, die mit weitem Abstand vor Fenstern, Türen, einzelnen Leimbauteilen und Treppen angesiedelt sind (Cescutti et al. 2006, S. 510; FNR 2010a; FNR 2010b, S. 66-73). Die Möbelindustrie arbeitet größtenteils mit Holz und stellt deshalb sowohl mengen- als auch wertbezogen einen sehr großen Abnehmer dar (Cescutti et al. 2006, S. 550 f.). Eine Besonderheit bei der Arbeit mit Holz ist, dass viele Abfallprodukte wie Späne und Verschnitt anfallen, die wiederum in einer Kaskadennutzung Heizkraftwerken zugeführt werden können. Das produzierende Gewerbe und der Bau nutzen neben Holz vor allem Gummi aus nachwachsenden Ressourcen. Viele der bereits erwähnten chemischen Produkte kommen auch im Bau zum Einsatz, z. B. Lösungsmittel, Lacke, Klebstoffe, Linoleum, Öle und Fette, und können auch hier aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden.

Ein weiterer Industriezweig, in dem die nachwachsenden Rohstoffe momentan einen Boom erleben, ist die **Energie- und Wärmeerzeugung**. Zur Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen wird Biogas aus Biomasse gewonnen. Biogas ist ein „Wasserdampf-gesättigtes Mischgas, das unter anaeroben Bedingungen beim biologischen Abbau organischen Materials entsteht“, also durch die Vergärung von Biomasse in sogenannten Biomassekraftwerken (Hofmann et al. 2006, S. 42). Der eigentliche Energieträger im Biogas ist das Methan. Neben der Verwertung von tierischen Abfällen wie Mist und Gülle werden vor allem Pflanzen wie Mais, Soja, Raps, Gras oder Sonnenblumen und Rohholz sowie Holzreste in diesen Kraftwerken genutzt (FNR o. J. d; Müller-Langer et al. 2006, S. 181). Für die Zukunft wird ein verstärkter Anbau von Energiepflanze ebenso erwartet wie die systematische und nachhaltige Erschließung der Waldholzressourcen (Hofmann et al. 2006, S. 13 f.) und die Nutzung von Wildpflanzen (Vollrath und Kuhn 2010). Ein hohes, aktuell wenig genutztes Potential besteht im Bereich der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen. In den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten soll den Rohstoffen aus Biomasse die bedeutendste Rolle unter den regenerativen Energieträgern zukommen (Leible et al. 2001). Als erstes Bioenergiedorf in Deutschland hat die Gemeinde Jühnde im Landkreis Göttingen in Zusammenarbeit mit der Georg-August-Universität Göttingen eine Biogasanlage zur Strom- und Wärmeerzeugung gebaut (Ruppert et al. 2008, S. 18). Die örtlichen Landwirte liefern die benötigte Biomasse, die Wärme wird an die Haushalte über ein Nahwärmenetz verteilt. Neben durchschnittlichen Einsparungen von 750 Euro pro Jahr und Haushalt konnten so Arbeitsplätze geschaffen bzw. gesichert werden. Außerdem erreichte man eine Unabhängigkeit gegenüber Versorgern und internationalen Märkten. Mittlerweile existieren zahlreiche weitere solcher Dörfer und viele Orte führen Machbarkeitsstudien durch[4]. Für die Umsetzung in Gemeinden und einzelnen Regionen sprechen vor allem die kurzen Transportwege sowie das Platzangebot zum Anbau der benötigten pflanzlichen Rohstoffe auf dem Land (Hartmann 2007). Außerdem sprechen auch die bewährten Anbauverfahren und die Wiedernutzung der Gärreste als Düngemittel sowie die klimaneutrale Verbrennung für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen zur Energieerzeugung auf regionaler Ebene (Hofmann et al. 2006, S. 44 f.; Agentur für Erneuerbare Energien e. V. o. J., S. 28 f.). Aber nicht nur im regionalen Rahmen werden Biomassekraftwerke gebaut, sondern auch große Unternehmen engagieren sich in der Forschung und

[4] Zum Thema der Bioenergiedörfer finden sich weitere Informationen unter anderem in Ruppert et al. 2008 und Projektgruppe Bioenergiedörfer 2007. Dieses Thema wird in Kapitel 3.4 ausführlich behandelt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Entwicklung sowie in der Realisierung dieser Kraftwerke (z. B. E.ON 2012). Bei der Wärmeerzeugung kommen aus der Biomasse aus Agrarrohstoffen auch Holzpellets, Stroh, Hackgut und Stückholz zum Einsatz (Kalies et al. 2006; FNR o. J. h). Es werden größtenteils Neben- und Abfallprodukte genutzt, ein Einschlag von Waldholz findet nur in geringem Ausmaß statt. Auch hier wird der Bedarf aufgrund der Transportkosten und kürzeren Wege hauptsächlich aus regionalen Quellen gedeckt.

Der Anteil von **Biokraftstoffen** am gesamten deutschen Kraftstoffverbrauch lag 2005 noch bei 3,6 %, steigerte sich für das Jahr 2007 aber auf 7,2 % und sank daraufhin über die nächsten Jahre bis 2010 auf 5,8 % ab (Müller-Langer et al. 2006, S. 163; FNR o. J. e). Den größten Anteil machte hierbei der Biodiesel aus, gefolgt von Bioethanol und Pflanzenöl. Biogas wird bisher nur in Einzelfällen als Treibstoff genutzt, die überwiegende Nutzung erfolgt im Bereich der Strom- und Wärmerzeugung (Müller-Langer et al. 2006, S. 181). Biodiesel wird größtenteils aus Raps- oder Sonnenblumenöl hergestellt. Die Alkohole Ethanol und Methanol, welche in Benzinmotoren bzw. Brennstoffzellen zum Einsatz kommen können, werden überwiegend aus Getreide sowie Stärke- und Zuckerpflanzen gewonnen. Das weitere Entwicklungspotenzial hängt stark von politischen Entscheidungen wie der steuerlichen Begünstigung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz ab, da die deutsche Landwirtschaft in der Produktion von Biokraftstoffen nur aufgrund dieser Förderung konkurrenzfähig ist (Müller-Langer et al. 2006, S. 163 f.).

In der **Textilindustrie** werden vor allem Baumwolle, Schafwolle und Flachs benötigt (Hoffmeister et al. 2006, S. 469-471; FNR o. J. g; Kohler et al. 2004, S. 6 f.). Aber auch Schlachtnebenprodukte wie Federn, Borsten, Leder und Felle werden verarbeitet. Pflanzliche Fasern können in Vliesen, Filzen und Nadelfilzen als Grundwerkstoff für andere Industriezweige verwebt werden (Müller-Sämann et al. 2003, S. 26).

Auch die **pharmazeutische Industrie und Medizin** nutzt seit vielen Jahrhunderten Heilpflanzen zur Extraktion von Wirkstoffen. In Deutschland sind rund 100 Sorten pflanzlicher Arzneimittel, sogenannte Phytopharmaka, anbaufähig (Schmitz et al. 2006, S. 343; FNR o. J. g; Pude und Wenig 2005, S. 30). Dominierend sind dabei die Pflanzen Pfefferminze, Kamille, Baldrian, Fenchel, Johanniskraut und Mariendistel. Neben der medizinischen Nutzung ist insbesondere das „Health Food“ von wachsender Bedeutung, weitere Einsatzmöglichkeiten ergeben sich in der pharmazeutischen Kosmetik sowie in der Veterinärmedizin (Schmitz et al. 2006, S. 345). Wirkstoffe wie Insuline konnten früher nur aus tierischen Stoffen extrahiert werden, wegen diverser Nachteile dieses Verfahrens werden sie heute allerdings zumeist künstlich hergestellt. Ebenso werden Hormone heutzutage nur noch selten aus tierischen oder pflanzlichen Rohstoffen gewonnen.

In der gesamten verarbeitenden Industrie und auch im Baugewerbe werden Biowerkstoffe genutzt, welche Biokunststoffe, naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Wood Plastic Composites (WPC) umfassen (FNR 2008, S. 5). Bei **Biokunststoffen** werden Biopolymere als Grundlage der Herstellung von Plastik aus Pflanzen gewonnen, z. B. aus Stärke, Cellulose, Proteine oder Zucker (Müssig und Carus 2007, S. 36; Müller-Wondorf 2009; Peters 2007, S. 19; FNR o. J. f; Mohanty et al. 2002; FNR 2010b, S. 36). Vorteilig ist neben der biologischen Abbaubarkeit auch die Wiederverwertbarkeit am Ende des Produktlebenszyklus, indem beispielsweise Verpackungsmaterial einer energetischen Nachnutzung zugeführt wird. Dabei kommt es zu einer CO_2-neutralen Verwertung der Biokunststoffe und

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

somit zu einem geschlossenen Stoff- und Energiekreislauf (Peters 2007, S. 19; Mohanty et al. 2002, S. 20; FNR o. J. f; Jensen 2008). Müssig et al. betonen auch die Marketingwirkung, da Verbraucher nachwachsenden Rohstoffen positiv gegenüberstehen und durch gezielte Informationen über die ökologischen Vorteile von solchen Produktverpackungen eine hohe Kundenakzeptanz erreicht werden kann (2006, S. 418). Beim Einsatz von Biokunststoffen in der Agrarwirtschaft, z. B. als Abdeckfolien für Felder, bei Pflanztöpfen oder Mulchfolien kann eine Substitution von petrochemisch hergestellten Produkten erfolgen. Dies birgt unter anderem den Vorteil, dass die Verpackung aufgrund der biologischen Abbaubarkeit direkt vor Ort kompostiert werden kann und somit keine Entsorgungskosten anfallen sowie gesetzliche Vorgaben der Verpackungsverordnung einfacher erreicht werden können (Müssig et al. 2006, S. 415-417; Jensen 2008). Ebenso sind mittlerweile marktreife Schrumpffolien für diverse Verpackungen verfügbar, wie sie beispielsweise bei der Bündelung von PET-Flaschen (Polyethylenterephthalat) eingesetzt werden. In ersten Tests werden die Biokunststoffe auch schon in der Automobilproduktion und in der Bautechnik eingesetzt (Müller-Wondorf 2009). So integriert Toyota bspw. Biokunststoffe aus Soja oder anderer Stärke in Sitzen und Interieur (Connell 2008).

Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) sind Verbundwerkstoffe aus einem Kunststoff, der „seine Stabilität durch eingearbeitete Naturfasern erhält“ (FNR 2008, S. 6). Dazu werden bspw. Flachs-, Hanf-, Kokos- oder Jutefasern genutzt (Peters 2007, S. 20; Kohler et al. 2004, S. 7). Das Material wird steif und schlagfest, hat eine geringe Dichte, geringe Splitterneigung und ist sehr leicht (FNR 2008, S. 6; Ziegler et al. 2010, S. 16; Müssig und Carus 2007, S. 23; Carus et al. 2008, S. 133 f.). Es kann anschließend als Spritzgussgranulat für viele Verpackungs- und Kunststoffprodukte genutzt werden und ist mittlerweile in einem marktfähigen Produktstatus angekommen (Honsel 2009, S. 72 f.). Ein ähnliches Material, carbonfaserverstärkte Kunststoffe, benötigt aktuell noch Erdöl zu Herstellung. Allerdings wird intensiv an der Herstellung von Carbonfasern aus Lignin und somit aus nachwachsenden Rohstoffen geforscht (Bruckner 2012), so dass auch dieser Verbundwerkstoff zukünftig naturfaserverstärkt sein könnte.

Wood Plastic Composites (WPC), auf Deutsch auch Holz-Polymer-Verbundwerkstoffe genannt, sind Verbundwerkstoffe mit unterschiedlichen Anteilen von Holz und Holzmehl, Kunststoffen und Additiven (Vogt et al. 2006, S. 9; FNR 2010b, S. 46; Ziegler et al. 2010, S. 16). Sie vereinen die Vorteile von Kunststoffen und Holz (20-90 % Anteil), ergänzt um Additive (5-10 % Anteil) wie UV-Schutz oder Farben (Müssig und Carus 2007, S. 157). Der Anteil an synthetischen Kunststoffen wie Polypropylen oder Polyethylen kann zwischen 10 und 70 % liegen (Müssig und Carus 2007, S. 157), beträgt aber meist unter 50 % (Carus et al. 2008, S. 148). Der Holzanteil in WPCs kann auch durch Naturfasern ersetzt werden, ohne dadurch die Materialeigenschaften zu verändern. Neben dem nachwachsenden Rohstoff Holz können also auch Pflanzenfasern als Substitut für Holz genutzt werden, wobei es sich beispielsweise um Kenaf-, Jute- oder Flachsfasern handelt. Auch der Plastikanteil kann in Form von Biokunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt werden (Carus et al. 2008, S. 148). Die Bundesregierung bescheinigt WPCs einen großen Wachstumsmarkt und integriert die Forderung nach verstärkter Nutzung dieser auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Werkstoffe in ihren Aktionsplan (FNR 2009, S. 25). Während in Nordamerika bereits mehr als eine Million Tonnen produziert werden, so sind es in Europa lediglich 105.000 Tonnen (Stand 2006; FNR 2009, S. 25).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.