

Holzmarktmodellierung

Szenarienbasierte Folgenabschätzung verschiedener Rohholzangebotssituationen für den Sektor Forst und Holz

Franziska Schier und Holger Weimar

Thünen Working Paper 91

Franziska Schier und Dr. Holger Weimar
Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg
Telefon: +49 40 73962-328; -314
Fax: +49 40 73962 399
E-Mail: franziska.schier@thuenen.de; holger.weimar@thuenen.de

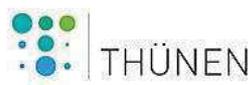
Thünen Working Paper 91

Hamburg/Germany, April 2018



Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz

Projektbeteiligte



Thünen-Institut für Internationale
Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg
Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde
Thünen-Institut für Holzforschung,
Hamburg



Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft



Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	ii
Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung	5
1.1 Das Verbundforschungsprojekt „WEHAM-Szenarien“	6
1.2 Die Szenarien	6
2 Methoden	9
2.1 Das Holzmarktmodell	9
2.2 Weiterentwicklung des Holzmarktmodells	10
2.3 Neu-Fassung des GFPM _{CNC} für die Holzmarktmodellierung	11
2.3.1 Aktualisierung der Datenbasis	12
2.3.2 Kalibrierung und Optimierung der Modelleingangsdaten	13
2.3.3 Erstellung und Parametrisierung der Szenarien-Quelldatei	13
3 Daten	16
3.1 Rohholzpotential	16
3.2 Rohholzpotential für die energetische Verwendung	21
3.3 Rohholzpotential für die stoffliche Verwendung	24
4 Ergebnisse	26
4.1 Potentielles Laub- und Nadelrohholzangebot	26
4.2 Rohholzangebot und Produktion	28
4.3 Ergebnisse der Holzmarktmodellierung	30
4.3.1 Laubrohholz	31
4.3.2 Laubschnittholz	33
4.3.3 Nadelrohholz	34
4.3.4 Nadelschnittholz	36
4.3.5 Holzwerkstoffe und Furnier	38
4.3.6 Holzschliff und Zellstoff	40
4.3.7 Papier und Pappe	43
5 Diskussion und Zusammenfassung	45
Literaturverzeichnis	49

Datenbanken	50
Anhang	51
1 Szenarienergebnisse	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.3.3:	Charakteristika und Parameter zur Beschreibung von Holzprodukten und ihrem Marktverhalten im GFPM _{CNC}	15
Tabelle 3.1:	Zusammensetzung und Errechnung des Rohholzpotentials als Eingangsdaten der Holzmarktmodellierung am Beispiel des WEHAM-Basisszenario	18
Tabelle 3.2:	Spiegelung potentieller Energieholzbedarfe und -aufkommen aus der Holzverwendungs- und Holzaufkommensmodellierung	23
Tabelle 3.3:	Aus WEHAM resultierendes Derbholz (DH) Erntepotential	25
Tabelle A1:	Produktion	51
Tabelle A2:	Export	55
Tabelle A3:	Import	56
Tabelle A4:	Verbrauch	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Der Materialfluss im globalen Holzmarktmodell GFPM	9
Abbildung 2.2:	Der Materialfluss im globalem Laub- und Nadelholzmarktmodell GFPM _{CNC}	11
Abbildung 4.1a:	Potentielle Holzerntemenge „Nadelholz“ (Efm o.R.)	27
Abbildung 4.1b:	Potentielle Holzerntemenge „Laubholz“ (Efm o.R.)	28
Abbildung 4.2:	Das aus der Kombination von Holzaufkommens- und Verwendungsszenarien resultierende Nadelrohholzpotential in Gegenüberstellung mit der in der Holzmarktmodellierung simulierten Nadelrohholzproduktion für die Szenarien BAS-RES, HPS-FÖR und NPS-RES	29
Abbildung 4.3.1:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Laubrohholz“ (Efm o.R.)	32
Abbildung 4.3.2:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto- Handel von „Laubschnittholz“ (Efm o.R.)	33
Abbildung 4.3.3:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Nadelrohholz“ (Efm o.R.)	35
Abbildung 4.3.4:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Nadelschnittholz“ (Efm o.R.)	37
Abbildung 4.3.5:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Holzwerkstoffe und Furnier“	39
Abbildung 4.3.6a:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Holzschliff“	41
Abbildung 4.3.6b:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Zellstoff“	42
Abbildung 4.3.7:	Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Papier und Pappe“	44

Zusammenfassung

Verschiedene gesellschaftliche und politische Akteure haben unterschiedliche Ansprüche an den Wald. Aus den Ansprüchen der einzelnen Interessengruppen leiten sich verschiedene Handlungsoptionen für die Waldbewirtschaftung ab, welche unterschiedlich auf die kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung des Waldes und auf das Angebot von Laub- und Nadelholz wirken würden. Dies hat auch Folgen für die heimische Holzverarbeitende Industrie. Im Rahmen des durch BMU und BMEL geförderten Verbundforschungsprojektes „WEHAM-Szenarien“ erfolgte eine ganzheitliche und systematische Analyse von Auswirkungen unterschiedlicher Waldbehandlungsmöglichkeiten und Rohholzaufkommen auf die sozio-ökonomische Komponente „Holzmarkt“. Es wurden drei verschiedene Szenarien zu Waldbewirtschaftung und Holzverwendung untersucht. Ziel war es, mögliche Auswirkungen der Entwicklung des potentiellen Aufkommens von Laub- und Nadelrohholz zu quantifizieren und mögliche Rückkopplungseffekte auf den Holzmarkt für den Zeitraum von 2012 bis 2052 zu modellieren.

Das hierfür verwendete globale Holzmarktmodell bildet länderspezifische Angebots-, Nachfrage-, und Preisentwicklungen ab. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Waldbehandlungsszenarien variiert das potentielle inländische Rohholzangebot über die Dauer des Simulationshorizonts. Für die Modellierung des Holzmarktes wurde zunächst das potentiell für eine Nutzung zur Verfügung stehende Laub- und Nadelrohholz aus den Ergebnissen der Waldbehandlungs- und der Holzverwendungsszenarien bestimmt. Diese Mengen waren Ausgangspunkt für die Simulationen der Szenarien. Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Angebots- und Nachfragesituationen von Laubholz und Nadelholz erfolgte eine Weiterentwicklung des Modells. Die Produkte Rohholz und Schnittholz wurden jeweils in die Komponenten Laub und Nadel ausdifferenziert. Die Ergebnisse der Holzmarktmodellierung sind ein Produkt ihrer Modellumgebung und dahinterliegender Annahmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass - wenn nicht durch das WEHAM Rohholzpotential limitiert - sowohl die inländische Nadel- als auch die Laubholzproduktion für eine stoffliche Nutzung bis 2050 steigen würde. Jedoch wurden nicht in allen Szenarien und in jedem Jahr die aus der Holzaukommensmodellierung resultierenden Abschätzungen der verfügbaren Potentiale genutzt. Insbesondere die Nutzung von Laubholzressourcen blieb in zwei Szenarien die Rohholzproduktion, bei bestehenden Nachfrage- und Preismustern, über den Simulationshorizont hinter dem Potential zurück. In allen Szenarien wurde das geerntete Rohholz zu allergrößten Teilen von der inländischen holzverarbeitenden Industrie verwendet. Die Nachfrage nach Nadelrohholz durch die holzverarbeitenden Sektoren überstieg in jedem der drei hier betrachteten Szenarien das heimische Angebot, selbst bei Zunahme der verfügbaren Potentiale. Damit setzte sich der vor rund einer Dekade begonnene Trend steigender Nadelrohholzeinfuhren in den Szenarien – unterschiedlich stark ausgeprägt – fort. Die Rohholzimporte variierten zwischen den Szenarien jedoch stark in Abhängigkeit der simulierten Produktionsvolumina der holzverarbeitenden Sektoren. Die Produktionsleistung der holzverarbeitenden Industrie entwickelte sich je nach inländischer Verfügbarkeit von Rohholz für die stoffliche Nutzung unterschiedlich stark über die betrachteten Dekaden.

Der inländische Verbrauch an holzbasierten Waren war in den drei betrachteten Szenarien trotz deutlicher Unterschiede in der Primärholzproduktion sehr ähnlich. Die steigenden Produktionsleistungen der holzbearbeitenden Industrie führten nicht zu einer steigenden Verwendung von Holzwaren auf Absatzmärkten im Inland, sondern wurden weitestgehend exportiert. In der längerfristigen Perspektive ist es jedoch nicht ausgeschlossen, dass eine steigende inländische Nachfrage nach Holzprodukten in Endverwendungssektoren auch zu einer steigenden Weiterverarbeitung der produzierten Halbwaren in Deutschland führen könnte. Andererseits könnte eine Beschränkung des Rohholzangebots zu nachteiligen sozio-ökonomischen Effekten führen, die eine Reduktion der Produktionsaktivitäten des heimischen holzbearbeitenden Sektors oder eine vermehrte Einfuhr von Rohholz und Holzwaren beinhalten könnte.

Schlüsselwörter: Holzmarkmodellierung, Gleichgewichtsmodell, Politikfolgeabschätzung, WEHAM, Waldentwicklungs- und Holzaufkommensszenarien

Abstract

Different interest groups have different demands and expectations regarding the use of our forests and its resources. Conflicting claims imply various options of action for forest future management. Depending on the forest management scheme, coniferous and non-coniferous wood supply is likely to differ in the short, medium, and long term. Changing wood supply will have consequences for the domestic woodworking industry. Within the framework of the joint research project „WEHAM-Szenarien“ (funded by the BMU and BMEL) a systematic policy impact analysis was undertaken. Within the scope of this study, three different combinations of forest management and wood use scenarios were considered. The objective of the present study was to quantify potential impacts of alternative forest treatment options and timber supply volumes on the wood products markets.

For this purpose, a global wood products market model was applied. The partial equilibrium model simulated supply, demand, and price developments for 180 countries and 16 products. The amount of wood available for wood production under each scenario was derived from the results of the forest management and wood use scenarios. As expected, the wood supply potential substantially differs between the scenarios. The available raw wood was exogenously divided into energetic and material use potentials. It was also crucial to differentiate between coniferous and non-coniferous wood species. The basic distinction of the wood types reveals that the wood-based market may not face an abundance of raw wood in the decades under consideration. Rather, the German woodworking industry might face shortages in domestic raw material availability and may be forced to innovate or trade in order to meet raw material demands.

The modelling results are always a product of the modelling environment and the underlying assumptions. However, our results highlight that both domestic coniferous and non-coniferous roundwood production for material use would increase until 2050 if not limited by the harvesting

potential imposed by the forest management scenario. On the other hand, the raw wood potentials were not always completely used by the market. The production of non-coniferous wood resources lagged behind the potential in two out of three scenarios. Once harvested the major share of raw wood was demanded by the domestic woodworking industry. Independent of the domestic production level, the demand for coniferous wood outstripped the domestic supply in each of the three scenarios considered. Thus, the trend of increasing imports of coniferous imports continued in all scenarios. However, the import volumes varied in dependence of the production capacities in the woodworking sector. Thus shortages in domestic raw wood were mainly offset by a reduction of the production capacities while the output of the woodworking industry increased together with increasing raw wood availability for material use.

Despite significant differences in raw wood production, the domestic consumption of semi-finished wood-based products was similar across three scenarios. However, increasing production outputs of the woodworking industry did not lead to an increasing use of wood products in the domestic markets. The additional production was largely exported. Either way, rising domestic demand for wood products in end-use sectors could also lead to an increase in future demand for semi-finished wood products in Germany. The other way round, limiting the supply of domestic raw wood could imply adverse socio-economic effects, which may include a reduction in the production activities of the domestic woodworking sector or an increase in imports of raw wood and wood products.

Keywords: Global Forest Product Markets, Partial equilibrium model, Wood products market modelling, Forest development and wood supply scenarios, policy impact analysis

*Es ist nicht unsere Aufgabe, die Zukunft vorauszusagen,
sondern auf sie gut vorbereitet zu sein.*

Perikles

1 Einleitung

Verschiedene gesellschaftliche und politische Akteure haben unterschiedliche Ansprüche an den Wald: Minderung und Anpassung an Folgen des Klimawandels, Schutz und Förderung der Natur und ihrer Biodiversität oder auch eine verstärkte Mobilisierung von Holzressourcen und ihre Nutzung. Aus den Ansprüchen der einzelnen Interessengruppen stellt sich somit eine Vielzahl von Handlungsoptionen für die Waldbewirtschaftung dar. Die konkrete Ausgestaltung kann je nach Interessenlage deutlich divergieren und jede alternative Maßnahme der Waldbewirtschaftung wirkt unterschiedlich auf die kurz-, mittel- und langfristige Entwicklung des Waldes. Diese alternativen Maßnahmen der Waldbewirtschaftung beeinflussen somit auch Bereitstellung und Angebot von Laub- und Nadelholz aus dem deutschen Wald. Ein verändertes Rohholzangebot wiederum birgt Implikationen für die inländische Produktion von Holzhalbwaren, zum einen hinsichtlich des heimischen Holzbe- und -verarbeitungsvolumens zum anderen hinsichtlich Art und Umfang des Außenhandels mit Rohholz und Holzprodukten. Die verschiedenen Ansprüche der Gesellschaft an den Wald und die daraus resultierenden Vorstellungen zur (Nicht-) Nutzung seiner Ressourcen erfordern somit möglichst ganzheitliche Ansätze zur Entscheidungsunterstützung hinsichtlich zukünftiger Handlungsoptionen.

Im Rahmen des durch BMU und BMEL geförderten Verbundforschungsprojektes „*WEHAM-Szenarien*“ wurden drei verschiedene Szenarien zur Waldbehandlung (Rock et al. 2016, Oehmichen et al. 2017) untersucht und mögliche Auswirkung auf die Entwicklung der Waldstruktur und des potentiellen Rohholzaufkommens von Laub- und Nadelholz für den Zeitraum von 2012 bis 2052 modelliert. In ihren Hauptverwendungsbereichen sind Laub- und Nadelhölzer aufgrund ihrer unterschiedlichen Produkt- und Verarbeitungseigenschaften zum heutigen Zeitpunkt nur eingeschränkt substituierbar. Der deutsche Forst- und Holzsektor ist in hohem Maße auf die Be- und Verarbeitung von Nadelhölzern ausgerichtet (Jochem et al. 2015). Allerdings sank die inländische Produktion von Nadelholz für die stoffliche Verwendung von 42 Mio. m³ im Jahr 2011 auf 39 Mio. m³ im Jahr 2015 (Jochem et al. 2015). Demgegenüber verzeichnete Deutschland seit 2009 Nettoimporte von industriellem Nadelrundholz, wobei die Einfuhren von 4 Mio. m³ bis auf 8 Mio. m³ im Jahr 2015 anstiegen. Für Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit ist die Verfügbarkeit von Nadelholz demnach ein bestimmender Faktor. Eine geringere Verfügbarkeit kann negative Auswirkungen auf die inländische Holzwirtschaft haben. Was könnte beispielsweise geschehen, wenn die inländische Nachfrage nach Rohholz als Werkstoff das inländische Angebot übersteigt? Würde sich die Wirtschaft dann über den Außenhandel mit Rohholz versorgen (können)? Oder würde die Deckung der inländischen Nachfrage nach Holzwaren substitutiv über den Import von Holzhalbwaren zu Lasten der heimischen holzbearbeitenden Industrie erfolgen? Ziel der Holzmarktmodellierung im Verbundforschungsprojekt „*WEHAM-Szenarien*“ war es, derartige Informationen für Politik, Interessensgruppen und Entscheidungsträger bereitzustellen.

Vor diesem Hintergrund untersuchte die vorliegende Arbeit im Rahmen des Verbundforschungsprojektes „*WEHAM-Szenarien*“ mögliche Rückkopplungseffekte alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien auf dem Holzmarkt. Besonderes Augenmerk lag darauf, mögliche

Folgen einer sich ändernden Verfügbarkeit von Laubholz und Nadelrohholz abzuschätzen. Das Zusammenspiel von Angebot, Nachfrage und Außenhandel im Holzmarkt wurde mit Hilfe einer partiellen Gleichgewichtsmodellierung simuliert und analysiert.

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden das Projekt sowie die „*WEHAM-Szenarien*“ kurz vorgestellt. Im zweiten Kapitel folgt die Erläuterung des hier verwendeten, methodischen Ansatzes. Hierfür wird das Holzmarktmodell GFPM vorgestellt und die Anpassung und Erweiterung des Modells im Rahmen des Projekts erklärt. Kapitel 3 stellt die verwendete Datengrundlage vor. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse präsentiert. Abschließend erfolgen Diskussion und Zusammenfassung.

1.1 Das Verbundforschungsprojekt „*WEHAM-Szenarien*“

Im Rahmen des Verbundforschungsprojekts (siehe Seintsch et al. 2017) wurden alternative Szenarien (Rock et al. 2016, Oehmichen et al. 2017) einer möglichen, zukünftigen Waldbehandlung und eines daraus resultierenden Holzaufkommens entwickelt. Zusätzlich wurden in drei Holzverwendungsszenarien mögliche Entwicklungspfade der Holzverwendung in Endwarenspektoren gezeichnet. Die betrachteten Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien wurden im Gesamtprojekt hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Auswirkungen auf Umwelt, Märkte und Gesellschaft bewertet. Die in dieser Arbeit vorgestellte Holzmarktmodellierung diente im Verbundforschungsprojekt als Methode zur szenarienbasierten Folgeabschätzung möglicher Auswirkungen einer sich wandelnden Primärholzverfügbarkeit auf den Holzmarkt. Mögliche Verschiebungen des Angebots oder der Nachfrage nach Holzwaren und damit verbundene Wechselwirkungen entlang der holzbasierten Wertschöpfungskette wurden untersucht. Die Berechnungen des WEHAM-Modells (Thünen-Institut 2016) setzten hierfür den Rahmen: Das aus den alternativen Waldbehandlungsszenarien resultierende, potenzielle Holzernteaufkommen wurde als maßgebliche, exogene Größe in der Holzmarktmodellierung berücksichtigt. Die Ergebnisse der Holzverwendungsszenarien zur Verwendung von Energieholz wurden ebenfalls mit der Holzmarktmodellierung gekoppelt. Ziel der Holzmarktmodellierung war es auch die Verflechtungen der deutschen Forst- und Holzwirtschaft mit internationalen Holzmärkten aufzuzeigen. Deswegen wurde, neben der inländischen Produktionsleistung und Nachfrage, auch der Außenhandel in Abhängigkeit von Waldbehandlung, Holzaufkommen und Holznutzung in die Analyse einbezogen.

1.2 Die Szenarien

Im Rahmen des Projektes wurden drei Waldbehandlungs- und drei Holzverwendungsszenarien betrachtet (Seintsch et al. 2017). Im Folgenden sollen diese und einige wichtige Charakteristika kurz vorgestellt werden:

- (1) Im **WEHAM-Basisszenario (BAS)** sollten vergangene Erfahrung und zukünftige Erwartung hinsichtlich der Waldbehandlung abgebildet werden. Die Steuerparameter für diese Entwicklung sind durch Bund und Länder gemeinsam erarbeitet worden. Das gesamte Potentielle Rohholzaufkommen bleibt ähnlich dem Level der gegenwärtigen Holznutzung. Allerdings liegt das aggregierte Potenzial der Nadelholzbaumarten dabei bis zu 20 % unter der tatsächlichen Nutzung zwischen 2002 und 2012 während die Potentiale für die Baumartengruppen Buche und Eiche deutlich über der Nutzung (59 % und 97 %) im selben Zeitraum liegen. Lange Produktionszeiten lassen den Wald älter werden und den Vorrat weiter ansteigen (Rock et al. 2016).
- (2) Im **WALD-Holzpräferenzszenario (HPS)** sollte die Produktion des Rohstoffs Holz aus dem heimischen Wald verstärkt werden. Hierfür wurde der Produktionszeitraum für alle Baumarten verkürzt und der Holzvorrat pro Hektar über den Szenarienhorizont abgesenkt. Zur Erhaltung und Förderung der Produktivität wurden Nadelholzbestände zunehmend mit Douglasie verjüngt (Oehmichen et al. 2017).
- (3) Im **WALD-Naturschutzpräferenzszenario (NPS)** sollte gezielt eine Förderung der Biodiversität im Wald stattfinden. Hierfür wurde über den Szenarienhorizont die Baumartenzusammensetzung im Wald der potentiell natürlichen Vegetation angenähert. Der Nadelholzanteil wurde über den Szenarienzeitraum durch eine Verkürzung der Produktionszeiträume der Baumarten Fichte und Kiefer reduziert. Verjüngt wurde mit Baumarten natürlicher Waldgesellschaften, wodurch der Laubholzanteil im Wald gesteigert wurde. Die Umtriebszeiten wurden im Vergleich zu den anderen Szenarien verlängert, was zu einer Erhöhung des Holzvorrates in den Altholzbeständen führte. Zusammen mit einer Ausweitung der Prozessschutzflächen und Nutzungseinschränkungen auf Flächen mit reduziertem Holzaufkommen resultierten diese Eingriffe in einem geringeren Holzaufkommenspotential verglichen mit dem WEHAM-Basisszenario oder dem WALD-Holzpräferenzszenario, insbesondere in Hinblick auf die Laubbaumarten (Oehmichen et al. 2017).
- (4) Im **HOLZ-Referenzszenario (REF)** wurde von einer Steigerung der Holzverwendung zur stofflichen Nutzung ausgegangen. Gleichzeitig ging in diesem Szenario die Holzverwendung für eine energetische Nutzung zurück (Mantau et al. 2017).
- (5) Im **HOLZ-Förderszenario (FÖR)** stieg die Holzverwendung für eine stoffliche Nutzung stark. In diesem Szenario wuchs die Holzverwendung für die energetische Nutzung, wenn auch moderat, ebenfalls an (Mantau et al. 2017).
- (6) Im **HOLZ-Restriktionsszenario (RES)** wurde nur ein leichter Zuwachs der Holzverwendung für eine stoffliche Nutzung modelliert, während die Holzverwendung für eine energetische Nutzung stark sank (Mantau et al. 2017).

Zur Simulation möglicher Folgeabschätzungen wird jeweils ein Waldbehandlungsszenario einem Holzverwendungsszenario gegenübergestellt, so dass sich schließlich drei übergreifende Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien ergeben. Für die folgenden Analysen ergaben sich folgende Kombinationen: **BAS-REF**, **HPS-FÖR** und **NPS-RES**.

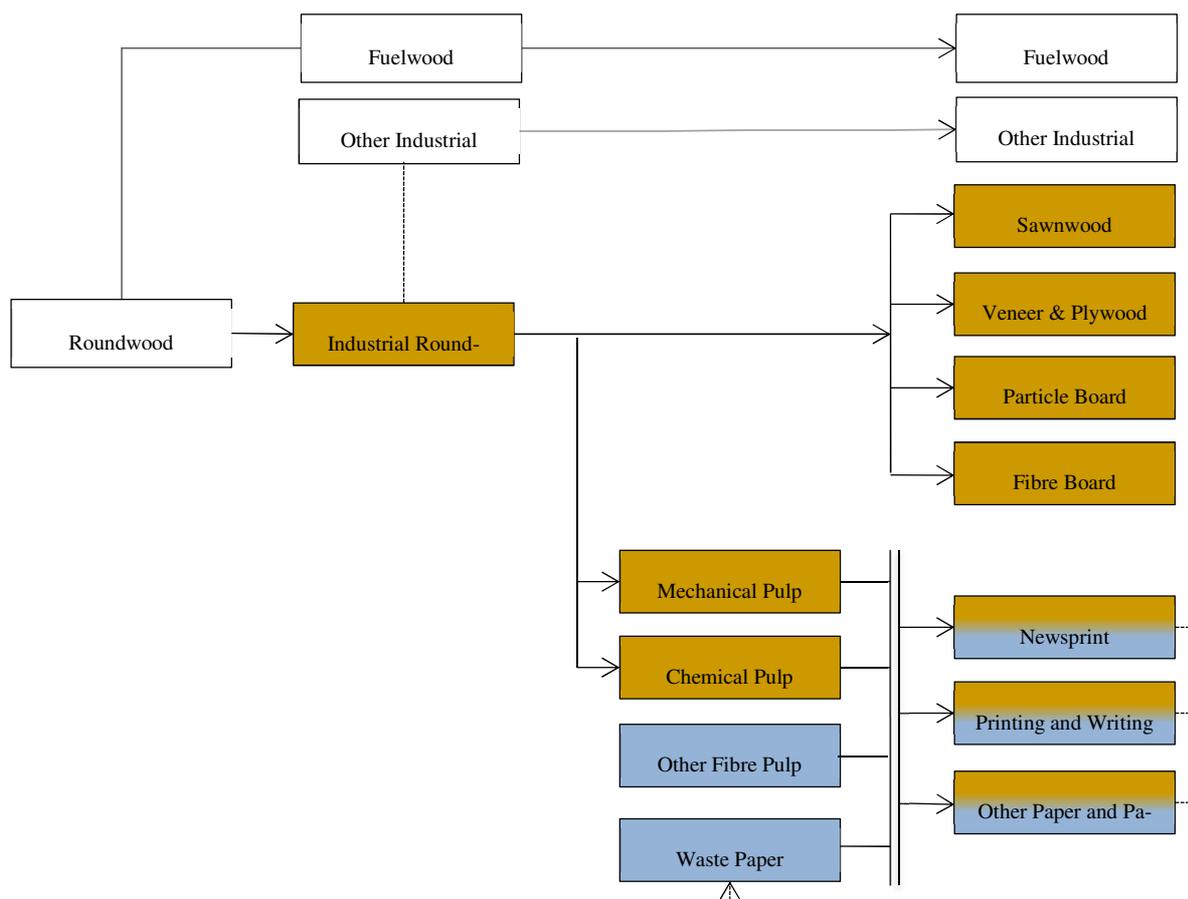
Weiterführende Informationen zu Entstehung und Ergebnissen der Szenarien in Rock et al. (2016) und Rosenkranz et al. (2017a).

2 Methoden

2.1 Das Holzmarktmodell

Das in dieser Arbeit verwendete globale Holzmarktmodell GFPM bildet länderspezifische und überregionale Angebots-, Nachfrage-, und Preisentwicklungen ab. Das Modell hat sich in der Vergangenheit vielfach als Instrument der Politikfolgenabschätzung bewährt (z. B. Buongiorno 2015, van Kooten und Johnston 2014, Nepal et al. 2012) und wurde beispielsweise angewandt, um mögliche Auswirkungen von Handelsbarrieren (Johnston und Buongiorno 2017, Turner et al. 2008), Zahlungen zur Kompensation von Treibhausgasemissionen (Johnston und van Kooten 2016, Buongiorno und Zhu 2013), oder steigender Nachfrage nach Bioenergie (Buongiorno et al. 2011) zu untersuchen.

Abbildung 2.1: Der Materialfluss im globalen Holzmarktmodell GFPM



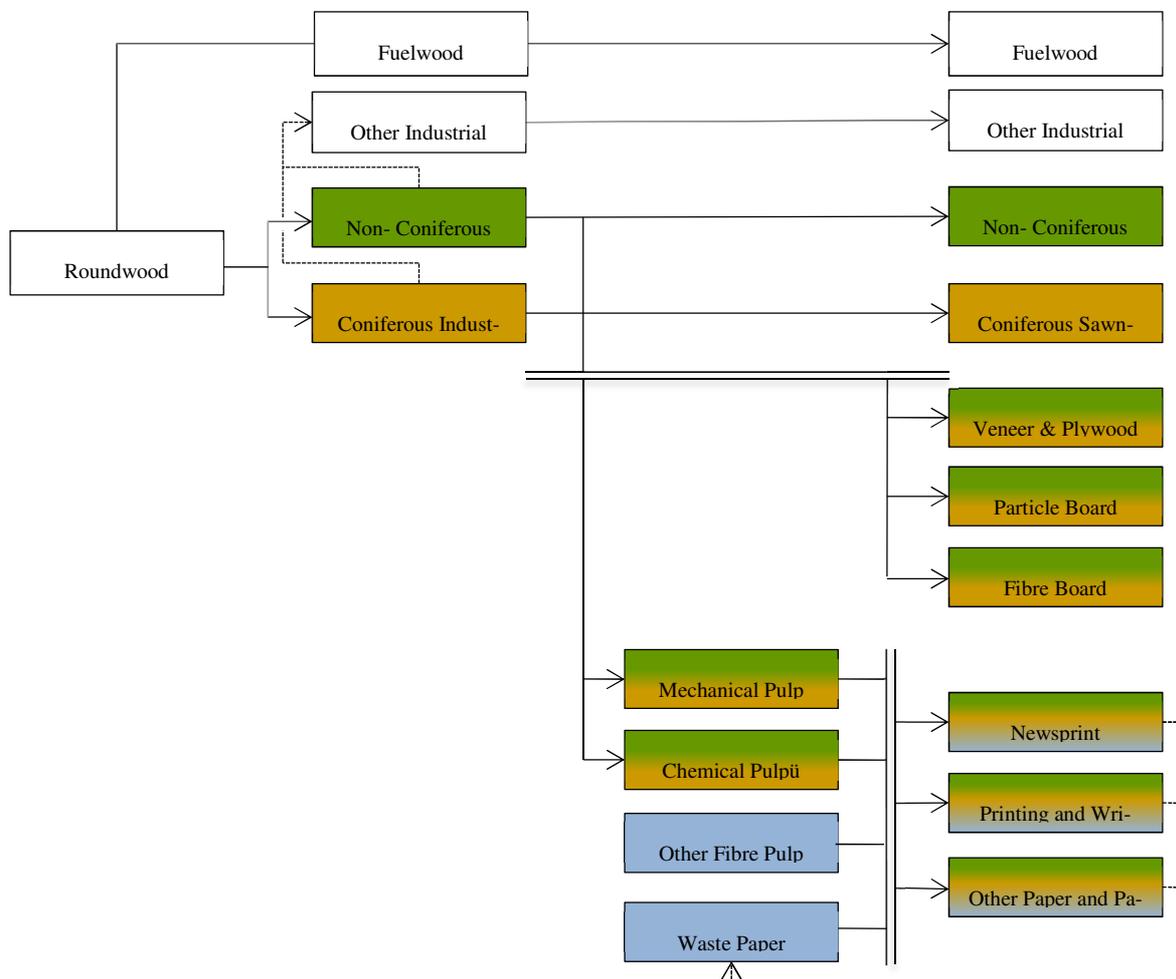
Das GFPM (Buongiorno et al. 2003) ist ein partielles und dynamisches Gleichgewichtsmodell, das die Produktion, den Handel und den Verbrauch von Rohholz und Holzwaren verschiedener Verarbeitungsstufen in 180 Ländern der Erde simuliert. Die Modelstruktur unterscheidet in Roh-, Zwischen- und Endprodukte wie in Abbildung 2.1 dargestellt.

Mit der Szenarienberechnungen kann der Einfluss sich wandelnder, interner oder externer Markteinflüsse auf Produktion, Verbrauch und Handel sowie Preisen von Holzprodukten modelliert und analysiert werden.

2.2 Weiterentwicklung des Holzmarktmodells

Zur sachgerechten Untersuchung der aus dem Verbundforschungsprojekt „WEHAM-Szenarien“ resultierenden Fragestellungen musste das GFPM in seiner Produktstruktur angepasst werden. Das GFPM wie von Buongiorno et al. (2003) beschrieben unterscheidet nicht zwischen Laub- und Nadelholzprodukten in der Bereitstellung, der Verarbeitung oder der Nachfrage nach Holzprodukten. Bedingt durch ihre unterschiedlichen Produkt- und Verarbeitungseigenschaften sind Laub- und Nadelhölzer als Rohstoffe in ihren Hauptverwendungsbereichen jedoch nur eingeschränkt substituierbar. Eine Unterscheidung zwischen diesen beiden Produktgruppen erscheint insbesondere notwendig, wenn die Folgen von Verschiebungen in der Bereitstellung dieser Rohstoffe, bedingt durch alternative Forstpolitiken oder Managementstrategien, auf nationale und internationale Märkte untersucht werden sollen. Zur Analyse dieser projektspezifischen Fragestellungen wurde der Modellrahmen des GFPM daher methodisch erweitert.

In dem weiterentwickelten Modell GFPM_{CNC} wurden Laub- und Nadelrundholz für die stoffliche Nutzung sowie Laub- und Nadelschnittholz in der Modellumgebung ausdifferenziert und als neue Produkte in die Modellumgebung implementiert. Veränderungen der dem Modell zugrundeliegenden Datenstruktur und Kalibrierung erlauben es, dass im GFPM_{CNC} Holzwerkstoffe sowie Holzschliff und Zellstoff aus einem Mix aus Laub- und Nadelrohholz hergestellt werden können. Damit simuliert das GFPM_{CNC} für insgesamt 16 Produkte einen erweiterten Fertigungsprozess in der ersten Verarbeitungsstufe wie in Abbildung 2.2 dargestellt. Sowohl die Bestimmung des gesamten Rohstoffbedarfs zur Fertigung eines Produkts als auch der Anteil von Laub- und Nadelholz im Rohstoffmix (sogenannte Input-Output-Koeffizienten) ist wesentlicher Bestandteil der Modellkalibrierung. Der gesamte Rohstoffbedarf zur Fertigung eines Produktes ist Gegenstand des technologischen Wandels und sinkt oder steigt für Laub- und Nadelholz gleichermaßen. Dieser Wandel wird mit Wachstumsraten über den Szenarienhorizont exogen gesteuert. Die verhältnismäßigen Anteile an Laub- und Nadelholz im Inputmix können sich hierbei verändern.

Abbildung 2.2: Der Materialfluss im globalem Laub- und Nadelholzmarktmodell GFPM_{CNC}

2.3 Neu-Fassung des GFPM_{CNC} für die Holzmarktmodellierung

Mit der Erweiterung der Produktbasis und der Transformationsprozesse im GFPM_{CNC} mussten einzelne Modellkomponenten in der Modellumgebung methodisch angepasst und erneuert werden. Die Modellumgebung des GFPM besteht aus vier aufeinander aufbauenden Komponenten:

- (1) Die Kalibrierung des Holzmarktmodells: Für jedes der 180 betrachteten Länder werden alle benötigten Rohdaten zu Produktion, Handel und Waldentwicklung in das Model eingelesen, aktualisiert und sektorübergreifend harmonisiert. Die Zielprogrammierung als Methode zur Optimierung multikriterieller Entscheidungsprobleme wird genutzt um Inkonsistenzen in der Datenbasis entlang der länderspezifischen Wertschöpfungskette zu minimieren.

- (2) Die Aktualisierung der Quelldatei für die Szenarienmodellierung: Dies ist die Datei, aus der alle Werte, Verhaltensparameter und exogenen Spezifikationen zur Entwicklung des Holzmarktes für die Simulation der Szenarien definiert werden. Neben Ergebnissen der Modellkalibrierung zu Angebots-, Handels- und Nachfragemengen sowie Herstellungs- und Transportkosten und Produktpreisen enthält diese Quelldatei Koeffizienten, die für jedes Land die Input-Output-Verhältnisse der Fertigungsprozesse definieren, Elastizitäten die das Verhalten der Produkte im Markt steuern und ein umfangreiches exogenes Entwicklungsmodell, welches der Entwicklung der Sektoren über den gesamten Szenarienhorizont den Rahmen gibt.
- (3) Die Simulation der Holzmarktszenarien
- (4) Die Ausgabe der Ergebnisse

Modifikationen waren insbesondere für die Neu-Kalibrierung (1) und zur Erstellung der -Quelldatei (2) notwendig. Auf diese Modifikationen soll im Folgenden insbesondere eingegangen werden. Die mittels der Skriptsprache Visual Basic for Applications (VBA) gesteuerten Abläufe und Routinen wurden gemeinsam mit zugehörigen Steuertabellen und Vorlagen an die neue Produktstruktur adaptiert. Erst so wurde das Einlesen und Verarbeiten der erweiterten Rohdaten möglich. Ein neuer Solver zur Optimierung der Eingangsdaten (Zielprogrammierung) wurde implementiert und der analytische Rahmen des Optimierungsproblems neu gefasst. Weitere Erläuterungen hierzu können in Schier et al. (2018) nachgelesen werden.

Die Modell-Komponente zur Simulation der Szenarien (3) blieb unverändert während die ursprünglich Modell-Komponente zur Ausgabe und Aufarbeitung der Simulationsergebnisse (4) gänzlich ersetzt wurde.

2.3.1 Aktualisierung der Datenbasis

Die Eingangsdaten für das Holzmarktmodell GFPM wurden aus drei globalen Datenbanken bezogen: Der Forststatistik der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAOSTAT), aus dem FAO Forest Resources Assessment (FRA) und der Datenbank der Weltbank. Im GFPM_{CNC} wurden die Rohdaten zu Produktion und Außenhandel aller 180 betrachteten Länder auf Basis der FAOSTAT aktualisiert und um Rohdaten zu Nadel- und Laubholz sowie Laub- und Nadelholz erweitert. Für die stofflichen Holzverwender gewann Holz in Form von Plättchen und Schnitzeln als Rohstoff über die letzten Jahre zunehmend an Bedeutung. Der internationale Handel mit Holz in Form von Plättchen und Schnitzeln nahm damit ebenfalls zu. Dabei veränderten die Ein- und Ausfuhr von Holz in Form von Plättchen und Schnitzeln die in einem Land zur Verfügung stehende Holzrohstoffmenge. Im GFPM_{CNC} wurde dieser Entwicklung Rechnung getragen. Um die tatsächliche Rohstoffverfügbarkeit eines Landes möglichst genau zu reproduzieren, wurden in der Re-Kalibrierung des GFPM_{CNC} die Ein- und Ausfuhr von Laub- und Nadelholz in Form von Plättchen und Schnitzeln zum Rohholzpotential addiert (siehe hierzu Schier et al. 2018). Weiter wurden im GFPM_{CNC} für Deutschland die Daten der FAOSTAT zu Produktion von Laub- und Nadelholz

für die stoffliche Nutzung sowie zur Produktion von Energieholz durch nationale Daten aus der aktuellen Einschlagsrückrechnung ersetzt (Jochem et al. 2015). Im GFPM_{CNC} verwendete Daten zu Waldflächen und Bestockung wurden aus dem GFPM übernommen und stammen aus FRA 2010. Die weltweiten Entwicklungsindikatoren zu Bevölkerungs- und Bruttoinlandsprodukt wurden auf Basis der von der Weltbank für das Jahr 2016 veröffentlichten Daten aktualisiert.

2.3.2 Kalibrierung und Optimierung der Modelleingangsdaten

Die Erweiterung der Produktbasis und der Transformationsprozesse gemeinsam mit der Aktualisierung der Datengrundlage erforderte die Re-Kalibrierung des GFPM_{CNC}. Gegenstand und Ziel der Modellkalibrierung war es, die Konsistenz der länderspezifischen Daten über die Sektoren entlang der holzbasierten Wertschöpfungskette zu prüfen, Inkonsistenzen aufzudecken und diese zu korrigieren. Hierfür wurden die Eingangsdaten mit Hilfe einer Solver-basierten Routine zur multivariaten Zielprogrammierung sektorübergreifend optimiert. Der analytische Rahmen und die Routine zur Datenkalibrierung im GFPM_{CNC} wurde im Zuge der hier beschriebenen Arbeit adaptiert und erneuert (Details hierzu siehe Schier et al. 2018).

Hierbei war ein Bestandteil der Modellkalibrierung die Optimierung der produktspezifischen Einsatzmenge an Gesamtrohholz zur Produktion von Holzwaren sowie die Optimierung der Laub- und Nadelholzanteile im Rohstoffmix eines jeden Produktes. Diese Verhältnisse wurden in Form von Input-Output-Koeffizienten definiert. Weitere Bestandteile der Datenoptimierung waren unter anderem die Bestimmung konsistenter Produktionsmengen sowie die Errechnung von Netto-Produktionskosten (hier: alle Fertigungs- und sonstige Kosten ohne Kosten für Rohholz).

2.3.3 Erstellung und Parametrisierung der Szenarien-Quelldatei

Das Basisjahr aller Simulationen war 2012. Die darauffolgenden Simulationsperioden hatten je eine Länge von fünf Jahren. Das Ergebnis der ersten Simulationsperiode wurde für das Jahr 2015 ausgegeben. Darauffolgend wurden die Ergebnisse einer jeden Periode in fünf Jahresschritten bis zum Ende des Projektionszeitraums berichtet.

Nach Abschluss der Kalibrierungsroutine mussten die harmonisierten und aufbereiteten Daten in die Quelldatei für die Simulation der Szenarien überführt werden. Aus dieser Datei zog das Programm alle Informationen für die Simulationen der Szenarien. Diese Quelldatei enthielt Daten und Parameter zu

- Produktion, Handel, Konsum
- Produktpreisen, Herstellungs- und Transportkosten
- Transformations- und Fertigungsprozessen (Input-Output-Verhältnissen)
- Waldfläche und Bestockung im Zeitverlauf

- Verhaltensparameter zu Preis- und Einkommensänderungen (Elastizitäten)
- Sektorale Langzeitentwicklungen

Diese Quelldatei und in ihr enthaltene, für die Simulation von Szenarien relevante, Verhaltensparameter und Steuergrößen wurden im GFPM_{CNC} an die erweiterte Produktstruktur angepasst und auf ihre Eignung hin geprüft. Das GFPM_{CNC} übernahm die exogenen Modell- und Verhaltensparameter, so wie für das GFPM (Buongiorno et al. 2003, Version 2016/03/01) entwickelt. Dies schließt Annahmen über zukünftige Entwicklungen des BIP- und Bevölkerungswachstums, der Waldflächen und Bestockung sowie des technologischen Fortschritts mit folgenden Ausnahmen ein:

- Die Preis- und Einkommenselastizität für Schnittholz sind im GFPM_{CNC} weltweit durch die in Morland et al. (2018) geschätzten Preis- und Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Laub- und Nadel schnittholz ersetzt (siehe Tabelle 2.3.3).
- Für Deutschland wurden auf Basis der neuesten Arbeiten zur Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung in der Holzwerkstoff- sowie Holzschliff- und Zellstoffindustrie (Döring et al. 2017a und 2017b) die Laub- und Nadelholzanteile im Rohstoffmix berechnet und in der Quelldatei berücksichtigt (siehe Tabelle 2.3.3).

Weiter wurde die Plausibilität der für Deutschland definierten, exogenen Entwicklung der Netto-Herstellungskosten (Buongiorno et al. 2003, GFPM Version 2016/03/01) überprüft.

Zu diesem Zweck ist auf der Basis der historischen Entwicklungen von 1992 bis 2014 für alle betrachteten Holzwaren ein linear-regressives Modell angepasst. Hierfür wurden die Eingangsdaten des GFPM_{CNC}, basierend auf einem 5-Jahresdurchschnitt zur Glättung der Rohdaten, für alle Jahre von 1994 bis 2012 re-kalibriert. Statistisch signifikante Modelle zur Erklärung der Entwicklung von Produktionskosten in Deutschland wurden identifiziert und genutzt um die Entwicklung der Produktionskosten für den Szenarienzeitraum fortschreiben zu können. Die aus dieser Trendfortschreibung resultierenden, durchschnittlichen Wachstumsraten wurden mit jenen im exogenen Modell des GFPM definierten Wachstumsraten verglichen. Unterschiede ergaben sich für die Produkte Spanplatte, Holzfasernplatten sowie Holzstoff. Diese Wachstumsraten wurden im exogenen Modell des im GFPM_{CNC} mit den ermittelten Raten aus den oben beschriebenen Schätzungen ersetzt (siehe Tabelle 2.3.3).

Die exogenen Annahmen zur Entwicklung technologischen Wandels im Schnittholzsektor und der Zellstoffindustrie wurden im GFPM_{CNC} ebenfalls angepasst. Anders als im GFPM änderten sich diese im GFPM_{CNC} für Schnittholz weder positiv noch negativ, da Änderungen der Effizienz im Einschnitt für Deutschland nicht abzusehen sind. Weiter wurde angenommen, dass die Zellstoffindustrie von einer aufstrebenden Bioökonomie und dem damit verbundenen Innovationsdruck positiv beeinflusst wird. Eine zukünftig effizientere Nutzung der Rohstoffbasis wurde im GFPM_{CNC} mit einem sinkenden Rohstoffbedarf von 0,7 % im Jahr wiedergespiegelt (siehe Tabelle 2.3.3). Diese Entwicklung glich damit der exogenen Entwicklung skandinavischer Länder und der Vereinigten Staaten von Amerika wie in der GFPM Version 2016/03/01 definiert

Tabelle 2.3.3: Charakteristika und Parameter zur Beschreibung von Holzprodukten und ihrem Marktverhalten im GFP_{CNC} . Fett gedruckte Werte heben vorgenommene Erneuerungen GFP_{CNC} hervor. Der Input-Output-Koeffizient im GFP_{CNC} setzt sich aus einem Inputmix aus Laub- (in kursiv) und Nadelrohholz (in grau) zusammen.

	Basisjahr 2012			Wachstum/Jahr [%]		
	Elastizität		Kosten (\$)	Produkttransformation		
	Preis	Einkommen		I-O-Koeffizient	Kosten	I-O-Koeffizient
Nadelschnittholz	-0.12	0.22	314	1.0500	0.0042	0.0000
Laubschnittholz	-0.30	0.44	120	1.1016	0.0042	0.0000
Furnier und Sperrholzplatte	-0.33	0.72	490	<i>0.7020</i>	0.0199	<i>-0.0065</i>
				0.7980		<i>-0.0065</i>
Spanplatte	-0.51	0.59	211	<i>0.0000</i>	0.0116	<i>-0.0017</i>
				0.9500		<i>-0.0017</i>
Faserplatte	-0.54	0.92	328	<i>0.3404</i>	0.0167	<i>-0.0105</i>
				0.6096		<i>-0.0105</i>
Holzstoff			318	<i>0.0000</i>	0.0159	<i>0.0242</i>
				2.0000		0.0242
Zellstoff			215	<i>0.7799</i>	0.0105	<i>-0.0072</i>
				3.0840		<i>-0.0072</i>

Quelle: Eigene Darstellung

3 Daten

3.1 Rohholzpotential

In Abhängigkeit unterschiedlicher Waldbehandlungsszenarien variierte das potentielle inländische Rohholzangebot in Quantität und Qualität über die Dauer des Simulationshorizonts. Verschiedene Entwicklungspfade der zukünftigen Nachfrage nach Holz und Holzprodukten wurden in alternativen Holzverwendungsszenarien bis zum Jahr 2030 gezeichnet. Für die Holzmarktmodellierung war es in einem ersten Schritt essentiell, die potentiell für eine Nutzung zur Verfügung stehenden Rohholzpotentiale aus den Ergebnissen der Waldbehandlungs- und der Holzverwendungsszenarien als Eingangsgrößen für die Simulation zu bestimmen.

Die Szenarien der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) lieferten hierfür die potentiellen Laub- und Nadelholzerntemengen (EfmD o.R.) Geerntetes Laub- und Nadelrohholz kann stofflich oder energetisch genutzt werden. Die Holzverwendungsszenarien modellierten hierfür die inländische Nachfrage nach Energieholz. Damit definierten die Holzverwendungsszenarien wieviel Holz in einem jedem Szenario für die energetische Feuerung benötigt wurde. Im GFPM_{CNC} wurde darauf basierend a priori für jede Simulationsperiode festgelegt, wieviel des zur Verfügung stehenden Rohholzes energetisch genutzt wurde. Diese Menge wurde vom gesamten Rohholzpotential abgerechnet (siehe 3.2 Holz für die energetische Nutzung und Formel 5 und Tabelle 3.2). Das sich daraus ergebende Rohholzpotential für eine stoffliche Nutzung (siehe 3.3 Holz für die stoffliche Nutzung) floss über exogene Steuergrößen in das GFPM_{CNC} ein.

Die aus „WEHAM-Szenarien“ resultierenden Daten unterlagen nationalen Definitionen und Produktdimensionen, während die dem GFPM_{CNC} zugrundeliegenden Daten und Produkte auf internationalen Standards der FAO basierten. Die Kompatibilität der Modelle musste mit Hilfe eines methodischen Verfahrens zur Datenaufbereitung hergestellt werden. Konkret bedeutete dies, dass die aus den „WEHAM-Szenarien“ resultierenden Daten mit in einer dazu entwickelten Methode erweitert und ergänzt wurden, bevor sie in das GFPM_{CNC} übertragen und für die Holzmarktmodellierung genutzt werden konnten. Hierfür mussten die potentiell verfügbaren Laub- und Nadelholzerntemengen (EfmD o.R.) um eine nutzbare Menge Nichtderbholzes erweitert werden. Die zur Aufrechterhaltung eines gewünschten Totholzvolumens im Wald erforderlichen Holzmengen (Oehmichen et al. 2017) wurden in der Herleitung des für eine Nutzung zur Verfügung stehen Rohholzpotentials ebenfalls berücksichtigt. Die Herleitung des gesamten Rohholzpotentials entsprechend der Definition der FAO (2014), sowie die Herleitung der stofflich und energetisch nutzbaren Rohholzanteile sollen im Folgenden schrittweise erläutert werden.

Das gesamte Rohholzpotalential errechnete sich in dieser Studie als

$$RH = \left(\sum_{\forall l} (1 - th_l) DH_l + \sum_{\forall n} (1 - th_n) DH_n \right) + \left(\sum_{\forall l} (1 - th_l) NvD_l + \sum_{\forall n} (1 - th_n) NvD_n \right) + NDH \quad [1]$$

Wobei RH für die potentielle Rohholzentnahme [m^3] nach der Definition der FAO (2014), l und n für Laub- und Nadelholzarten¹, DH für verwertbare Derbholzsortimente [m^3], NvD für Nicht-verwertbare Derbholzsortimente [m^3] und NDH für entnommenes Nichtderbholz [m^3] stand. th bezog sich auf einen Totholzfaktor: Für jedes Szenario wurde eine baumartengruppenspezifische Holzmenge errechnet, die zum Aufbau und Erhalt des angestrebten Totholzvolumens nach der Holzernte im Wald verbleiben muss (Oehmichen et al. 2017). Zur Errechnung des nutzbaren Rohholzpotalentials wurden diese Totholznachlieferungsraten berücksichtigt: In der vorliegenden Arbeit waren th_l und th_n nach Menge des Holzaufkommens in Holzartengruppen gewichtete Faktoren. Der Totholzfaktor für Laubholz (th_l) betrug durchschnittlich 7 %, 5 % und 28 % im Wald-Basis-, Wald-Holzpräferenz- und Wald-Naturschutzpräferenzszenario. Der Totholzfaktor für Nadelholz (th_n) betrug durchschnittlich 6 %, 3 % und 13 % im Wald-Basis-, Wald-Holzpräferenz- und Wald-Naturschutzpräferenzszenario (Tabelle 3.1).

In der vorliegenden Arbeit wurde in einer jeden Periode eine Komplettnutzung des NvD angenommen. Entsprechende Rückmeldung aus der Praxis bestätigten, dass Holz, welches in WEHAM als „nicht verwertbar“ sortiert wurde (z. B. in die nach alten Tarifen benannten Sorten X-Holz und U-Holz), zur Gänze verwendet werden könne. Um dem hier zugrundeliegenden Potenzialansatz gerecht zu werden, wurde daher eine Nutzungsrate von 100 % angesetzt. Es wurde jedoch weiter angenommen, dass NvD nur für die energetische Nutzung eingesetzt wird.

Die Abschätzgrößen für die potentiell zur Verfügung stehenden Holzerntemengen aus der WEHAM (Holzaufkommen) wurden in Derbholz EfmD o.R. abzgl. Ernteverlusten und Rinde ausgegeben, schlossen aber Nichtderbholz (weder genutzt noch ungenutzt) nicht ein. Damit sich die Datenausgabe der Holzaufkommensmodellierung mit den definitorischen Dimensionen der FAO deckt und somit in das GFPM übertragen werden konnte, war der Aufschlag einer zu berechnenden Menge entnommenen Nichtderbholzes (NDH) auf die Holzerntemenge Derbholz notwendig. Die Herleitung des Nichtderbholzaufkommens in Abhängigkeit der potentiellen Holzerntemengen erfolgte nach dem untenstehenden, methodischen Vorgehen:

¹ Holzartengruppen entsprechend der BWI (2017)

Tabelle 3.1: Zusammensetzung und Errechnung des Rohholzpotentials als Eingangsdaten der Holzmarktmodellierung am Beispiel des WEHAM-Basisszenario. Im oberen Teil der Tabelle sind Rohdaten und Informationen, die zur Herleitung der potentiellen Rohholzentnahmemengen als Modelleingangsdaten benötigt werden, zusammengefasst. Im unteren Teil der Tabelle sind die Ergebnisse hinsichtlich potentieller Rohholzerntemengen dargestellt.

	Faktor	Jahr	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Rohdaten und Informationen	Rohholzpotential (Nadel), verwertbar ¹	[Mio m ³ /a]	47,44	47,46	43,18	44,44	44,73	45,13	45,12	47,84
	Rohholzpotential (Laub), verwertbar ²	[Mio m ³ /a]	29,16	27,35	22,98	24,16	23,41	23,35	23,48	23,38
	Rohholzpotential (Nadel), nicht-verwertbar ³	[Mio m ³ /a]	4,40	4,04	3,63	3,62	3,62	3,68	3,66	3,82
	Rohholzpotential (Laub), nicht-verwertbar ⁴	[Mio m ³ /a]	4,76	3,96	3,27	3,43	3,26	3,36	3,38	3,39
	Totholzfaktor Nadelholz ⁵	[%]	5,86	5,92	5,90	5,85	5,84	5,82	5,83	5,80
	Totholzfaktor Laubholz ⁶	[%]	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	Nichtderbholzaufkommen (Nadel) ⁷	[Mio m ³ /a]	8,23	7,31	6,54	6,52	6,44	6,57	6,74	7,25
	Nichtderbholzaufkommen (Laub) ⁸	[Mio m ³ /a]	8,79	7,29	6,03	6,27	5,94	6,02	6,05	5,93
	Nutzungsfaktor Nichtderbholz (Nadel) ⁹	[%]	18,96	18,96	18,96	18,96	18,96	18,96	18,96	18,96
	Nutzungsfaktor Nichtderbholz (Laub) ¹⁰	[%]	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56	48,56
Ergebnis Modelldaten	Potentielle Rohholzentnahme (Nadel), verwertbar	[Mio m ³ /a]	44,66	44,65	40,63	41,84	42,12	42,50	42,49	45,07
	Potentielle Rohholzentnahme (Laub), verwertbar	[Mio m ³ /a]	27,12	25,44	21,37	22,47	21,77	21,72	21,83	21,74
	Potentielle Rohholzentnahme (Nadel), nicht-verwertbar	[Mio m ³ /a]	4,14	3,80	3,41	3,40	3,41	3,47	3,45	3,60
	Potentielle Rohholzentnahme (Laub), nicht-verwertbar	[Mio m ³ /a]	4,42	3,68	3,04	3,19	3,04	3,13	3,14	3,16
	Potentielle Nichtderbholzentnahme (Nadel)	[Mio m ³ /a]	1,56	1,39	1,24	1,24	1,22	1,25	1,28	1,37
	Potentielle Nichtderbholzentnahme (Laub)	[Mio m ³ /a]	4,27	3,54	2,93	3,05	2,89	2,92	2,94	2,88
	Potentielle Waldrestholzentnahme	[Mio m³/a]	14,39	12,40	10,62	10,87	10,55	10,76	10,80	11,01
	Potentielle nutzbare Rohholzmenge	[Mio m³/a]	86,17	82,49	72,62	75,19	74,44	74,98	75,13	77,82

1	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012)	errechnet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Mittenstärke-Sortierung und Baumartengruppe (Fichte, Kiefer) je Projektionsperiode
2	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012)	errechnet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Mittenstärke-Sortierung und Baumartengruppe (Buche, Eiche) je Projektionsperiode
3	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012)	errechnet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Mittenstärke-Sortierung und Baumartengruppe (Fichte, Kiefer) je Projektionsperiode
4	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012)	errechnet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Mittenstärke-Sortierung und Baumartengruppe (Buche, Eiche) je Projektionsperiode
5	Oehmichen et al. 2017, Kroihner und Oehmichen 2010	errechnet aus Baumartenspezifische Totholznachlieferungsraten zur Erreichung eines Zielvorrats als mengengewichtetes Mittel über Fichte und Kiefer
6	Oehmichen et al. 2017, Kroihner und Oehmichen 2011	errechnet aus Baumartenspezifische Totholznachlieferungsraten zur Erreichung eines Zielvorrats als mengengewichtetes Mittel über Buche und Eiche
7	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012), Dieter et al. 2001, Kramer und Krüger 1981; Jochem et al. 2016	Reisholzaufkommen Nadelholz in Abhängigkeit des Derbholzaufkommens Nadelholz über alle Baumartengruppen und Altersklassen hergeleitet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Baumaltersklasse und Baumartengruppe je Projektionsperiode, Prozentuale Anteile Derbholz und Reisholz an der oberirdischen Biomasse je Baumart und Altersklasse nach Kramer und Krüger 1981 S.34, bereinigt um Rindenanteil, Rindenanteil aus Jochem et al. 2015
8	Thünen-Institut 2014 (BWI 2012); Thünen-Institut 2016 (WEHAM 2012), Dieter et al. 2001, Kramer und Krüger 1981; Jochem et al. 2016	Reisholzaufkommen Nadelholz in Abhängigkeit des Derbholzaufkommens Nadelholz über alle Baumartengruppen und Altersklassen hergeleitet aus projizierter Vorrat (Efm o.R.) des Rohholzpotenzials [1000 m ³ /a] nach Baumaltersklasse und Baumartengruppe je Projektionsperiode, Prozentuale Anteile Derbholz und Reisholz an der oberirdischen Biomasse je Baumart und Altersklasse nach Kramer und Krüger 1981 S.34, bereinigt um Rindenanteil, Rindenanteil aus Jochem et al. 2015
9	Jochem et al. 2015	errechnet aus den Daten der Einschlagsrückrechnung zu Verwendungsmengen von Derbholz und Nicht-Derbholz, Mittel 2002-2012)
10	Jochem et al. 2015	errechnet aus den Daten der Einschlagsrückrechnung zu Verwendungsmengen von Derbholz und Nicht-Derbholz, Mittel 2002-2012)

Kramer und Krüger (1981) definierten für jede Baumartengruppe und Altersklasse die prozentualen Anteile von Derbholz [m.R.] und Reisholz [m.R.] (letzteres wird in der vorliegenden Studie als Nichtderbholz bezeichnet) an der oberirdischen Biomasse. Unter der Annahme, dass dieses Verhältnis von Derbholz zu Nichtderbholz [m.R.] gleichermaßen für Derb- zu Nichtderbholz ohne Rinde [o.R.] zutrifft, wurden die durch Kramer und Krüger (1981) definierten Anteile zur Errechnung des anfallenden Nichtderbholzes [o.R.] genutzt (Formeln [3] und [4]). Nach Bestimmung des gesamten anfallenden Nichtderbholzes in Abhängigkeit des Derbholzaufkommens [EfmD o.R.] musste für diese Studie jene Holzmenge bestimmt werden, die für die (energetische) Nutzung aus dem Wald entnommen wurde. Hier gab die „Einschlagsrückrechnung (ESRR)“ nach Jochem et al. (2015) Aufschluss über jährlich genutzte Mengen von Nichtderbholz im Verhältnis zum genutzten Derbholzaufkommen EfmD o.R. Das bedeutet, aus den Daten der ESRR konnte die Menge an genutztem Derbholz (DH) und die Menge des insgesamt genutzten Holzes (RH) ermittelt werden. Basierend auf der Menge des Nichtderbholzaufkommens und den Informationen zur Nutzung von Nichtderbholz, wie es sich aus den Daten von Jochem et al. (2015) ergibt, konnte abschließend der prozentuale Nutzungsanteil am Nichtderbholz im Verhältnis zum gesamten Nichtderbholzaufkommens berechnet werden, hier bezeichnet als r_L und r_N (Formel [2] und Erläuterungen).

Formal wurde das für eine Nutzung entnommene NDH berechnet als

$$NDH = (1 - b)r_L NDH_L + (1 - b)r_N NDH_N \quad [2]$$

wobei b ein Maß für den Rindenanteil an der Biomasse war², r_N und r_L den Anteil des Nichtderbholzes am Gesamtaufkommen [m³] definierte, welches tatsächlich für die weitere Nutzung aus dem Wald entnommen wurde³, und NDH_N und NDH_L für das gesamte Laub- und Nadel-Nichtderbholzpotential [m³] in Abhängigkeit zur Erntemenge Derbholz [m³] standen.

NDH_N und NDH_L wurden wie folgt berechnet:

$$NDH_L = \sum_{\forall k} \sum_{\forall l} \frac{DH_{kl}}{d_{kl}} h_{kl} \quad [3]$$

$$NDH_N = \sum_{\forall k} \sum_{\forall n} \frac{DH_{kn}}{d_{kn}} h_{kn} \quad [4]$$

Wobei k die Baumaltersklasse⁴, d den Anteil an Derbholz in einer Baumaltersklasse⁵, und h den Anteil an Nichtderbholz in jener Baumaltersklasse⁶ spezifizierten.

² Hier 0.736, basierend auf Mantau (2012)

³ Hier $r_N = 0.190$ and $r_L = 0.486$, basierend auf Jochem et al. (2015) mittlere Wachstumsrate zwischen 2002 und 2013

⁴ Baumaltersklassen entsprechend der BWI (Thünen-Institut 2014)

⁵ Methode beschrieben in Kramer und Krüger (1981) und angewendet in Dieter und Englert (2001)

⁶ Methode beschrieben in Kramer und Krüger (1981) und angewendet in Dieter und Englert (2001)

Die historische Nutzungsrate des NDH im Verhältnis zum Gesamtaufkommen wie aus der Arbeit von Jochem et al. (2015) für den Zeitraum von 2002 bis 2012 abgeleitet lag für Nadelholz bei rund 19 % und für Laubholz bei rund 49 %.

3.2 Rohholzpotential für die energetische Verwendung

Realisierte Holzerntepotentiale, das heißt geerntetes Laub- und Nadelrohholz, konnten entweder energetisch oder stofflich verwertet werden. Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung machte zur Verwendung der Holzpotenziale keine expliziten Angaben. Für die vorliegende Arbeit wurde wie oben erläutert eine methodische Zuteilung des Holzpotentials für die energetische und stoffliche Nutzung unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Holzverwendungsszenarien vorgenommen. Die verfügbare Menge an Energieholz definierte sich nach diesem Vorgehen dann wie folgt:

$$EH = DH_L^e + DH_N^e + \left(\sum_{\forall l} NvD_l + \sum_{\forall n} NvD \right) + NDH \quad [5]$$

wobei EH für das Gesamtpotential an Energieholz aus dem Wald stand und DH_L^e und DH_N^e die für eine energetische Nutzung vorgesehenen Mengen an Laub- und Nadelholz [m^3] entsprachen, wie aus den Holzverwendungsszenarien resultierten (Mantau et al. 2017). Es galt die Nebenbedingung

$$DH_L^e, DH_N^e \leq (1 - th_l)DH_l, (1 - th_n)DH_n$$

Die in den Holzverwendungsszenarien modellierte Nachfrage nach verschiedenen Energieholzsortimenten wurde in Tabelle 4.1 dem Rohholzpotential, wie es sich aus den Holzaufkommensszenarien herleitet, gegenübergestellt. Es ist zu beachten, dass – wann immer es das in den Holzaufkommensszenarien modellierte Derbholzaufkommen zuließ – die als Energieholz genutzte Menge an Derbholz durch die Nachfrage der Holzverwendungsszenarien bestimmt wurde. Das für eine energetische Nutzung vorgesehene Derbholz stand somit nicht mehr für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung (siehe auch Formel 6 und Formel 7). War das in den Holzaufkommensszenarien errechnete Derbholzaufkommen geringer als die in den Holzverwendungsszenarien definierte Nachfrage, so begrenzte das Derbholzaufkommen der Holzaufkommensszenarien die maximale Menge an Energieholz, die für die energetische Nachfrage und Nutzung zur Verfügung stand (siehe beispielsweise Tabelle 4.1 WEHAM NPS – Holz RES, rot hervorgehoben). Neben Derbholz wurde auch Waldrestholz energetisch genutzt. Das Aufkommen an Waldrestholz für die energetische Verwendung setzte sich rechnerisch zusammen aus nicht-verwertbarem Derbholz (NvD) und Nichtderbholz (NDH). Das Aufkommen an nicht-verwertbarem Derbholz und Nichtderbholz hing von dem unterstellten Bewirtschaftungssystem und der Ernteintensität der „WEHAM-Szenarien“ ab. Oben beschriebene Restriktion galt auch für das gesamte Energieholz: War die Nachfrage nach Energieholz

(Derbholz und Waldrestholz) größer als das Entnahmepotential, wurde die inländisch maximal lieferbare Menge durch das Entnahmepotential begrenzt.

Das potentielle Aufkommen und die Entnahme von nicht-verwertbarem Derbholz wurde wie in den Formeln [2-4] beschrieben errechnet. Der Bedarf an Waldrestholz und Derbholz für die energetische Verwendung wurde demgegenüber in den einzelnen Holzverwendungsszenarien bis zum Jahr 2030 definiert (Mantau et al. 2017). Diese Mengen wurden zum Zweck der Holzmarktmodellierung bis 2050 konstant fortgeschrieben.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse in Tabelle 3.2 zeigt, dass lediglich in der Szenarienkombination BAS-REF das aus dem Wald bereitgestellte Holzpotential die gezeichnete Nachfrage decken würde. Im HPS-FÖR fiel in Abhängigkeit des Derbholzaufkommens zu wenig Waldrestholz an. In diesem Szenario müsste die historische Nutzungsrate des Nichtderbholzes erhöht werden, um den angestrebten Bedarf an Waldrestholz zu decken. Eine andere Möglichkeit wäre, dass mehr Laubderbholz, welches für die stoffliche Nutzung geeignet wäre, der energetischen Feuerung zuzuführen, da dies die weitreichenden Potentiale zuließen. Im NPS-RES wären diese beiden Optionen keine gangbaren Lösungen. Durch die in diesem Szenario zugrunde gelegten Waldbehandlungsstrategien war das potentielle Derbholzaufkommen bereits begrenzt. Dies implizierte auch ein vermindertes Aufkommen an Waldrestholz. In der Folge konnte hier weder die Derb- noch die Waldrestholznachfrage für die energetische Feuerung gedeckt werden. In diesem Szenario müssten Holzressourcen für die energetische Verwertung zunehmend importiert oder die Nutzung von Holz zur Energiegewinnung deutlich vermindert werden, damit Angebot- und Nachfragemenge übereinkämen.

Tabelle 3.2: Spiegelung potentieller Energieholzbedarfe und -aufkommen aus der Holzverwendungs- und Holzaufkommensmodellierung (in grün und blauer Schrift). In roter Schrift sind Abweichungen zwischen den aus der Holzaufkommensmodellierung resultierenden Angebotsmengen und der aus der Holzverwendungsmodellierung resultierenden Nachfragemengen (**Angebot < Nachfrage**) markiert.

			2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
WEHAM BAS	DH Energie NH	[Mio m ³ /a]	8,27	8,96	9,40	9,47	9,47	9,47	9,47	9,47
	DH Energie LH		12,21	12,83	13,18	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
	DH Energie		20,49	21,79	22,58	22,62	22,62	22,62	22,62	22,62
	Waldrestholz		14,39	12,40	10,62	10,87	10,55	10,76	10,80	11,01
	Energieholz Aufkommen		34,88	34,19	33,20	33,49	33,17	33,38	33,43	33,63
Holz REF	Energieholz Verwendung		31,14	32,94	32,98	31,83	31,83	31,83	31,83	31,83
	Waldrestholz		10,65	11,15	10,40	9,21	9,21	9,21	9,21	9,21
	DH Energie		20,49	21,79	22,58	22,62	22,62	22,62	22,62	22,62
	DH Energie LH		12,21	12,83	13,18	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
	DH Energie NH		8,27	8,96	9,40	9,47	9,47	9,47	9,47	9,47
WEHAM HPS	DH Energie NH	[Mio m ³ /a]	8,23	8,87	9,41	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58
	DH Energie LH		12,13	12,66	13,09	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21
	DH Energie		20,36	21,54	22,48	22,79	22,79	22,79	22,79	22,79
	Waldrestholz		9,75	9,29	9,09	9,82	9,01	9,45	9,19	9,25
	Energieholz Aufkommen		30,12	30,83	31,59	32,61	31,80	32,24	31,98	32,04
Holz FÖR	Energieholz Verwendung		30,96	32,92	34,51	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
	Waldrestholz		10,61	11,38	12,01	12,21	12,21	12,21	12,21	12,21
	DH Energie		20,36	21,54	22,50	22,79	22,79	22,79	22,79	22,79
	DH Energie LH		12,13	12,66	13,09	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21
	DH Energie NH		8,23	8,87	9,41	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58
WEHAM NPS	DH Energie NH	[Mio m ³ /a]	8,29	8,73	8,43	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	DH Energie LH		12,26	12,24	11,03	11,14	11,41	11,60	12,01	12,11
	DH Energie		20,553	20,96	19,50	19,13	19,41	19,60	20,01	20,11
	Waldrestholz		5,793	5,92	5,31	5,17	3,17	5,12	5,01	4,98
	Energieholz Aufkommen		26,35	26,89	24,81	24,30	22,58	24,72	25,02	25,08
Holz RES	Energieholz Verwendung		31,21	32,15	29,65	27,32	27,32	27,32	27,32	27,32
	Waldrestholz		10,66	10,69	8,66	7,22	7,22	7,22	7,22	7,22
	DH Energie		20,55	21,46	20,99	20,11	20,11	20,11	20,11	20,11
	DH Energie LH		12,26	12,73	12,52	12,11	12,11	12,11	12,11	12,11
	DH Energie NH		8,29	8,73	8,47	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

3.3 Rohholzpotential für die stoffliche Verwendung

Nach Errechnung des gesamten Rohholzpotentials (Kapitel 3.1) wurde zur Errechnung des Rohholzpotentials für eine stoffliche Verwendung der energetisch genutzte Teil des Rohholzes (Kapitel 3.2) sowie die zur Aufrechterhaltung des Totholzvolumens erforderlichen Rohholzmengen (Oehmichen et al. 2017) vom Gesamtrohholzpotenzial subtrahiert. Die so errechnete Rohholzmenge entsprach dem Laub- und Nadelrohholzpotential (EfmD o.R.) welches in einer jeder Simulationsperiode maximal für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung stand (siehe Tabelle 3.3). Das Laub- und Nadelrohholzpotential, das in einer Simulationsperiode nicht durch den Markt abgeschöpft wurde, und somit nicht aus dem Wald entnommen wurde, stand in den darauffolgenden Simulationsperioden in Form eines stehenden Lagers als zusätzlich nutzbares Potential erneut zur Verfügung. Nicht genutztes Rohholzpotential einer Periode erhöhte damit die potentielle Rohholzmenge der Folgeperiode (siehe Abbildung 4.2).

Szenarien- und baumartenspezifische Totholznachlieferungsraten, die für Aufbau und Erhaltung des angestrebten Totholzvolumens nach der Ernte im Wald verbleiben sollten (Oehmichen et al. 2017), wurden errechnet (siehe auch Formel [1] und Erläuterungen). Das potentielle Ernteaufkommen für die stoffliche Holzproduktion wurde unter Berücksichtigung der Energieholz- und Totholzbedarfe formal errechnet als:

$$DH_L^m = \sum_{\forall l} DH_l - DH_L^e - th_l \quad [6]$$

$$DH_N^m = \sum_{\forall n} DH_n - DH_N^e - th_n \quad [7]$$

Wobei DH_L^m und DH_N^m das für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung stehende Laub- und Nadelrohholzpotential [m^3], DH_l und DH_n das gesamte Laub- und Nadelrohholzpotential [m^3] und DH_L^e und DH_N^e das für eine energetische Nutzung vorgesehene Laub- und Nadelrohholz [m^3] standen, und l dem Laubholz zugeordnete Baumarten⁷, n dem Nadelholz zugeordnete Baumarten und th_l und th_n die nadel- und laubholzspezifische Totholzabzugsraten waren (errechnet nach Oehmichen et al. 2017).

⁷ Holzartengruppen entsprechend der BWI (2017)

Tabelle 3.3: Aus WEHAM resultierendes Derbholz (DH) Erntepotential (Efm o.R.). Das gesamte Potential ist hier in energetisch (blau) und stofflich (grün) zur Verfügung stehende Nutzmengen unterteilt.

		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BAS-REF	DH Potential (Nadel)	44,66	44,65	40,63	41,84	42,12	42,50	42,49	45,07
	DH Potential (Laub)	27,12	25,44	21,37	22,47	21,77	21,72	21,83	21,74
	DH energie (Nadel)	8,27	8,96	9,40	9,47	9,47	9,47	9,47	9,47
	DH energie (Laub)	12,21	12,83	13,18	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
	DH stofflich (Nadel)	36,38	35,69	31,23	32,37	32,65	33,03	33,03	35,60
	DH stoffliche (Laub)	14,91	12,61	8,19	9,32	8,62	8,56	8,68	8,58
HPS-FÖR	DH Potential (Nadel)	62,52	67,44	66,56	70,99	61,14	59,96	54,11	53,50
	DH Potential (Laub)	41,97	41,04	38,06	37,21	30,39	29,48	26,15	25,24
	DH energie (Nadel)	8,23	8,87	9,41	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58
	DH energie (Laub)	12,13	12,66	13,09	13,21	13,21	13,21	13,21	13,21
	DH stofflich (Nadel)	54,29	58,57	57,16	61,41	51,56	50,38	44,53	43,92
	DH stoffliche (Laub)	29,84	28,37	24,97	24,01	17,18	16,27	12,94	12,03
NPS-RES	DH Potential (Nadel)	40,88	49,63	45,88	43,85	44,34	42,65	41,02	39,21
	DH Potential (Laub)	13,68	12,24	11,03	11,14	11,41	11,60	12,01	12,81
	DH energie (Nadel)	8,29	8,73	8,47	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	DH energie (Laub)	12,26	12,26	12,73	12,52	12,11	12,11	12,11	12,11
	DH stofflich (Nadel)	32,59	40,91	37,41	35,85	36,35	34,65	33,03	31,21
	DH stoffliche (Laub)	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70

Efm o.R. in Mio m³ / Jahr

4 Ergebnisse

Bei der Betrachtung, Analyse und Interpretation der aus der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) resultierenden Ergebnisse war es wichtig, sich stets des Potentialcharakters bewusst zu sein. WEHAM errechnete eine potentiell mögliche, jährliche Holzerntemenge einer Simulationsperiode. Das bedeutete nicht, dass die im Wald zur Verfügung gestellten Mengen durch den Markt abgeschöpft werden können oder müssen. So würden beispielsweise höchstwahrscheinlich zwischen 2015 und 2020 nicht 10 Mio. m³ Laubholz im Jahr geerntet werden, nur weil sie nach Modellvorgaben in WEHAM als potentielle und maximal mögliche Erntemenge ausgewiesen wurden - schlicht weil eine solche Nachfrage nicht zu erwarten wäre. Der Potentialansatz der WEHAM sagte also, „was“ geerntet werden könnte und nicht „wieviel“ geerntet werden würde. Analysen, die eine unreflektierte Vollnutzung des Potentials in einer festgesetzten Periode für die weiterführenden Analysen von Effekten annahmen, leiteten zu irreführenden Ergebnissen und Zukunftsbildern. In der Holzmarktmodellierung wurde dieser Schwierigkeit methodisch begegnet, indem die Nutzung von der modellierten Nachfrage abhing und, darüber hinaus, ein stehendes Lager im Wald eingeführt wurde.

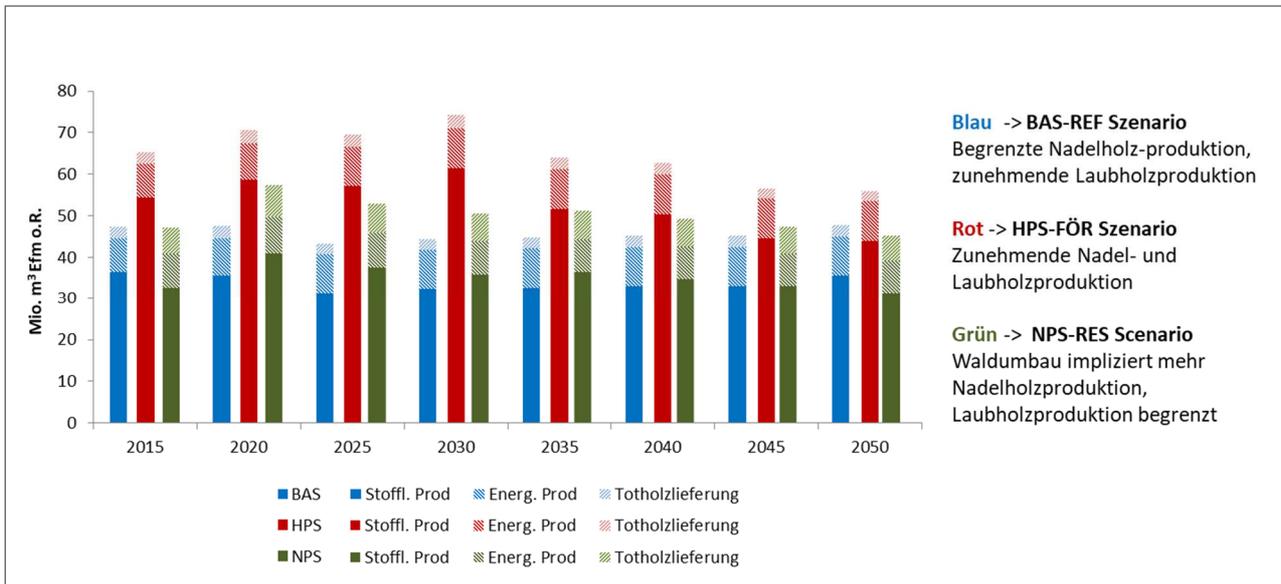
Weiter war es wichtig zu bedenken, dass die einfache Betrachtung eines gesamtverfügbaren Rohholzpotentials – ohne die Differenzierung in Laub- und Nadelholzressourcen vorzunehmen – ebenfalls die Gefahr von irreführenden Ergebnissen in sich bergen würde. Vor allem kurz- und mittelfristig wären nur Teile des Gesamtpotentials der variierenden Laub- und Nadelholzpotentiale marktrelevant und verwertbar. Erst eine Unterscheidung der Ressourcen konnte zeigen, dass der Markt sich in den nächsten Dekaden unter Umständen keinem Überfluss an Rohholz gegenüber sieht. Vielmehr konnte deutlich werden, dass der nationale Holzmarkt durch mögliche Rohstoffrestriktionen zu Innovationen oder Handel gezwungen sein würde.

4.1 Potentielles Laub- und Nadelrohholzangebot

Für jede der drei Kombinationen aus Holzaufkommens- und Verwendungsszenarien (siehe Kapitel 3.3) resultierten unterschiedliche, potentielle Holzernte- und Rohholzangebotsmengen für die Laub- und Nadelholzproduktion.

Im WEHAM-Basis-/HOLZ-Referenzszenario (BAS-REF) wurde das stofflich nutzbare Nadelrohholzpotential (NHP) für die erste Simulationsperiode (2013 bis 2017) nach Abzug benötigter Totholznachlieferungsraten und Energieholzmengen auf jährlich 36,4 Mio m³ kalkuliert. Die Angebotssituation sank im weiteren Szenarienverlauf bis auf jährlich 31,2 Mio. m³ in dem Zeitraum von 2023 bis 2027 um dann in der letzten Simulationsperiode wieder auf rund 35,6 Mio m³ im Jahr anzusteigen (Abbildung 4.1a). Das stoffliche nutzbare Laubrohholzpotential (LHP) stieg im Verhältnis zur Produktion im Basisjahr 2012 (5,0 Mio m³) in der ersten Simulationsperiode (2013 - 2017) sprunghaft auf jährlich 14,9 Mio m³ an und schwankte in den Folgeperioden zwischen 22,1 Mio m³ und 29,3 Mio m³ pro Jahr (Abbildung 4.1b).

Abbildung 4.1a: Potentielle Holzerntemenge „Nadelholz“ (Efm o.R.) nach Abzug der im Wald verbleibenden Rohholzmenge zur Totholznachlieferung, sowie der für die energetische Verwendung benötigten Derbholzmengen.

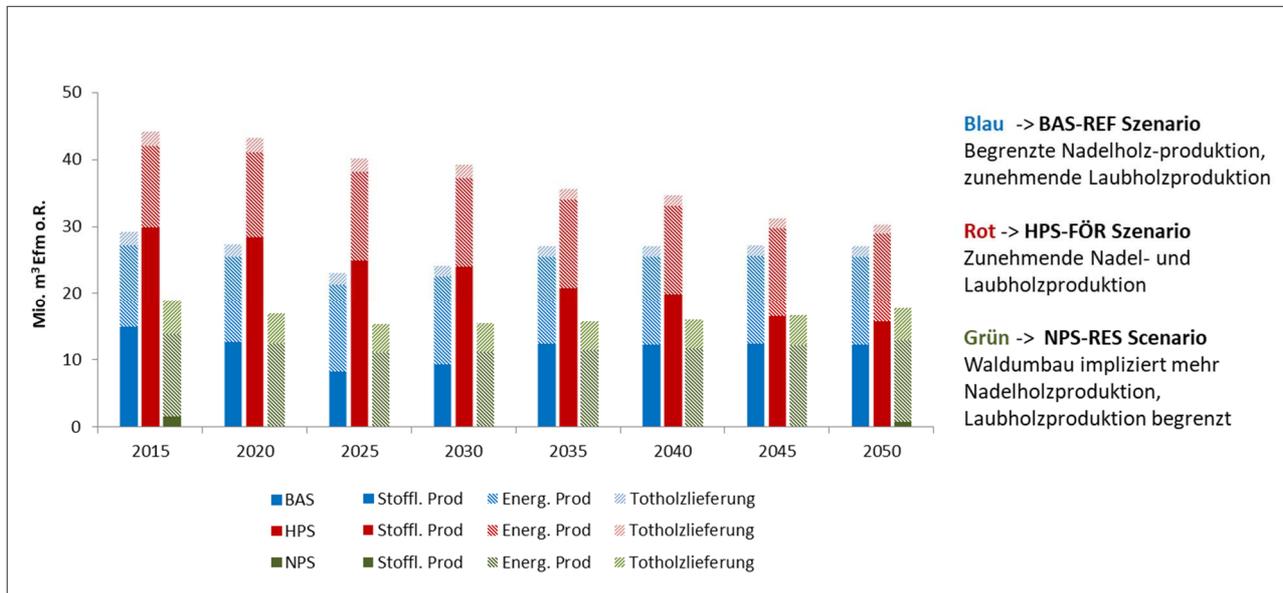


Im WALD-Naturschutzpräferenz-/HOLZ-Restriktionsszenario (NPS-RES) war das LHP dahingegen deutlich verringert. Durch Berücksichtigung von Totholznachliefermengen und Energieholznachfrage sank das Potential in der ersten Simulationsperiode (2013 - 2017) bereits auf rund 1,4 Mio m³ jährlich und in der Folge weiter bis auf null m³. Durch die angestrebte Förderung potentiell natürlicher Waldgesellschaften und dem damit verbundenen Waldumbau lag das NHP im NPS-RES nach 2020 stets über jenem des BAS-REF und stieg im Zeitraum zwischen 2023 - 2027 auf bis zu 46,3 Mio m³ jährlich. Nach Abschluss der aktiven Eingriffe zum Waldumbau näherten sich gegen Ende des Simulationzeitraums die Abschätzungen der Szenarien einander stark an.

Im WALD-Holzpräferenz-/HOLZ-Förderungsszenario (HPS-FÖR) nahmen im Vergleich zum BAS-REF sowohl das stofflich nutzbare LHP als auch das NHP zu: Das LHP betrug in der ersten Simulationsperiode (2013 - 2017) jährlich 29,8 Mio m³ und fiel bis Ende des Simulationzeitraums auf 12,0 Mio m³ jährlich. Das NHP wuchs über die ersten Simulationsperioden stetig und betrug in der Simulationsperiode von 2028 bis 2032 61,4 Mio m³ jährlich. In den Folgeperioden sank das NHP wieder und betrug in der letzten Simulationsperiode schließlich 43,9 Mio m³ im Jahr.

Für die weiteren Betrachtungen werden zur Verbesserung der Lesbarkeit der vorliegenden Arbeit die Ergebnisse einer jeden Simulationsperiode jeweils für das mittlere Jahr der Periode berichtet: Dies sind im Folgenden die Jahre 2015, 2020 und in fünfjahres Schritten weiter bis 2050. Die für das jeweilige Jahr bezifferte Menge repräsentiert die jährliche Durchschnittsmenge der betrachteten Simulationsperiode.

Abbildung 4.1b: Potentielle Holzernntemenge „Laubholz“ (Efm o.R.) nach Abzug der im Wald verbleibenden Rohholzmengen zur Totholznachlieferung, sowie der für die energetische Verwendung benötigten Derbholzmengen.

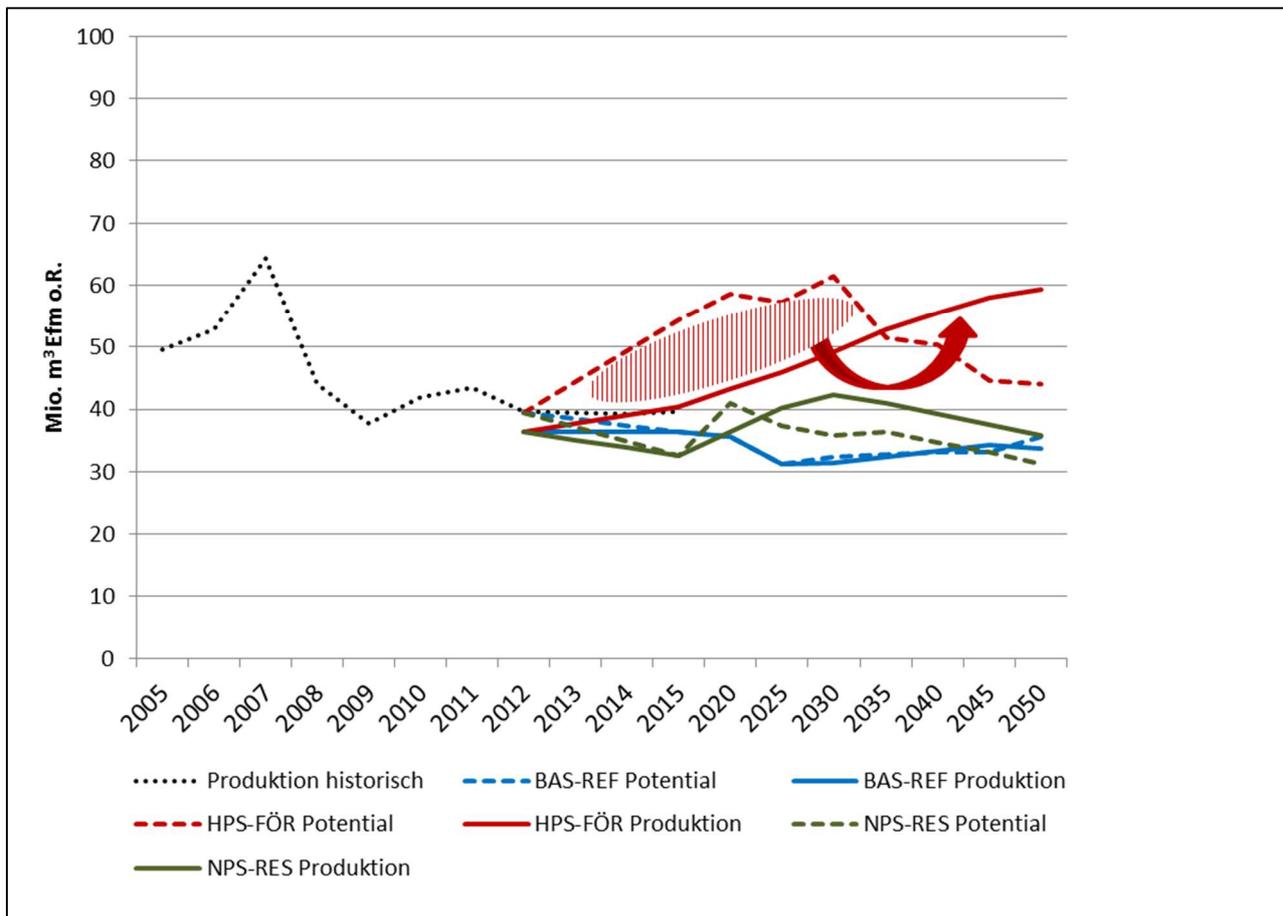


4.2 Rohholzangebot und Produktion

Im Holzmarktmodell fungierte das für jedes Szenario errechnete potentielle Laub- und Nadelrohholzerntemenge als exogene Obergrenze für die inländische Holzproduktion. Diese Grenzen definierte also das höchstmögliche Angebot. Verlauf und Steigung wurden entsprechend der maximal verfügbaren Potentialmengen in der Simulation exogen verschoben. Unterhalb des maximalen Angebots errechneten sich die produktspezifischen Angebotsmengen einer jeden Periode endogen in Abhängigkeit der Gleichgewichtsmengen und Preise. Dabei konnte die tatsächlich realisierte Holzproduktion vom dem potentiell in dieser Periode zur Verfügung stehenden Holzaufkommen abweichen und sowohl unter- (nicht alle verfügbaren Mengen wurden realisiert) als auch überschritten werden (siehe Abbildung 4.2). Doch wie kann die Holzproduktion über einer verfügbaren Menge liegen?

Das errechnete Rohholzpotential fungierte als die obere Grenze für eine national zu realisierende Produktionsmenge an Holz für die stoffliche Nutzung in einer Simulationsperiode. Allerdings erhöhten nicht abgeschöpfte Potentialmengen eines Zeitraums die Potentialmengen der Folgeperioden. Das heißt nicht genutzte Potentiale der Vorjahre standen dem Markt in den Folgejahren als „stehendes Lager“ und somit als zusätzliches Holzerntepotential zur Verfügung (vgl. Kapitel 3.3).

Abbildung 4.2: Das aus der Kombination von Holzaufkommens- und Verwendungsszenarien resultierende Nadelrohholzpotential in Gegenüberstellung mit der in der Holzmarktmodellierung simulierten Nadelrohholzproduktion für die Szenarien BAS-RES, HPS-FÖR und NPS-RES



Im Szenario BAS-REF war das für eine stoffliche Nutzung zur Verfügung stehende NHP über den gesamten Szenarienhorizont der limitierende Faktor für die Rohholzproduktion und wurde in einer jeden Simulationsperiode nahezu vollständig abgeschöpft. Somit führte das im Szenario BAS-REF für eine stoffliche Nutzung nur begrenzt zur Verfügung stehende NHP langfristig zu einer abnehmenden Produktion von Nadelrohholz in Deutschland (31,5 Mio. m³ im Jahr 2050)⁸. Gleichgerichtet mit dem stark zunehmenden LHP wuchs das inländische Angebot von Laubrohholz in Deutschland kontinuierlich auf bis zu 12,9 Mio. m³ im Jahr 2050 an. Das Angebot wurde durch die holzbearbeitende Industrie abgeschöpft, der Außenhandelsaldo mit Laubrohholz war ausgeglichen (Abbildung 4.3.1).

⁸ Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird jeweils das mittlere Jahr einer Simulationsperiode angegeben; im Folgenden sind dies die Jahre 2015, 2020, 2025 und in fünfjähriges Schritten weiter bis 2050. Die für das jeweilige Jahr Menge beziffert die jährliche Durchschnittsmenge in der zugehörigen Simulationsperiode

Im Szenario HPS-FÖR ermöglichten die deutlich höheren NHP und LHP eine steigende Produktion und Nutzung von inländischem Nadel- und Laubrohholz (63,2 Mio. m³ NH und 11,4 Mio. m³ LH in 2050), welches durch die ebenfalls steigende Nachfrage der inländischen Verwender in der Folge gänzlich durch die inländische Industrie abgeschöpft wurde. Dabei überstieg das NHP in den ersten Simulationsperioden noch die durch den Markt benötigten Rohholzmengen (Abbildung 4.2). Dadurch konnte sich ein stehendes Lager bilden, so dass nach 2035 die aufgesparten Ressourcen für eine bis dahin stark gewachsene Produktionsnachfrage mobilisiert werden konnten. Durch die stark steigende Nachfrage der holzbearbeitenden Industrie nach Rohstoffen stiegen sowohl Nadel- als auch Laubholzimporte bis zum Ende des Simulationszeitraums an.

Im Vergleich zum BAS-REF Szenario stand im NPS-RES Szenario ein größeres NHP für die stoffliche Nutzung zur Verfügung, was zu Beginn der Simulation die Bildung eines stehenden Lagers erlaubte. Dies war dem aktiven Waldumbau hin zu einer potentiell natürlichen Standortvegetation geschuldet, dessen Auswirkungen in der Folge bis Ende des Betrachtungszeitraums sichtbar waren.

In diesem Szenario sank allerdings die allgemeine Produktivität und damit Nachfrage der inländischen, holzbearbeitenden Industrie durch die Nicht-Verfügbarkeit von Laubrohholz für die stoffliche Nutzung. Dies wirkte auf die Entwicklung der Nachfrage von Nadelrohholz durch heimische Verwender. Die deutlich geringere Nachfrage nach Nadelrohholz im Vergleich mit den anderen beiden Szenarien konnte zu großen Teilen durch die inländische Produktion bedient werden. Dies führte bis 2030 zu sinkenden Importen von Nadelrohholz. Nach 2030 wurde ein Großteil der durch den Waldumbau überschüssigen Nadelrohholzressourcen bereits mobilisiert und das Angebot sank damit. Dies führt zu einer Steigerung der Rohholzimporte von 4 % jährlich.

Im NPS-RES Szenario verblieben ab 2020 bis einschließlich 2045 durch die stark eingeschränkten Nutzungsmengen von Laubholz und die durch die energetischen Nutzer bereits abgeschöpften Ressourcen keine Potentiale für die stoffliche Produktion. Dadurch sanken in der Holzmarktmodellierung sowohl die Produktion als auch die Nachfrage nach Holzprodukten im Vergleich zu heute und im Vergleich zu anderen Szenarien. Nach 2030 war jedoch zu beobachten, dass die Nachfrage nach und der Import von Laubrohholz wieder leicht zunahm.

4.3 Ergebnisse der Holzmarktmodellierung

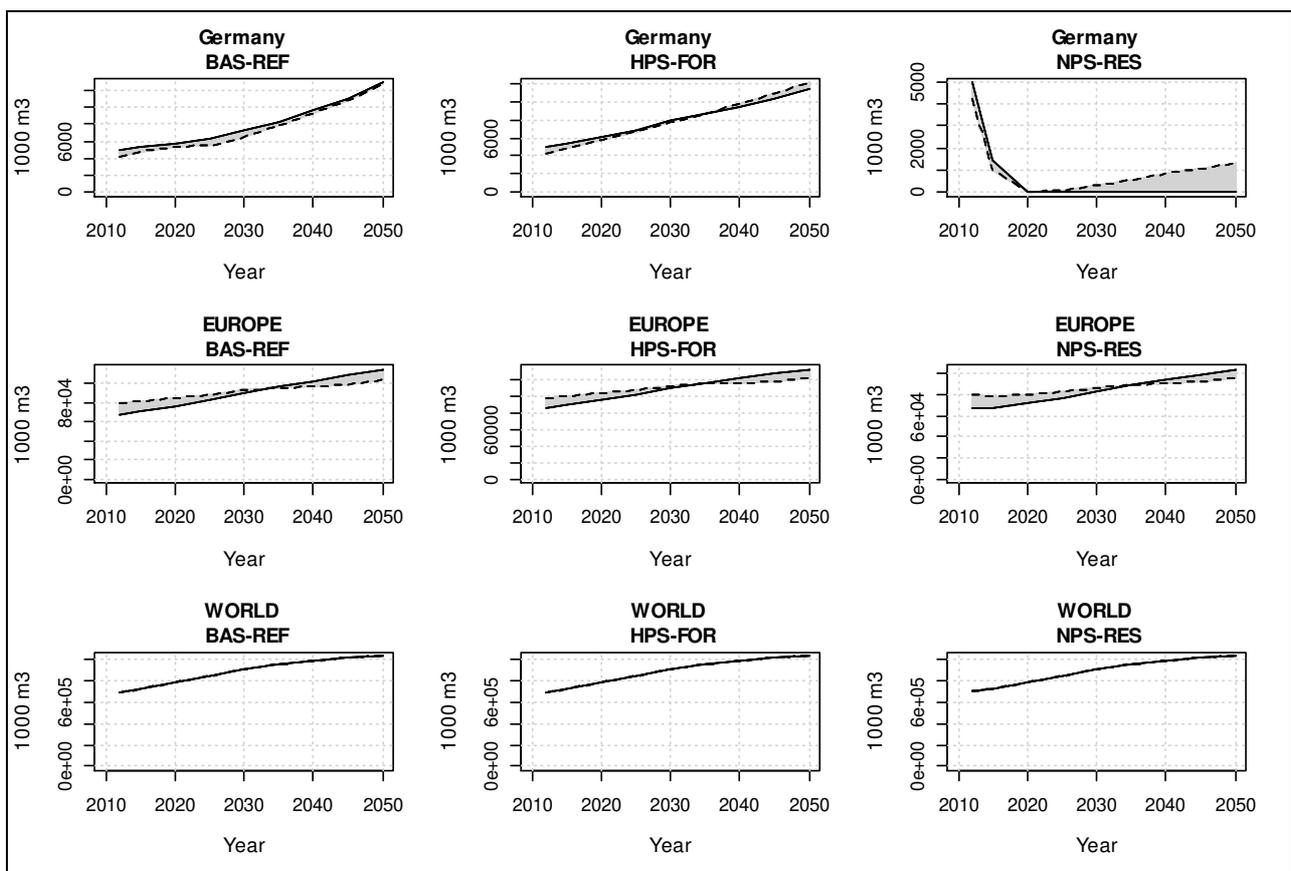
Die Effekte verschiedener Rohholzangebotspotentiale in Deutschland wurden in der Holzmarktmodellierung näher untersucht. Die Ergebnisse machten mögliche Auswirkungen sich wandelnder Ressourcenpotentiale auf die Produktion, Verbrauch und Nettohandel von Holzprodukten entlang der holzbasierten Wertschöpfungskette sichtbar. Für die Analyse wurden sieben Produktgruppen (Laubrohholz, Nadelrohholz, Laubschnittholz, Nadelschnittholz, Holzwerkstoffe und Furnier, Holzschliff, Zellstoff sowie Papier und Pappe) und drei räumliche Aggregationsstufen (Deutschland, Europa und die Welt) unterschieden.

4.3.1 Laubrohholz

Die Produktion von Laubrohholz in Deutschland entwickelte sich in den drei alternativen Szenarien unterschiedlich. Bis zum Jahr 2035 wuchs sie am stärksten im HPS-FÖR Szenario. Nachdem die Produktion 2030 mit 7,9 Mio. m³ knapp 0,7 Mio. m³ über jener des BAS-REF Szenario lag, flachte das Wachstum im HPS-FÖR in der Folge ab und wurde im Jahr 2040 von jenem des BAS-REF überholt. Im Jahr 2050 wurde im BAS-REF mit 12,9 Mio. m³ am meisten Laubrohholz produziert. Im HPS-FÖR war die Produktion rund 1,5 Mio. m³ geringer, während sie im NPS-RES unter den hier getroffenen Annahmen zum Erliegen kam (siehe Tabelle 3.3 und Abbildung 4.1b) und erst in der letzten Simulationsperiode wieder zunahm. In Europa war das Wachstum der Produktion von Laubrohholz für die stoffliche Nutzung über die verschiedenen Szenarien von dem Produktionsniveau in Deutschland gezeichnet. Dabei lehnten sich Unterschiede in der Produktionsentwicklung zwischen BAS-REF und HPS-FÖR für Europa stark an der Entwicklung in Deutschland an. Hierbei wurden die sich in Deutschland ergebenden Änderungen der Produktionsmenge mit 50 % bis 100 % auf dem Europäischen Markt widergespiegelt. So war beispielsweise im HPS-FÖR die Laubrohholzproduktion im Jahr 2030 in Deutschland knapp 0,7 Mio. m³ höher als im BAS-REF. Auf Europäischer Ebene ist im selben Zeitraum die Produktion knapp 0,5 Mio. m³ über jener des BAS-REF. Gemessen am Gesamtvolumen der europäischen Laubrohholzproduktion machten diese Mengenänderungen jedoch maximal 0,8 % des Gesamtproduktionsvolumens aus und beeinflussten den Markt damit nicht maßgeblich. Ein anderes Bild ergab sich für die Unterschiede von BAS-REF zu NPS-RES: Unterschiede von 6,4 % bis zu 9,5 % beeinflussten die Produktionsmengen in Europa signifikant. Das Defizit wurde mit 82,3 % bis zu 90,0 % auf das Produktionsvolumen Europas übertragen.

Die europäischen Exporte von Laubrohholz lagen im BAS-REF über jenen des HPS-FÖR und verändern sich ungefähr um die Differenzen des deutschen Außenhandels. Gemessen am Gesamthandelsvolumen Europas waren diese Mengen jedoch marginal. Die Importe waren im BAS-REF Szenario in Deutschland geringer, auf europäischer Ebene jedoch höher als im HPS-FÖR. Der Verbrauch von Laubrohholz war in Europa bis 2035 und in Deutschland bis 2045 für das HPS-FÖR höher als im BAS-REF bis er im Jahr 2050 im BAS-REF schlussendlich mit 0,9 Mio. m³ auf europäischer Ebene und mit 0,7 Mio. m³ auf deutscher Ebene über jenem des HPS-FÖR lag. Im BAS-REF waren sowohl Deutschland als auch Europa über den gesamten Simulationszeitraum Netto-Exporteure, während im HPS-FÖR Deutschland ab 2035 Netto-Importeur von Laubrohholz war. Die Importe wurden anfänglich benötigt, um bestehende Handelsbeziehungen zu bedienen (das Außenhandelsvolumen eines Landes ändert sich im GFPM innerhalb vorgegebenen maximalen Raten von einem Jahr zum nächsten. Ein Zusammenbruch des Außenhandels wird damit verhindert). Im weiteren Verlauf der Simulation wurden die Exportmengen kontinuierlich reduziert und die importierten Mengen zunehmend für die inländische Produktion eingesetzt.

Abbildung 4.3.1: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Laubrohholz“ (Efm o.R.). Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion > Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion < Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.

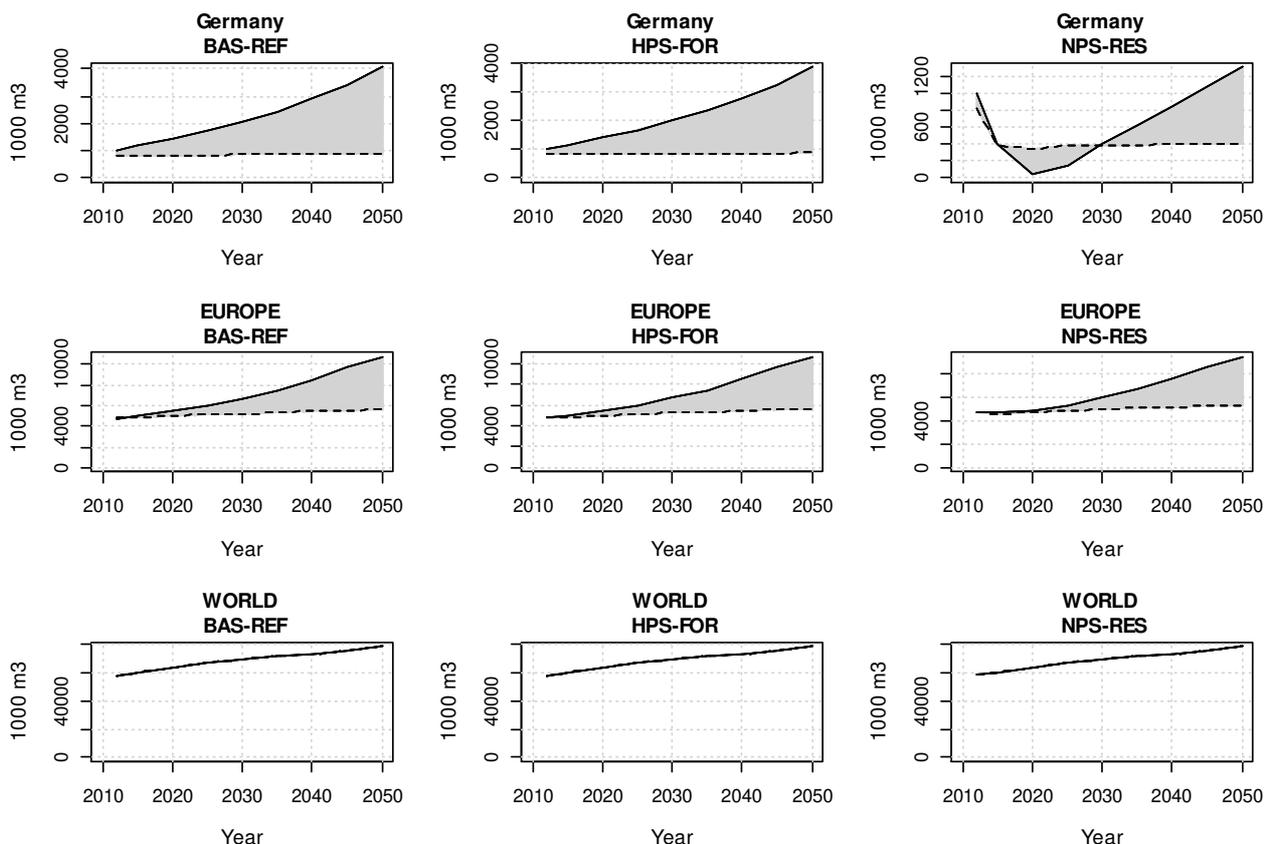


Weltweit betrug der Unterschied in Produktion und Verbrauch von Laubrohholz zwischen BAS-REF und HPS-FÖR zwischen 2015 und 2050 zwischen 0,5 und 1,5 Mio. m³, wobei die Produktion im BAS-REF sich stets über jener des HPS-FÖR bewegte. Der Unterschied entsprach jedoch lediglich 0,1 % – 0,2 % des globalen Produktionsvolumens. Im selben Zeitraum variierte der Unterschied zwischen BAS-REF und NPS-RES zwischen 1,1 und 3,6 Mio. m³ (0,2 % – 0,4 % des globalen Produktionsvolumens), wobei auch hier die Produktionsleistung des BAS-REF stets die des NPS-RES überstieg. Die global nicht signifikant aber doch wahrnehmbare Reduktion der Laubrohholzproduktion im NPS-RES war auf die Produktionsminderung in Deutschland zurückzuführen.

4.3.2 Laubschnittholz

Produktion und Export von Laubschnittholz entwickelten sich im BAS-REF und HPS-FÖR nahezu identisch und variierten zwischen den Szenarien sowohl auf deutscher als auch auf europäischer Ebene um maximal 0,2 Mio. m³ im Zeitverlauf. Keine Unterschiede gab es hinsichtlich des Verbrauchs und des Imports von Laubschnittholz. Die Produktion von Laubschnittholz brach in Deutschland im NPS-RES in der Periode um das Jahr 2020 ein.

Abbildung 4.3.2: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Laubschnittholz“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



In der Folge wurde in Deutschland die Produktion von Laubschnittholz dank dem wachsenden Rohstoffimport wiederaufgenommen und wuchs in der Folge an, so dass sie im Jahr 2050 das Niveau von 2012 wieder erreicht hatte. Damit war im Vergleich zu BAS-REF und HPS-FÖR die Produktion

von Laubschnittholz in Deutschland mehr als 2,5 Mio. m³ geringer, was einen Rückgang um bis zu 68 % entsprach. Ein Blick auf Europa zeigte, dass ein Teil der deutschen Minderproduktion durch die Mehrproduktion anderer europäischer Länder kompensiert wurde, so dass die Differenz zwischen NPS-RES und BAS-REF, bzw. NPS-RES und HPS-FÖR für Europa weniger negativ ausfiel. Im Jahr 2050 betrug sie im NPS-RES gut 1 Mio. m³, was einer Reduktion von 11 % entsprach.

In Deutschland und Europa waren analog zum Produktionsniveau auch die Exportmengen im NPS-RES geringer. Der Export von Laubschnittholz lag aber auch im NPS-RES, wie in der Vergangenheit und, wie in den anderen Szenarien auch, über der inländischen Nachfrage nach Laubschnittholz. Auch um die Exportnachfrage zu bedienen, stiegen mit dem Zusammenbruch der inländischen Produktion im NPS-RES die Importe von Laubschnittholz sprunghaft an. In der Folge wurde mit importiertem Rohholz die Produktion von Laubschnittholz langsam wiederaufgenommen, so dass die Schnittholzimporte analog im Zeitverlauf zurückgingen und im Jahr 2050 weniger als 0,1 Mio. m³ über dem Niveau von BAS-REF und HPS-FÖR liegen. Der inländische Verbrauch von Laubschnittholz sank mit der Verknappung von inländischem Laubschnittholz um 50 % und blieb bis zum Ende des Simulationszeitraums auf diesem Niveau. Global betrachtet divergierten die Mengen zwischen den drei Szenarien nur marginal.

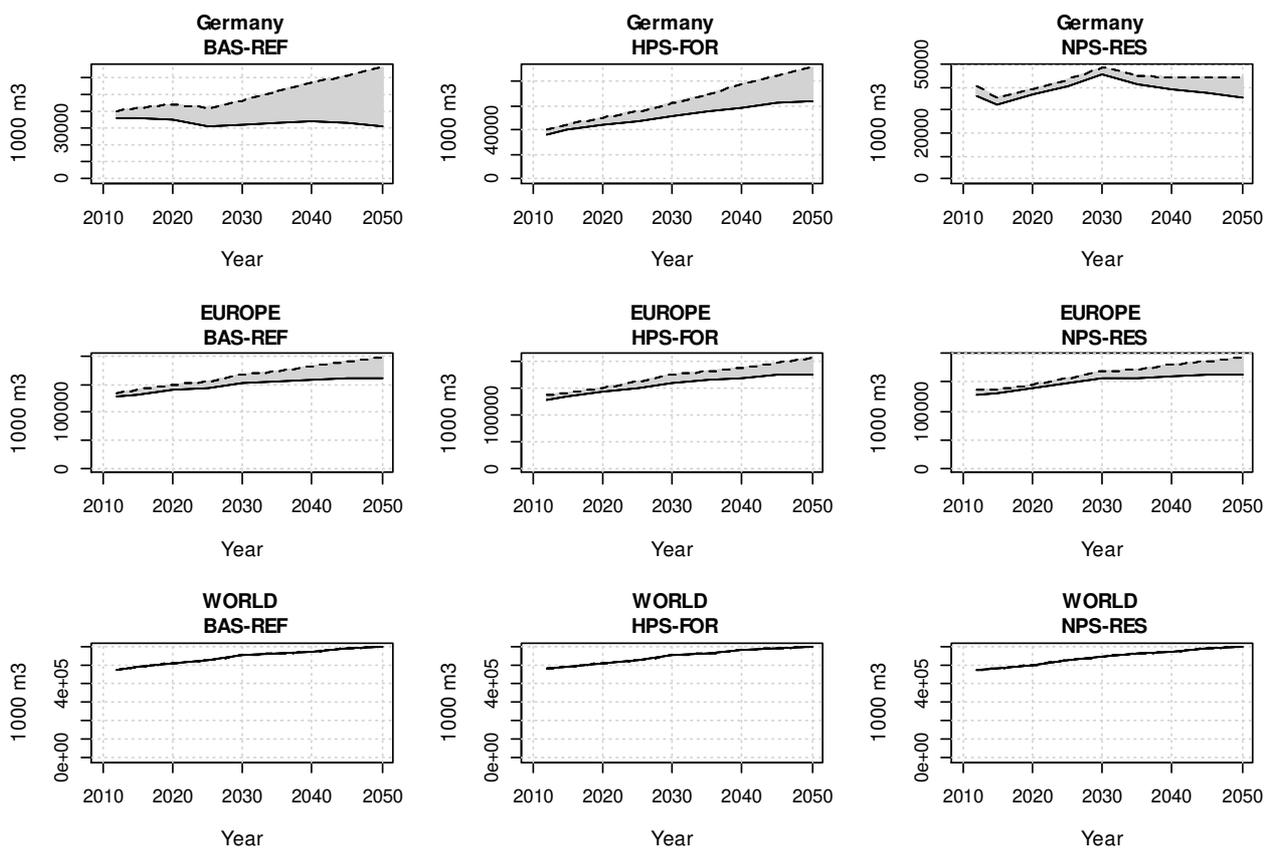
4.3.3 Nadelrohholz

Im HPS-FÖR stieg die Produktion von Nadelrohholz dank der wachsenden Holzerntepotentiale (bedingt durch die Bildung eines stehenden Lagers) kontinuierlich über den Simulationshorizont und betrug in der letzten Simulationsperiode durchschnittlich 63,2 Mio. m³ pro Jahr. Damit war die Nadelrohholzproduktion für die stoffliche Nutzung in Deutschland mit einem Plus von 31,7 Mio. m³ etwa dopplet so hoch wie in des BAS-REF. Auf europäischer Ebene betrug die positive Differenz in der Nadelrohholzproduktion zwischen dem HPS-FÖR und dem BAS-REF rund ein Drittel der deutschen Differenz von 31,5 Mio. m³. Dies zeigt im Umkehrschluss, dass im BAS-REF rund 20 Mio. m³ Nadelrohholz im Jahr 2050 durch andere europäische Staaten produziert wurden, die im HPS-FÖR nun durch Deutschland bereitgestellt wurden.

Auch im NPS-RES lag die Nadelrohholzproduktion in Deutschland durchgehend über jener des BAS-REF. Dies führte in der letzten Simulationsperiode zu einer Mehrproduktion von 4,2 Mio. m³ jährlich im Vergleich zum BAS-REF. Die in HPS-FÖR geerntete Holzmenge war in 2050 27,5 Mio. m³ höher als im NPS-RES, für Europa betrug der Unterschied jedoch nur 10,2 Mio. m³. Das heißt, auch hier wurden zwei Drittel des Unterschieds durch eine höhere Produktion anderer europäischer Länder ausgeglichen. Die Exporte von Nadelrohholz waren über den Szenarienhorizont im BAS-REF und HPS-FÖR sowohl identisch als auch rückläufig. Im NPS-RES lag die Exportmenge bis zu 0,7 Mio. m³ über jener der anderen beiden Szenarien, entwickelte sich aber ebenfalls rückläufig über den Simulationshorizont. Die Exportmengen Europas in den Rest der Welt variierten zwischen den Szenarien um maximal 1,3 Mio. m³. Im Jahr 2050 entsprach das ca. 6 % der Produktionsmenge. Diese

Schwankungen konnten jedoch nicht direkt mit Änderungen des Deutschen Außenhandels verknüpft werden. In allen drei der betrachteten Szenarien war Deutschland Netto-Importeur von Nadelrohholz. Im HPS-FÖR stiegen die Importe durchschnittlich 1,4 % und im BAS-REF durchschnittlich 1,6 % im Jahr und betragen damit in der letzten Simulationsperiode 28,2 Mio. m³ bzw. 35,2 Mio. m³.

Abbildung 4.3.3: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Nadelrohholz“ (Efm o.R.). Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



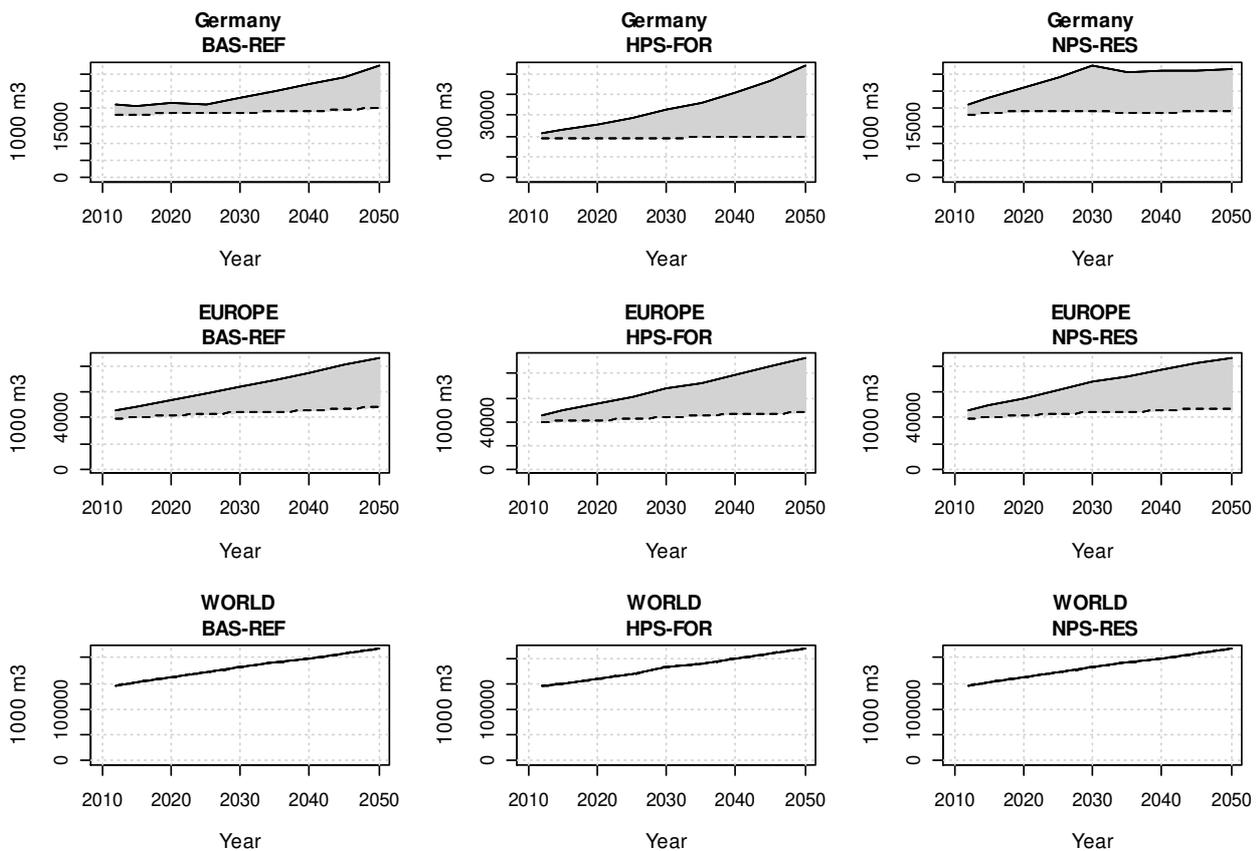
Die gesamteuropäischen Importe beider Szenarien divergierten über den Simulationszeitraum um rund 1 Mio. m³ weniger als die deutschen Importe. Im NPS-RES stagnierte oder sank, bedingt durch die inländische Laubholzknappheit, die gesamte Produktionsleistung der Holzwerk- und Zellstoffindustrie. Somit war auch der Bedarf an Nadelrohholz entlang der Wertschöpfungskette im Verhältnis zu den beiden anderen Szenarien vergleichsweise gering. Dadurch konnte ein großer

Teil des inländischen Bedarfs durch die heimische Nadelrohholzproduktion gedeckt werden und die Importmenge von Nadelrohholz war über den Szenarienhorizont rückläufig und lag schließlich im Jahr 2050 rund 1 Mio. m³ über dem Niveau von 2012. Damit waren die Importmengen 26 Mio. m³ und 19 Mio. m³ geringer als im BAS-REF und im HPS-FÖR. Respektive variierten die Importe der gesamten EU im Vergleich jedoch lediglich um 7,6 Mio. m³ und 2,6 Mio. m³. Daraus ließ sich schließen, dass andere Länder ihre Importe um gut 17 Mio. m³ steigerten. Das heißt, die Wertschöpfungsketten anderer Länder konnten von der Minderproduktion in Deutschland profitieren und im Vergleich zum BAS-REF oder HPS-FÖR die Produktion der holzbearbeitenden Industrie steigern. Global sind die Differenzen in den Produktionsniveaus kleiner als 1 % über den gesamten Simulationszeitraum.

4.3.4 Nadelschnittholz

Durchschnittlich wuchs die Produktion von Nadelschnittholz über den Simulationshorizont pro Jahr um 1,1 % im BAS-REF und 1,0 % im NPS-RES. Jedoch war das Wachstum der Produktionsleistung im NPS-RES bis 2030 dank der höheren Verfügbarkeit an inländischen Nadelrohholzressourcen stärker. Danach stagnierte die Produktion und bewegte sich bis 2050 stets um 31 Mio. m³ im Jahr. Dagegen wuchs nach 2030 die Produktionsleistung im BAS-REF vergleichsweise stärker und lag in 2050 leicht über jener des NPS-RES. Im HPS-FÖR stieg die Produktion von Nadelschnittholz am stärksten und lag mit einer Wachstumsrate von durchschnittlich 3,1 % deutlich über den beiden anderen Szenarien. In der letzten Simulationsperiode war das Produktionsniveau in diesem Szenario damit rund 60 % höher als im BAS-REF und NPS-RES. Auf europäischer Ebene variierte die Produktion zwischen BAS-REF und NPS-RES weniger als auf deutscher Ebene und war schließlich im Jahr 2050 nahezu identisch. Auch wurden zwei Drittel der Produktionsunterschiede zwischen BAS-REF und HPS-FÖR, bzw. NPS-RES und HPS-FÖR durch die europäischen Staaten ausgeglichen, so dass der Produktionsunterschied in Gesamteuropa im Jahr 2050 nur einem Drittel der deutschen Unterschiede im Produktionsniveau entsprach. Weltweit war die Summe der Nadelschnittholzproduktion im HPS-FÖR um 0,7 % höher als in den anderen beiden Szenarien. Die deutschen Nadelschnittholzxporte entwickelten sich analog zur Produktion, so dass die Differenzen zwischen den Szenarien jenen der Produktionsleistungen sehr ähnlich waren.

Abbildung 4.3.4: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-handel von „Nadelschnittholz“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



Selbiges galt auch für die europäischen Nadelschnittholzeporte, allerdings wurden – wie auch für die Produktion von Nadelschnittholz beobachtet – die in Deutschland auftretenden Unterschiede auf Europäischer Ebene kompensiert. Das heißt, wenn wie im Fall von BAS-REF oder NPS-RES die deutschen Exportmengen rückläufig waren, wurden diese Mengen durch Mehrexporte anderer europäischer Länder in den Rest der Welt aufgefangen, so dass die Gesamtexportmenge der EU im Vergleich lediglich rund einem Drittel der Differenz auf deutscher Ebene entsprach. Die deutschen Importmengen unterschieden sich zwischen den Szenarien nicht und waren auch auf europäischer Ebene sehr ähnlich. Die auftretenden Unterschiede wurden jedoch nicht durch Deutschland verursacht. Der Verbrauch von Nadelschnittholz in Deutschland variierte zwischen BAS-REF und HPS-FÖR um maximal 0,4 Mio. m³ und war im Jahr 2050 nahezu identisch. Im Vergleich zu BAS-REF und HPS-FÖR war der Verbrauch von Nadelschnittholz im NPS-RES in Deutschland im Jahr 2050 0,8 Mio.

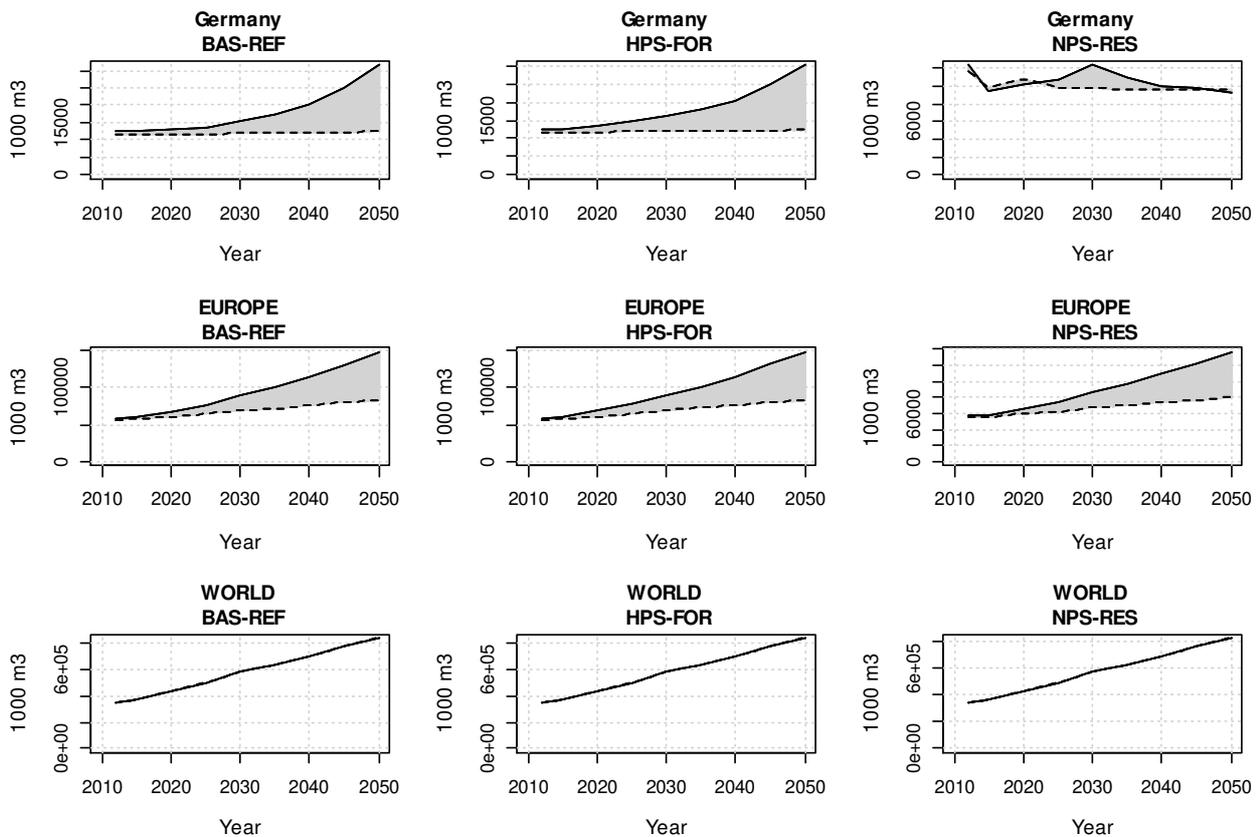
m³ geringer (-4 %). Die Unterschiede im Verbrauch von Nadelnschrittholz auf europäischer Ebene waren ebenfalls sehr gering und bewegten sich bis maximal 0,7 Mio. m³. Global schwankten die Produktion und der Verbrauch von Nadelnschrittholz zwischen den Szenarien um weniger als 1 %.

4.3.5 Holzwerkstoffe und Furnier

In Deutschland entwickelte sich die Produktion von Holzwerkstoffen und Furnier in den Szenarien unterschiedlich. Sowohl im BAS-REF als auch im HPS-FÖR nahm sie kontinuierlich über den Simulationszeitraum zu. Im HPS-FÖR stieg sie jedoch anfänglich stärker und lag zwischen 2025 und 2035 knapp 1 Mio. m³ über der Produktion von Holzwerkstoffen und Furnier im BAS-REF. In der Folge war das Wachstum im BAS-REF jedoch deutlich ausgeprägter, so dass im Jahr 2045 das Niveau der Szenarien ausgeglichen war. In der letzten Simulationsperiode lag die Produktion im BAS-REF mit 31,6 Mio. m³ gut eine Million m³ über jener des HPS-FÖR. Dies entsprach einer Mehrleistung von 4 %. Im Gegensatz dazu sank im NPS-RES die Produktionsleistung des Sektors von 12,3 Mio. m³ in 2012 auf 9,2 Mio. m³ in 2050. Im Vergleich zur Entwicklung der Produktionsleistung in BAS-REF und HPS-FÖR bedeutete dies eine Reduktion von 71 % bzw. 70 % im Jahr 2050.

Die gravierenden Mengenunterschiede in der Produktionsleistung zwischen BAS-REF und HPS-FÖR auf der einen und NPS-RES auf der anderen Seite waren auch auf europäischer Ebene sichtbar. In der ersten Simulationsperiode entsprach der Unterschied der gesamteuropäischen Produktion zwischen den Szenarien nahezu dem Unterschied der deutschen Produktionsmengen. Dieser Effekt verringerte sich für Europa über den Simulationshorizont, so dass im Jahr 2050 die mengenmäßige Differenz in der europäischen Produktionsleistung nur halb so groß war wie die deutsche. So wurde zu keinem Zeitpunkt die Minderproduktion in Deutschland durch die Mehrproduktion anderer Länder kompensiert. Es wurden jedoch 50 % des Produktionsabfalls an Holzwerkstoffen in Deutschland durch andere Staaten produziert und somit aufgefangen, so dass im Jahr 2050 die europäische Gesamtproduktion im BAS-REF und HPS-FÖR 148,6 Mio. m³ und 148,8 Mio. m³ betrug, während sie sich im NPS-RES auf 137,0 Mio. m³ belief. Global betrug der Unterschied zwischen den BAS-REF bzw. HPS-FÖR zu NPS-RES im Jahr 2050 nur 0,5 %. Obwohl die deutsche Minderproduktion weitestgehend durch die Mehrproduktion in anderen Ländern aufgefangen wurde, war sie mit 3,7 Mio. m³ und 4,8 Mio. m³ trotz allem wahrnehmbar. Der Verbrauch von Holzwerkstoffen und Furnier unterschied sich zwischen BAS-REF und HPS-FÖR sowohl in Deutschland als auch in Europa kaum. Deutlichere Unterschiede gab es jedoch im Vergleich von BAS-REF bzw. HPS-FÖR zu NPS-RES. Im NPS-RES war der Verbrauch im Jahr 2050 im Vergleich zu BAS-REF und HPS-FÖR in Deutschland 2,7 Mio. m³ und in Europa 3,0 Mio. m³ geringer. Dies zeigte auch, dass die Reduktion im europäischen Verbrauch hauptsächlich durch den Minderverbrauch in Deutschland verursacht wurde. Im Umkehrschluss führte dies nicht zu einem Mehrverbrauch an Holzwerkstoffen anderer europäischer Staaten.

Abbildung 4.3.5: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Holzwerkstoffe und Furnier“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



Zu Beginn des Simulationshorizonts waren sowohl die deutschen als auch die europäischen Exporte im NPS-RES höher als im BAS-REF und HPS-FÖR. Dies wurde vermutlich durch den sinkenden Verbrauch in Deutschland verursacht während die Produktion erst verzögert mit Reduktionen reagierte. Nach 2030 drehte sich das Verhältnis jedoch und die Exporte des BAS-REF und HPS-FÖR lagen nun über jenen des NPS-RES. Der Effekt war in Deutschland um ein Mehrfaches höher als in Gesamteuropa. Im Jahr 2050 bedeutete dies eine Zunahme von 17,9 Mio. m³ und 16,9 Mio. m³ an Exporten aus Deutschland wohingegen nur 6,6 und 7,2 Mio. m³ mehr Exporte aus der EU in den Rest der Welt gingen. Daraus ließ sich zweierlei schließen: Zum einen produzierten und exportierten in den Szenarien BAS-REF und HPS-FÖR andere europäische Länder im Verhältnis weniger, so dass ein Großteil der deutschen Mehrproduktion innerhalb Europas gehandelt und verbraucht wurde. Im Gegensatz dazu produzierten und exportierten im NPS-RES andere europäische Länder

mehr. Rechnerisch verblieben mehr als die Hälfte der deutschen Exporte innerhalb Europas. Die Unterschiede im Importniveau auf europäischer Ebene zwischen den Szenarien wurden fast gänzlich durch deutsche Mengenunterschiede verursacht. Dabei waren die Importmengen im HPS-FÖR und BAS-REF nahezu identisch und in beiden Szenarien ca. 1 Mio. m³ geringer als im NPS-RES.

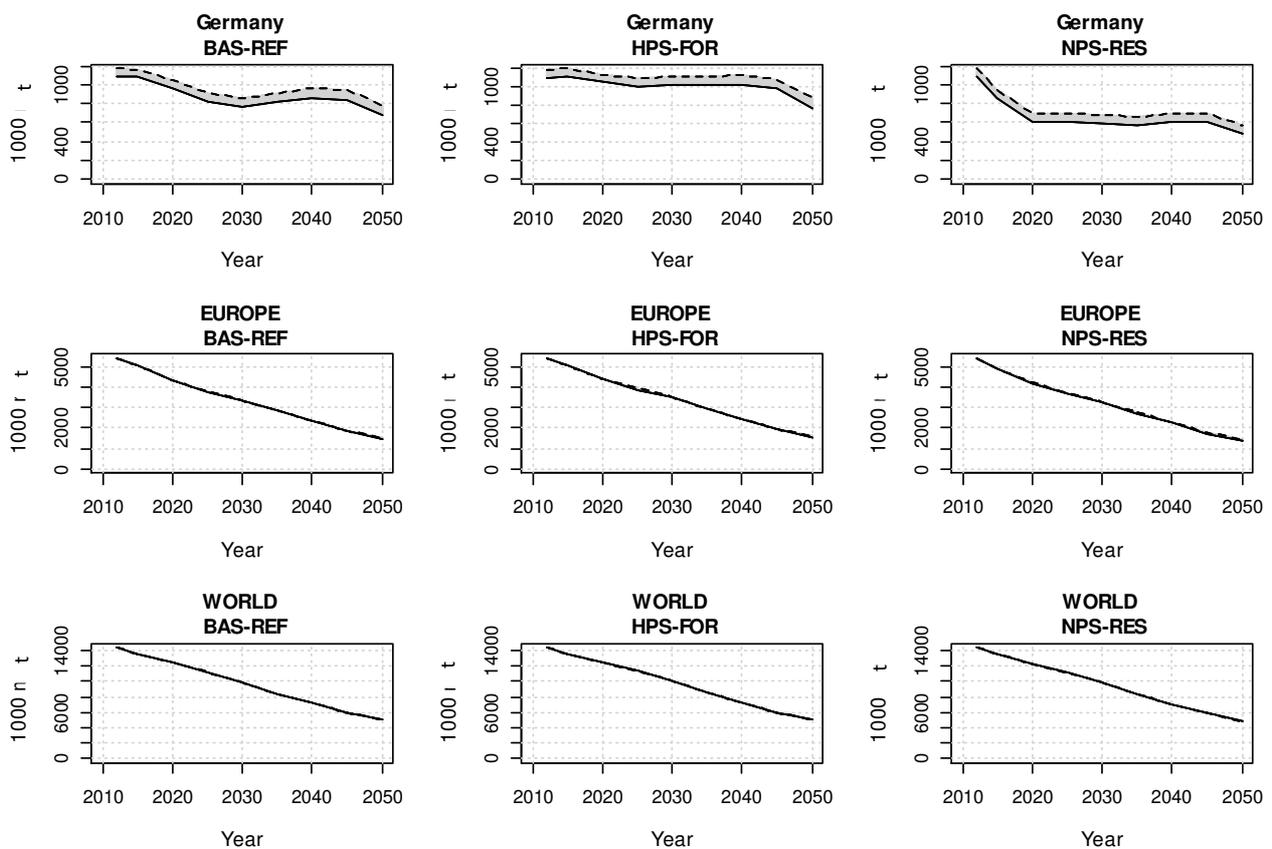
4.3.6 Holzschliff und Zellstoff

Die Entwicklungen in den Sektoren Holzschliff und Zellstoff verliefen in den hier gerechneten Szenarien unterschiedlich. Kongruent mit der globalen Entwicklung war die Produktion von Holzschliff in allen drei Szenarien in Deutschland und Europa kontinuierlich rückläufig. Deutschland produzierte und verbrauchte rund ein Drittel des Holzschliffs in Europa. In den Szenarien BAS-REF und HPS-RES verringerte sich die Produktion von Holzschliff in Deutschland von 1,1 Mio. t im Jahr 2015 auf 0,8 Mio. t, bzw. 0,7 Mio. t im Jahr 2050, wobei die Produktion im BAS-REF aufgrund der nur begrenzt verfügbaren Nadelrohholzressourcen vergleichsweise früher abfiel. In Europa sank die Gesamtproduktion beider Szenarien von 5,4 Mio. t auf 1,5 Mio. t über den Simulationszeitraum. Somit war der durchschnittliche jährliche Rückgang auf europäischer Ebene mit -1,4 % stärker als der Rückgang in Deutschland (-0,7 % im BAS-REF und 0,5 % im HPS-FÖR).

Eine sichtbare Beeinflussung des europäischen Marktes durch die Entwicklung in Deutschland im BAS-REF und HPS-FÖR konnte nicht ausgemacht werden. Im NPS-RES fiel die deutsche Holzschliffproduktion mit durchschnittlich 1,1 % pro Jahr deutlich stärker bis auf 0,5 Mio. t im Jahr 2050. Dies war auch auf europäischer Ebene spürbar: Der durchschnittliche jährliche Rückgang betrug hier -1,5 % und die Gesamtproduktionsmenge im Jahr 2050 1,4 Mio. t. Der Außenhandel mit Holzschliff war gering, allerdings waren sowohl die deutschen als auch die europäischen Importe höher als die Exporte. Da sich im Außenhandel mit Holzschliff keine signifikanten Unterschiede zwischen den Szenarien zeigten, wirkten die Änderungen des Produktionsniveaus auf den Verbrauch an Holzstoff in den einzelnen Szenarien, wobei dieser im NPS-RES am geringsten war. Die Auswirkungen der Änderungen in der Holzschliffproduktion im NPS-RES waren nach 2035 auch global wahrnehmbar. Die weltweite Produktion änderte sich im Vergleich zum BAS-REF um bis zu 2,1 % und im Vergleich zum HPS-FÖR um bis zu 3,0 % im Jahr 2050.

Die Produktion von Zellstoff entwickelte sich unter den Szenarien BAS-REF und HPS-FÖR in Deutschland positiv und erreichte ihren Höhenpunkt um 2040. Im BAS-REF wurden zu diesem Zeitpunkt 3,9 Mio. t und im HPS-FÖR 5,0 Mio. t Zellstoff produziert. Bis 2050 sank das Niveau wieder auf 2,6 Mio. t und 3,2 Mio. t. Zellstoff wurde in Deutschland aus einem Inputmix aus Laub- und Nadelholz hergestellt. Aufgrund der begrenzten Nadelrohholzverfügbarkeit lag die Entwicklung der Produktionsmenge im BAS-REF stets unter jener des HPS-FÖR. Die gesamteuropäische Entwicklung in diesen beiden Szenarien war bis 2030 ebenfalls positiv, sank aber in der Folge deutlich bis das Produktionsniveau in 2050 schließlich unter jenem von 2012 lag.

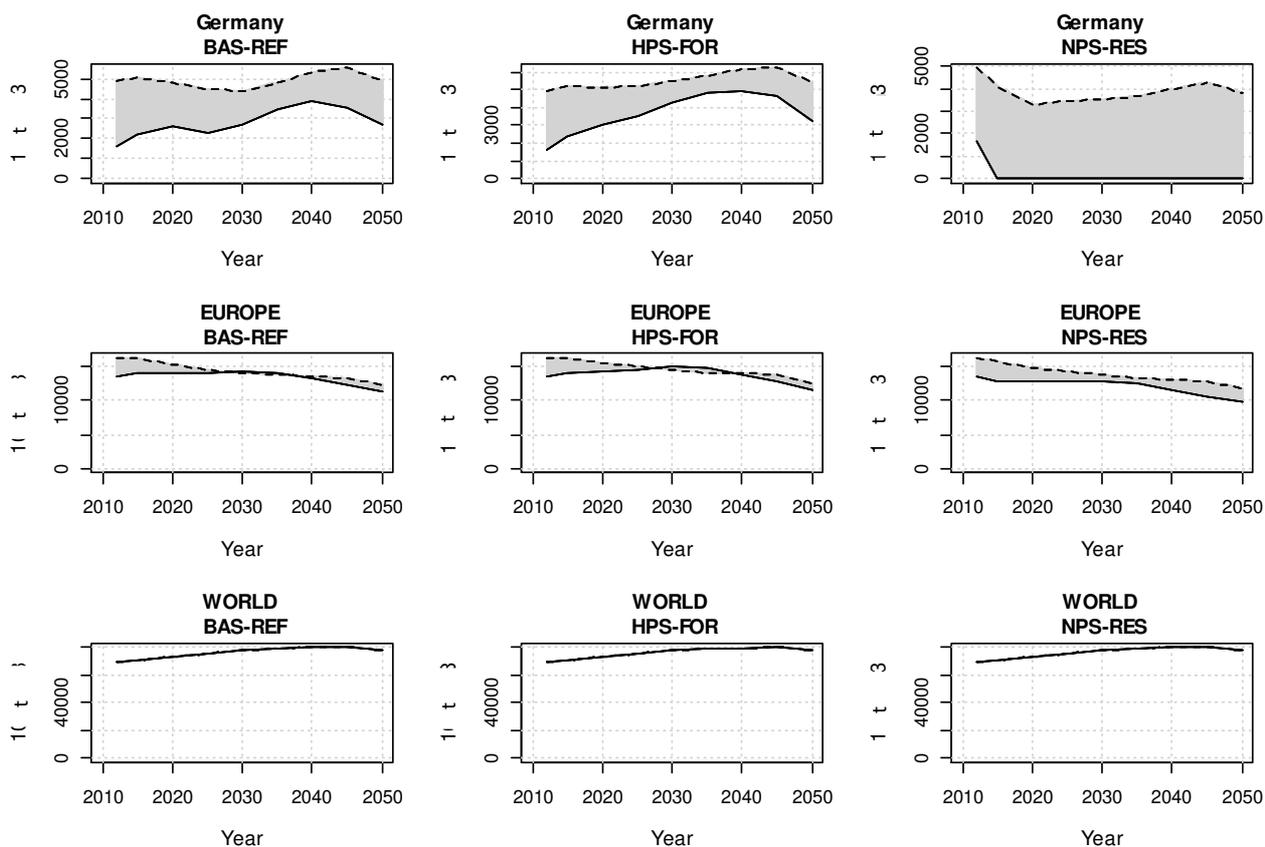
Abbildung 4.3.6a: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Holzschliff“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



Bedingt durch die starke Knappheit an Laubrohholz für die stoffliche Nutzung im NPS-RES brach die Produktion von Zellstoff in Deutschland unter diesem Szenario zusammen. Dies hatte Auswirkungen auf die Gesamtproduktionsentwicklung in Europa dahingehend, dass die Produktion über den Simulationszeitraum kontinuierlich sank bis sie in 2050 für Europa nunmehr 9,9 Mio. t betrug. Damit war die europäische Gesamtproduktionsmenge im Vergleich zum BAS-REF, bzw. dem HPS-FÖR im Jahr 2050 um 11 % und 13 % geringer. Der Export entwickelte sich ungeachtet der steigenden Produktion im BAS-REF und HPS-FÖR in Deutschland stetig zurück bis er mit 0,1 Mio. t in 2050 nur knapp einem Zehntel der heutigen Menge entsprach. Die gesamteuropäischen Exportmengen entwickelten sich über die Szenarien hinweg ebenfalls sehr ähnlich. Anders als in Deutschland stiegen diese aber stetig um durchschnittlich 0,5 %-0,6 % im Jahr an. Global hatten diese Schwankungen keine nennenswerten Auswirkungen. Analog zum Produktionsniveau in BAS-REF und HPS-FÖR

entwickelten sich die Importe Deutschlands bis 2040 zunächst rückläufig. In der Folge stiegen sie nochmals an und lagen in 2050 mit 2,4 Mio. t und 2,3 Mio. t rund 2 Mio. t unter dem Niveau von 2012. Im NPS-RES schwankten die Importmengen über den Simulationshorizont zwischen 4,0 Mio. m³ und 5,0 Mio. m³. Damit entsprachen sie durchgehend dem gegenwärtigen Niveau. Die Importe auf europäischer Ebene sanken zu Beginn der Simulation leicht ab und stiegen schlussendlich bis 2050 leicht über das Niveau von 2012 an, wobei sich die Entwicklungen zwischen BAS-REF und HPS-FÖR nicht nennenswert unterschieden.

Abbildung 4.3.6b: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel von „Zellstoff“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



Die höhere Importquote Deutschlands ließ im NPS-RES auch die gesamteuropäischen Importe wachsen, allerdings betrug die Differenz nur rund 50 % der Mehrimporte nach Deutschland. Im Umkehrschluss musste der Import anderer Staaten geringer als in den anderen Szenarien sein. Im

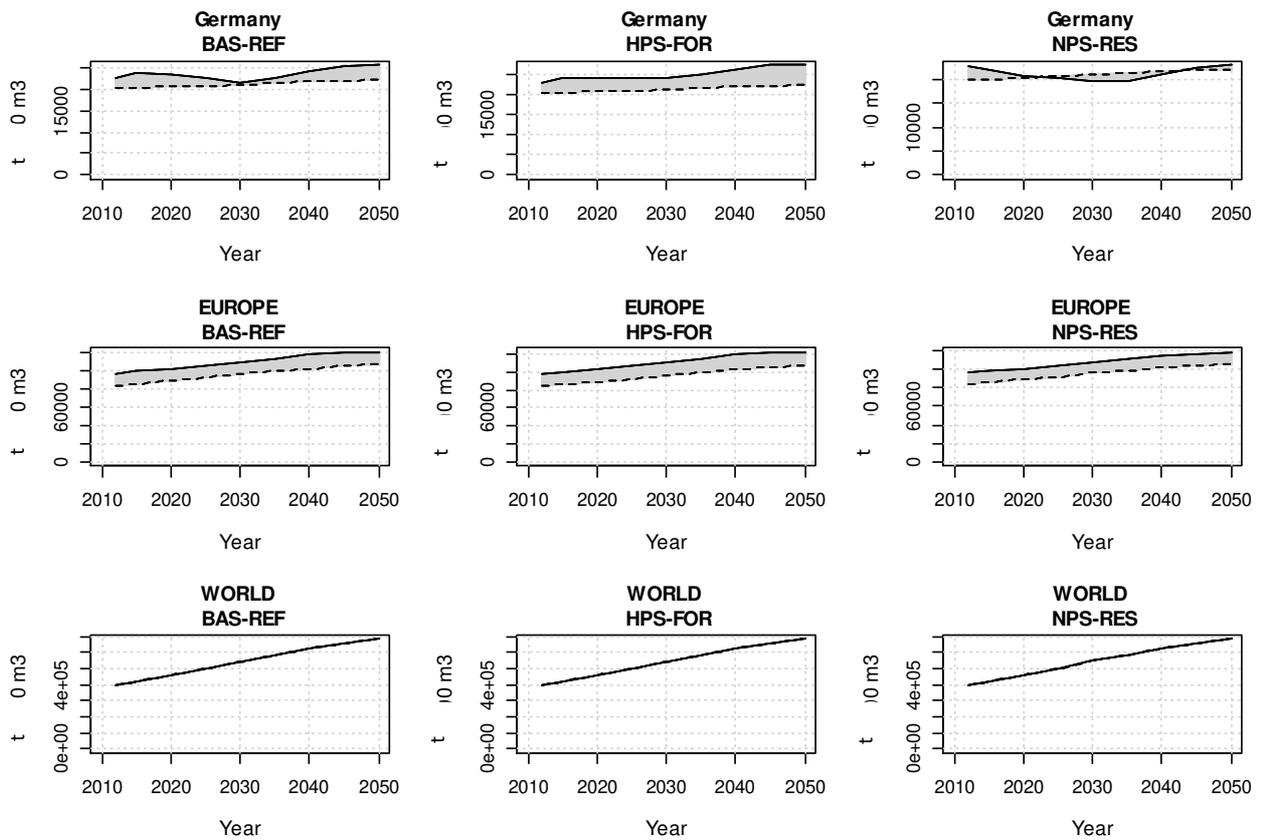
BAS-REF und im HPS-FÖR stieg in Deutschland durch die Mehrproduktion von Zellstoff bei gleichzeitig vermindertem Außenhandel der Verbrauch von Zellstoff bis 2045 um 0,6 Mio. t und 1,1 Mio. t zunächst an bis er in der letzten Simulationsperiode mit 4,9 Mio. t und 5,4 Mio. t auf das Ausgangsniveau fiel. Mit dem Einbruch der Produktion von Zellstoff im NPS-RES ging der inländische Verbrauch von Zellstoff in Deutschland vorerst zurück. Im Szenarienverlauf wuchs er, zur Gänze durch Importe gedeckt, wieder auf bis zu 4,2 Mio. t an und lag im Jahr 2050 schlussendlich rund 1 Mio. t unter dem Niveau von 2012. In Europa war, anders als Deutschland, der Zellstoffverbrauch in allen Szenarien kontinuierlich rückläufig. Dieser Effekt war im Szenario NPS-RES am stärksten ausgeprägt.

4.3.7 Papier und Pappe

In Summe stieg die Produktionsleistung des Sektors Papier und Pappe in allen Szenarien an. Die stärksten Zuwächse verzeichnete das HPS-FÖR, die Schwächsten das Szenario NPS-RES. Im Vergleich zum BAS-REF war das Produktionsniveau im HPS-FÖR höher. Die Differenz war in Deutschland und Europa mengenmäßig ähnlich und betrug für Deutschland 1,4 und für Europa 1,5 Mio. t mehr als im BAS-REF. Im Umkehrschluss bedeutete dies, dass die Mengenänderungen Deutschlands nicht innerhalb des europäischen Marktes ausgeglichen wurden. Im NPS-RES sank die Produktion bis 2050 im Vergleich zum BAS-REF um 2,5 Mio. t, im Vergleich zum HPS-FÖR um 3,9 Mio. t. Rund 1 Mio. t der Produktionssenkung wurde in beiden Fällen durch den europäischen Markt korrigiert, so dass die gesamteuropäische Produktionsleistung im Jahr 2050 zwischen den Szenarien weniger stark auseinanderging als die deutsche Produktionsleistung. Global waren die Mengeneffekte noch geringer. Die Exporte aus Deutschland und Europa änderten sich in enger Anlehnung an die jeweilige Produktionsleistung. Sowohl die Importe und als auch der Verbrauch von Papier und Pappe unterlagen im Vergleich von 2012 bis 2050 keinen nennenswerten Änderungen.

Vergleicht man die Unterschiede in der Produktionsleistung des Sektors Papier und Pappe in den drei Szenarien mit den Unterschieden im Gesamtverbrauch an Holz- und Zellstoff durch den Sektor wird deutlich, dass die Veränderungen stets gleichgerichtet waren, auch wenn sie quantitativ nicht übereinstimmen. Dabei überstiegen die Unterschiede in der Produktionsleistung des Sektors Papier und Pappe stets die Unterschiede, die sich im Verbrauch von Holz- und Zellstoff zwischen den Szenarien ergaben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Holz- und Zellstoff nur einen Teil des Inputmixes stellten und der Einsatz von Altpapier bei Papier und Pappe hoch war und weiterhin an Relevanz gewinnt.

Abbildung 4.3.7: Ergebnisse der Holzmarktmodellierung zu Produktion, Verbrauch und Netto-Handel im Sektor von „Papier und Pappe“. Die deutsche, europäische und weltweite Produktion ist durch die durchgezogene Linie repräsentiert, der deutsche und europäische Verbrauch durch die gestrichelte Linie und der Netto-Handel (Export-Import) durch die graue Fläche zwischen den Linien. Liegt die durchgezogene über der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel positiv (Produktion>Verbrauch), liegt die durchgezogene unter der gestrichelten Linie, so ist der Netto-Handel negativ (Produktion<Verbrauch). In diesem Fall ist Deutschland oder Europa Netto-Importeur.



Alle Ergebnisse der Szenarien sind in den Tabellen A1 bis A4 im Anhang aufgeführt.

5 Diskussion und Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Weiterentwicklung des globalen Holzmarktmodells GFPM zum GFPM_{CNC} sowie die anschließende Verknüpfung des globalen Holzmarktmodells mit WEHAM, einem Modell zur Abschätzung der Waldentwicklung und des potenziellen Holzaufkommens in Deutschland. Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes „WEHAM-Szenarien“ erfolgte auf diese Weise eine ganzheitliche und systematische Analyse von Auswirkungen unterschiedlicher Waldbehandlungsmöglichkeiten und Rohholzaufkommen auf die sozio-ökonomische Komponente „Holzmarkt“. Aufgrund ihrer grundlegenden Eigenschaften sind die benannten Modelle, trotz unterschiedlicher regionaler Bezugsrahmen, prinzipiell für eine Kopplung geeignet. In erster Instanz können beide Modelle, GFPM und WEHAM für eine systematische Szenarienanalyse genutzt werden. Beide Modelle simulieren, ceteris paribus, mögliche Entwicklungspfade unter Berücksichtigung vorabgestimmter Modellvariablen und exogener Parameter.

Das GFPM ist ein partielles Gleichgewichtsmodell, entwickelt für die Modellierung langfristiger Trends. Es ist nicht dazu konzeptioniert worden, kurze Zeiträume genau abzubilden oder präzise jährliche Vorhersagen zu machen (Andersson et al. 1986, Prestemon und Buongiorno 2012). Vergleichbares gilt grundsätzlich auch für WEHAM. Beide hier zur Anwendung kommenden Modelle sind zur Betrachtung von Entwicklungen über mehrere Dekaden geeignet. Allerdings unterscheiden sich die den Modellen zugrundeliegenden Annahmen zur Entwicklung von Waldfläche. In WEHAM ist der bestockte Holzboden konstant, während das im GFPM integrierte Waldwachstumsmodell von einer Änderung der Gesamtwaldfläche in Abhängigkeit historischer und zukünftiger gesellschaftlicher Entwicklungen ausgeht. Dies ist jedoch für die vorliegende Arbeit vernachlässigbar. Durch die Vorgabe einer maximalen Primärholzproduktionsrate sollte eine Obergrenze für die Holzproduktion im GFPM_{CNC} gesetzt werden. Relevant für die Kopplung der Modelle ist jedoch, dass sich die Primärholzprodukte in Definition und Dimension unterscheiden. Dies ist den unterschiedlichen nationalen und internationalen Standards geschuldet, die in den Modellen zur Anwendung kommen. Für die vorliegende Arbeit wurde daher eine mehrstufige Methode zur Harmonisierung der Daten entwickelt. Dieser Schritt war entscheidend, um die Ergebnisse und Informationen aus WEHAM für die Weiterverarbeitung und Analyse mit dem GFPM aufzuarbeiten. Ebenfalls entscheidend war, dass das Holzaufkommen in WEHAM eine potentielle Erntemenge ist. Die Berechnung des potentiellen Holzaufkommens erfolgte in WEHAM in Abhängigkeit der modellierten Waldbehandlung. Es handelte sich hierbei nicht um eine Menge, die durch den Markt nachgefragt und somit tatsächlich eingeschlagen wird. Folgendes Beispiel verdeutlicht dies: Nach WEHAM ergab sich für die Periode 2015 bis 2020 ein potenzielles Holzaufkommen von rund 10 Mio. m³ Laubholz pro Jahr. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass diese Menge tatsächlich geerntet würde, da der Markt sie nicht nachfragt. Der Potentialansatz hinter WEHAM gibt insofern Informationen darüber, was und wieviel unter dem jeweiligen Waldbehandlungsregime geerntet werden könnte. Alle weiterführenden Analysen, die eine vollständige Nutzung des Holzerntepotentials annehmen, können zu irreführenden Ergebnissen führen. Dieses Risiko wurde in der vorliegenden Arbeit auf zweierlei

Weise adressiert: Zum einen wurde die Holznutzung über die in GFPM_{CNC} modellierte Marktnachfrage abgeleitet, zum anderen wurden nicht genutzte Potenziale in ein sogenanntes stehendes Lager überführt und standen damit für eine spätere Nutzung zur Verfügung.

Zentrale Komponente der Weiterentwicklung des Holzmarktmodells GFPM_{CNC} war die jeweilige Ausdifferenzierung der Produkte „Rundholz für die stoffliche Nutzung“ sowie „Schnittholz“ in der Modellstruktur des GFPM in „Laub“ und „Nadel“. Das GFPM_{CNC} unterscheidet folglich zwischen den Rohstoffen Laub- und Nadelrohholz in der stofflichen Holzverwendung. Im Folgenden produzierte der Schnittholzsektor ebenfalls zwei verschiedene Produkte: Laub- und Nadel Schnittholz. Diese Modellerweiterung erlaubte eine der Empirie angepasste Analyse sich verändernder Angebotspotentiale alternativer Waldentwicklungs- und Holzaufkommensszenarien.

Holzwerkstoffe, Holzschliff und Zellstoff konnten im GFPM_{CNC} sowohl aus Laubholz als auch aus Nadelholz oder einem Mix aus beiden Rohstoffen hergestellt werden. Der Rohstoffmix wurde im Zuge der Re-Kalibrierung der Modelleingangsdaten und Parametern mit Hilfe einer solver-basierenden Zielwertprogrammierung bestimmt.

Die Erweiterung von Modellstruktur und Datenbasis im GFPM_{CNC} erfordert die Re-Kalibrierung des Modells. Die Harmonisierung und Optimierung der Eingangsdaten für die vorliegende Arbeit konnte nach Umsetzung einer Reihe von technischen und analytischen Modifikationen erfolgreich abgeschlossen werden. Notwendige Modifikationen an verschiedenen Modellkomponenten bezogen sich auf die Umstrukturierung der Eingangsdaten, das Einlesen und Weiterverarbeiten von Daten und auf die Neufassung der multivariaten Zielwertprogrammierung zur Datenoptimierung im Zuge der Modellkalibrierung. Weiter wurde die Quelldatei für die Szenariensimulationen, die alle relevanten Daten und Steuerparameter bündelt, angepasst und in Testläufen auf ihre Eignung hin geprüft. Die Ergebnisse der WEHAM- und der Holzverwendungsszenarien zum Energieholzverbrauch wurden mit den Eingangsdaten für die Holzmarktmodellierung in der Quelldatei für die Simulationen verschnitten. Das Holzerntepotential an Laub- und Nadelholz aus dem heimischen Wald, welches in den Simulationsperioden für eine energetische oder stoffliche Verwendung nutzbar ist, wurde hierfür in den Rahmen des GFPM_{CNC} übersetzt. Hierbei wurden auch die Ergebnisse der Modellierung von Totholzvorräten, die zum Aufbau eines gewünschten Totholzvorrats im Wald benötigt werden, berücksichtigt. Ausgehend von szenarienspezifischen Totholznachlieferungsraten für die vier Baumartengruppen wurden individuell gewichtete Abzüge vom potentiell verfügbaren Laub- und Nadelrohholzaufkommen je Holzartengruppe und Sortiment hergeleitet.

Die Ergebnisse der Szenariensimulationen zeigten, dass - wenn nicht durch die aus der WEHAM resultierenden Holzaufkommensmodellierung limitiert - sowohl die inländische Nadel- als auch die Laubholzproduktion für eine stoffliche Nutzung bis 2050 steigen würde. Jedoch wurden nicht in allen Szenarien und in jedem Jahr die aus der Holzaufkommensmodellierung resultierenden Abschätzungen der verfügbaren Potentiale abgeschöpft und genutzt. Ist das Primärholz jedoch geerntet, das heißt produziert, worden wurde es in der Folge weit überwiegend durch die holzbear-

beitenden Sektoren im Land verwendet. Die Nachfrage nach Nadelrohholz durch die holzbearbeitenden Sektoren überstieg in jedem der drei hier betrachteten Szenarien das heimische Angebot, selbst wenn die Produktion von Primärholz in Abhängigkeit der verfügbaren Potentiale zunahm. Damit setzte sich der vor rund einer Dekade begonnen Trend steigender Nadelrohholzeinfuhren in den Szenarien – unterschiedlich stark ausgeprägt – fort.

In Abhängigkeit des szenarienspezifischen Angebots an Primärholz für die stoffliche Nutzung wuchs die Produktionsleistung der holzbearbeitenden Industrie in den drei hier verglichenen Szenarien unterschiedlich stark (Tabelle A1). So führte beispielsweise das wachsende Rohholzangebot im Szenario HPS-FÖR zu einer deutlichen Ausweitung der Produktion von Schnittholz und Holzwerkstoffen. Die Entwicklung der inländischen Nachfrage wurde durch das damit steigende Angebot an diesen Holzprodukten nur marginal beeinflusst (Tabelle A4). Produzierte Mehrmengen wurden nicht von inländischen Verbrauchern abgeschöpft, sondern exportiert. Dank der global kontinuierlich steigenden Nachfrage nach Holzprodukten wurden im Inland produzierte Mengen auch von ausländischen Verbrauchern nachgefragt. Die wachsende Produktion und Ausfuhr (Tabelle A3) von Holzwaren im BAS-REF und HPS-FÖR wirkte sich positiv auf die nationale Handelsbilanz aus. Die steigende Produktivität in den holzbearbeitenden Sektoren könnte auch auf eine positive Entwicklung anderer Kennzahlen, wie beispielsweise die Arbeitsplatzentwicklung, hindeuten. Für Untersuchungen dieser Art siehe auch Meyer und Schweinle (2017).

Auf der anderen Seite sank beispielsweise im Szenario NPS-RES mit einer Begrenzung des inländischen Rohholzangebots auch die Entwicklung der Produktionsleistung von Holzwaren. Die im Vergleich zu den anderen Szenarien konstante inländische Nachfrage wurde durch eine Verminderung der Exportvolumina bei gleichzeitiger Steigerung der Importvolumina weiter bedient. Diese Verschiebung im Außenhandel wirkte sich im Vergleich zu den anderen beiden Szenarien aber negativ auf die nationale Handelsbilanz aus. Durch eine vergleichsweise geringe Produktionsleistung war die sektorale Entwicklung – und damit verbundene Auswirkungen auf andere gesellschaftliche Bereiche - vergleichsweise nachteilhaft.

Zusammenfassend kann in dieser Arbeit festgehalten werden:

- Szenarien sind keine Vorhersagen, sondern dienen dem Aufzeigen möglicher Entwicklung und zukünftiger Gestaltungsräume. Ihre Ergebnisse helfen, Folgewirkungen verschiedener Handlungsoptionen sichtbar zu machen. Doch sollten sie immer verstanden werden als das, was sie sind: Modellergebnisse
- Modelergebnisse sind stets ein Produkt ihrer Modelumgebung und dahinterliegender Annahmen. Dieser Limitierungen bewusst, zeigten die in der vorliegenden Arbeit betrachteten Ergebnisse, dass:
 - Wenn nicht durch das WEHAM-Rohholzpotential limitiert, stieg die inländische Produktion von Primärholz für die stoffliche Nutzung.
 - Nicht alle szenarienspezifischen Potentiale wurden durch den Markt im jeweiligen Jahr der (potentiellen) Bereitstellung absorbiert. Insbesondere in Hinblick auf die Mobilisierung von

Laubholzressourcen blieb die gesamte Rohholzproduktion, bei bestehenden Nachfrage und Preismustern, über den Simulationshorizont hinter dem Potential zurück (Ausnahme NPS-RES).

- Inländisch produziertes Rohholz wurde zu allergrößten Anteilen von der inländischen holzbearbeitenden Industrie verwendet.
- Langfristig überstieg die Nachfrage nach Nadelrundholz für die stoffliche Nutzung in jedem Szenario die inländische Produktion.
- Rohholzimporte variierten zwischen den Szenarien stark in Abhängigkeit der simulierten Produktionsvolumina der holzbearbeitenden Sektoren.
- Fehlende Holzrohstoffe wurden zu großen Teilen durch eine Senkung der inländischen Produktionsleistung in den holzbearbeitenden Sektoren kompensiert.
- In Abhängigkeit der inländischen Verfügbarkeit von Rohholz für die stoffliche Nutzung stieg die Produktionsleistung der holzbearbeitenden Industrie unterschiedlich stark über die betrachteten Dekaden.
- Der inländische Verbrauch an holzbasierten Waren durch Konsumenten wurde durch variierende Produktionsmengen nicht beeinflusst und war in den drei betrachteten Szenarien trotz deutlicher Unterschiede in der Primärholzproduktion sehr ähnlich.
- Steigende Produktionsleistungen der holzbearbeitenden Industrie führten nicht zu einer steigenden Verwendung auf Absatzmärkten im Inland. Mehrpotentiale wurden nicht durch inländischen Mehrverbrauch abgeschöpft sondern exportiert.

In der längerfristigen Perspektive wäre es jedoch nicht ausgeschlossen, dass eine steigende inländische Nachfrage nach Holzprodukten in Endverwendungssektoren auch zu einer steigenden Weiterverarbeitung der produzierten Halbwaren in Deutschland führen könnte. Eine Beschränkung des Rohholzangebots auf der anderen Seite könnte zu nachteiligen sozio-ökonomischen Effekten führen, die eine Reduktion der Produktionsaktivitäten des heimischen holzbearbeitenden Sektors oder eine vermehrte Einfuhr von Rohholz und Holzwaren beinhalten würde.

Literaturverzeichnis

- ANDERSSON AE, KALLIO M, SEPPÄLÄ R (1986) Systems Analysis for the Forest Sector. In: Kallio M, Andersson AE, Seppälä R, Morgan A (eds) Systems Analysis in Forestry and Forest Industries, Studies in the Management Science. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam: 1-26
- BUONGIORNO J (2015) Global modelling to predict timber production and prices: the GFPM approach Forestry: An International Journal of Forest Research 88:291-303
- Buongiorno J, Raunihar R, Zhu S (2011): Consequences of increasing bioenergy demand on wood and forests: An application of the Global Forest Products Model Journal of Forest Economics. Journal of Forest Economics 17:214-229
- BUONGIORNO J, ZHU S (2013): Consequences of carbon offset payments for the global forest sector Journal of Forest Economics 19:384-401
- BUONGIORNO J, ZHU S, ZHANG D, TURNER JA, TOMBERLIN D (2003): The global Forest Products Model. Structure, Estimation, and Applications. Acad. Press, Amsterdam [u.a.]
- DIETER M, ENGLERT H, KLEIN M (2001): Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft/Universität Hamburg, Hamburg
- DÖRING P, GLASENAPP S, MANTAU U (2017a): Holz- und Zellstoffstudie 2015 - Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg
- DÖRING P, GLASENAPP S, MANTAU U (2017b): Holzwerkstoffindustrie 2015 - Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg
- DÖRING P, GLASENAPP S, MANTAU U (2017c): Sägeindustrie 2015 - Einschnitt und Produktionsvolumen. Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg
- FAO (2014) Yearbook Forest Products 2010-2014. FAO Forestry Series. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome
- JOCHEM D, WEIMAR H, BÖSCH M, MANTAU U, DIETER M (2015): Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood, European Journal of Forest Research 134: 869-888
- JOHNSTON CMT, VAN KOOTEN GC (2016): Global trade impacts of increasing Europe's bioenergy demand Journal of Forest Economics 23:27-44
- JOHNSTON CMT, BUONGIORNO J (2017): Impact of Brexit on the forest products industry of the United Kingdom and the rest of the world Forestry: An International Journal of Forest Research 90:47-57
- KRAMER H, KRÜGER HH (1981): Vorrat und Nutzungsmöglichkeiten forstlicher Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland, Der Forst und Holzwirt 36:33-37
- KROIHER F, OEHMICHEN K (2010): Das Potenzial der Totholzakkumulation im deutschen Wald, Schweiz Z. Forstwesen, 161(5), S. 171-180.
- MANTAU U (2012): Standorte der Holzwirtschaft, Holzrohstoffmonitoring, Holzwerkstoffindustrie – Kapazitätsentwicklung und Holzrohstoffnutzung im Jahr 2010. Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg
- MANTAU U, DÖRING P, GLASENAPP S, BLANKE C (2017): Szenarien der stofflichen und energetischen Holzverwendung, AFZ-DerWald 13/2017

- NEPAL P, INCE PJ, SKOG KE, CHANG SJ (2012): Projection of U.S. forest sector carbon sequestration under U.S. and global timber market and wood energy consumption scenarios, 2010–2060 *Biomass and Bioenergy* 45:251-264
- OEHMICHEN K, Röhling S, Dunger K, Gerber K, Klatt S (2017): Ergebnisse und Bewertung der alternativen WEHAM-Szenarien, *AFZ-DerWald* 13/2017
- PRESTEMON JP, BUONGIORNO J (2012) The North American Forest Sector Outlook Study 2006-2030. United Nations Economic Commission for Europe-Food and Agricultural Organization Report, Geneva
- ROCK J, DUNGER K, MARKS A, SCHMIDT U, SEINTSCH B (2016): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre: ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 64 S
- ROSENKRANZ L, SELZER A, SEINTSCH B, DUNGER K, DÖRING P, GERBER K, GLASENAPP S, KLATT S, KUKULKA F, MEIER-LANDSBERG E, LINDE A, MANTAU U, OEHMICHEN K, REISE J, RÖHLING S, SAAL U, SCHIER F, SCHWEINLE J, WEIMAR H, WINTER S (2017a): Verbundforschungsbericht WEHAM-Szenarien Stakeholderbeteiligung bei der Entwicklung und Bewertung von Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien, Thuenen Working Paper 73, Hamburg, 80 S
- SCHIER F, MORLAND C, JANZEN N, WEIMAR H (2018): Impacts of changing coniferous and non-coniferous wood supply on forest product markets – A German scenario case study, *European Journal of Forest Research*, unpublished Manuscript
- SEINTSCH B, ROSENKRANZ L, SELZER A, DÖRING P, DUNGER K, GERBER K, GLASENAPP S, KLATT S, LINDE A, MANTAU U, MEIER-LANDSBERG E, OEHMICHEN K, REISE J, RÜTER S, SAAL U, SCHWEINLE J, SCHIER F, WENZ E, WEIMAR H, WINTER S (2017): Das WEHAM-SzenarienVerbundforschungsprojekt, *AFZ-DerWald* 13/2017
- THÜNEN-INSTITUT (2014), Dritte Bundeswaldinventur (BWI) 2012 - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 01.06.2017
- THÜNEN-INSTITUT (2016), Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) 2012 - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info>, Aufruf am: 01.06.2017
- TURNER JA, BUONGIORNO J, KATZ A, ZHU S (2008): Implications of the Russian roundwood export tax for the Russian and global wood products sectors *Scandinavian Journal of Forest Research* 23:154-166
- VAN KOOTEN GC, JOHNSTON C (2014): Global impacts of Russian log export restrictions and the Canada–U.S. lumber dispute: Modeling trade in logs and lumber *Forest Policy and Economics* 39:54-66

Datenbanken

FAO (2010) Global Forest Resources Assessment 2010 FAO, FAO Forestry Papers 163, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome

FAOSTAT (2016) FAO Statistics Division. www.faostat3.fao.org

World Bank (2016) World Development Indicators. The World Bank Group. <http://data-bank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators>

Anhang

1 Szenarienergebnisse

Tabelle A1: Produktion

			Simulationsperiode								
	Sz.	Region	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Nadelholz	HPS FÖR	Deu	36,3	40,7	43,9	47,1	51,3	55,1	58,6	61,9	63,2
		Europa	128,4	134,1	142,2	150,5	159,2	163,8	168,8	173,3	174,2
		Welt	480,2	491,9	510,2	531,3	554,5	565,2	578,6	591,3	596,5
	NPS RES	Deu	36,3	32,6	36,6	40,8	46,0	40,9	39,2	37,6	35,7
		Europa	128,4	130,3	138,7	147,3	156,5	158,1	161,4	164,0	164,0
		Welt	480,2	489,2	507,4	528,6	552,0	563,1	576,9	590,7	598,5
	BAS REF	Deu	36,3	36,4	35,7	31,2	32,1	33,5	34,6	33,3	31,5
		Europa	128,4	132,5	139,1	144,4	151,7	155,4	159,6	162,1	162,5
		Welt	480,2	492,0	510,3	530,7	553,9	565,4	579,4	592,1	598,7
Laubholz	HPS FÖR	Deu	5,0	5,4	6,1	6,9	7,9	8,6	9,4	10,4	11,4
		Europa	66,9	70,6	76,6	83,1	90,2	96,5	101,9	108,0	113,6
		Welt	700,0	729,2	783,7	847,0	914,6	950,2	982,2	1.015,5	1.027,2
	NPS RES	Deu	5,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Europa	66,9	67,1	71,5	77,3	83,2	89,2	94,0	99,0	103,6
		Welt	700,0	728,9	783,0	845,9	912,6	948,6	981,3	1.014,5	1.026,1
	BAS REF	Deu	5,0	5,3	5,8	6,3	7,2	8,3	9,6	11,1	12,9
		Europa	66,9	70,5	76,3	82,7	89,7	96,2	101,9	108,4	114,4
		Welt	700,0	729,4	784,2	848,2	916,2	951,6	983,6	1.016,6	1.028,2
Nadel-schnittholz	HPS FÖR	Deu	21,0	22,6	25,6	28,7	32,2	36,2	40,9	46,6	53,6
		Europa	45,6	48,7	54,7	61,0	67,6	72,5	79,2	86,6	93,7
		Welt	145,5	151,3	160,6	170,9	182,1	190,4	199,4	209,4	217,1
	NPS RES	Deu	21,0	23,0	25,9	29,0	32,4	30,4	30,8	30,9	31,7
		Europa	45,6	49,1	55,1	61,6	68,3	71,7	77,1	82,4	86,8
		Welt	145,5	151,4	160,7	171,0	182,1	189,7	198,3	207,9	215,4
	BAS REF	Deu	21,0	20,9	21,5	21,2	23,0	24,9	27,1	29,3	32,4
		Europa	45,6	48,1	53,1	58,2	64,2	68,8	74,9	81,1	86,6
		Welt	145,5	151,1	160,3	170,2	181,3	189,5	198,4	208,0	215,6
Laub-schnittholz	HPS FÖR	Deu	1,0	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,8	3,3	3,9
		Europa	4,7	5,0	5,4	6,0	6,7	7,4	8,4	9,6	10,6
		Welt	58,2	60,1	63,3	66,6	69,0	71,3	73,4	75,7	78,4
	NPS RES	Deu	1,0	0,4	0,0	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3
		Europa	4,7	4,7	4,8	5,3	6,0	6,7	7,6	8,6	9,5
		Welt	58,2	59,9	63,1	66,4	68,7	71,0	73,1	75,4	78,0
	BAS REF	Deu	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9	3,4	4,1
		Europa	4,7	5,0	5,5	6,0	6,7	7,5	8,5	9,6	10,7
		Welt	58,2	60,1	63,3	66,6	69,0	71,3	73,4	75,7	78,4
Holzwerkstoffe	HPS FÖR	Deu	12,4	12,5	13,4	14,7	16,3	18,0	20,5	24,9	30,4
		Europa	57,7	61,1	68,5	77,8	89,7	101,4	114,9	131,6	148,8
		Welt	339,2	370,4	428,8	499,1	582,0	638,5	699,7	769,4	828,7
	NPS RES	Deu	12,4	9,5	10,1	10,7	12,4	10,9	10,0	9,8	9,2
		Europa	57,7	58,4	65,9	74,6	86,6	96,9	109,0	122,9	137,0
		Welt	339,2	368,3	427,3	496,7	579,5	635,2	695,7	764,9	823,9
	BAS REF	Deu	12,4	12,3	13,0	13,7	15,4	17,1	20,2	24,8	31,6
		Europa	57,7	60,9	68,0	76,9	88,8	100,5	114,2	130,5	148,6
		Welt	339,2	370,3	428,5	498,5	581,4	637,8	698,8	768,2	827,7

Produktionsmenge [Mio m³]

Fortsetzung	Tabelle	A1	Simulationsperiode									
			Sz.	Region	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Holzschliff	HPS FÖR	Deu		1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8
		Europa		5,4	5,1	4,4	3,9	3,5	2,9	2,5	1,9	1,6
		Welt		14,3	13,7	12,6	11,4	10,1	8,5	7,3	6,1	5,1
	NPS RES	Deu		1,1	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
		Europa		5,4	4,9	4,2	3,7	3,3	2,7	2,3	1,7	1,4
		Welt		14,3	13,5	12,3	11,2	9,9	8,3	7,2	5,9	4,9
	BAS REF	Deu		1,1	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7
		Europa		5,4	5,0	4,4	3,8	3,3	2,8	2,4	1,8	1,5
		Welt		14,3	13,6	12,5	11,2	9,9	8,4	7,3	6,0	5,1
Zellstoff	HPS FÖR	Deu		1,6	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	5,0	4,6	3,2
		Europa		13,7	14,1	14,3	14,6	14,9	14,7	13,8	12,8	11,6
		Welt		69,5	70,9	72,9	75,2	77,6	78,8	79,8	79,9	78,3
	NPS RES	Deu		1,6	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
		Europa		13,7	12,9	12,9	12,9	12,9	12,5	11,5	10,6	10,0
		Welt		69,5	70,6	72,5	75,0	77,5	78,7	79,7	79,7	78,1
	BAS REF	Deu		1,6	2,2	2,6	2,2	2,7	3,4	3,9	3,5	2,7
		Europa		13,7	14,0	14,1	14,1	14,2	14,1	13,2	12,3	11,3
		Welt		69,5	70,8	72,8	75,0	77,5	78,6	79,6	79,6	78,0
Papier und Pappe	HPS FÖR	Deu		22,8	24,0	24,2	23,9	24,2	25,0	26,3	27,3	27,2
		Europa		96,7	100,0	102,6	106,0	111,0	114,9	118,9	121,2	121,9
		Welt		398,0	419,3	456,2	498,6	547,1	585,0	621,8	654,7	681,9
	NPS RES	Deu		22,8	22,3	20,9	20,3	19,6	19,9	21,1	22,5	23,2
		Europa		96,7	98,4	100,2	103,3	107,1	110,6	114,6	117,0	118,7
		Welt		398,0	418,6	455,5	498,1	546,6	584,3	620,7	653,1	680,2
	BAS REF	Deu		22,8	23,8	23,5	22,5	21,6	22,8	24,4	25,6	25,7
		Europa		96,7	99,8	102,0	104,8	108,7	113,0	117,4	119,8	120,3
		Welt		398,0	419,2	456,0	498,2	546,6	584,6	621,0	653,7	680,8

Tabelle A2: Export

	Sz	Region	Simulationsperiode								
			2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Nadelholz	HPS FÖR	Deu	3,9	3,3	2,4	1,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,4
		Europa	13,8	13,5	13,8	14,1	15,4	16,6	18,0	19,5	20,1
	NPS RES	Deu	3,9	4,0	3,0	2,2	1,6	1,2	0,9	0,7	0,5
		Europa	13,8	13,8	13,7	13,6	14,6	15,9	17,4	19,3	20,5
	BAS REF	Deu	3,9	3,3	2,4	1,8	1,3	1,0	0,7	0,5	0,4
		Europa	13,8	13,7	14,0	14,4	15,3	16,5	18,1	19,6	21,5
Laubholz	HPS FÖR	Deu	1,4	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1
		Europa	11,1	11,2	12,0	13,4	15,4	18,1	19,8	21,8	23,2
	NPS RES	Deu	1,4	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1
		Europa	11,1	11,2	12,0	13,3	15,1	17,7	19,7	21,5	22,9
	BAS REF	Deu	1,4	1,2	0,9	1,1	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3
		Europa	11,1	11,2	12,0	13,9	15,9	18,5	20,2	22,0	23,4
Nadelschnitt holz	HPS FÖR	Deu	6,6	7,5	9,3	11,5	14,3	17,7	22,0	27,3	33,9
		Europa	21,0	22,1	25,5	29,5	33,6	37,1	42,7	49,6	56,8
	NPS RES	Deu	6,6	7,5	9,3	11,5	14,3	12,4	12,5	12,3	12,8
		Europa	21,0	22,3	25,8	30,0	34,2	36,6	41,0	45,9	50,5
	BAS REF	Deu	6,6	5,8	5,4	4,3	5,4	6,6	8,3	10,2	12,7
		Europa	21,0	21,4	24,0	26,7	30,2	33,2	38,3	44,0	49,6
Laubschnitt holz	HPS FÖR	Deu	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,4	3,0
		Europa	2,2	2,2	2,3	2,5	3,0	3,5	4,3	5,2	6,2
	NPS RES	Deu	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0
		Europa	2,2	2,1	2,1	2,3	2,6	3,1	3,7	4,6	5,4
	BAS REF	Deu	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,6	3,3
		Europa	2,2	2,1	2,1	2,3	2,6	3,1	3,7	4,6	5,4
Holzwerk- stoffe	HPS FÖR	Deu	5,8	5,0	4,7	5,1	6,3	7,6	9,9	13,8	19,0
		Europa	29,0	27,4	28,0	32,3	40,1	49,5	61,1	75,8	92,9
	NPS RES	Deu	5,8	4,9	4,8	5,3	6,4	4,5	3,4	2,9	2,1
		Europa	29,0	27,6	28,9	33,6	41,8	49,2	59,1	71,5	85,7
	BAS REF	Deu	5,8	4,9	4,3	4,3	5,5	6,8	9,5	13,7	20,0
		Europa	29,0	27,2	27,7	31,6	39,6	48,7	60,2	74,6	92,3
Holzschliff	HPS FÖR	Deu	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	NPS RES	Deu	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	BAS REF	Deu	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Zellstoff	HPS FÖR	Deu	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
		Europa	6,1	6,3	6,9	7,7	8,5	8,9	8,4	8,1	7,9
	NPS RES	Deu	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
		Europa	6,1	6,3	6,8	7,6	8,5	9,0	8,5	8,1	7,8
	BAS REF	Deu	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
		Europa	6,1	6,3	6,8	7,6	8,5	9,0	8,5	8,1	7,8
Papier und Pappe	HPS FÖR	Deu	13,6	12,8	10,4	8,9	8,7	8,7	9,4	9,8	7,8
		Europa	63,6	58,0	48,7	43,6	42,9	42,3	42,6	43,3	41,4
	NPS RES	Deu	13,6	12,6	9,6	7,0	5,2	4,2	4,5	5,2	4,1
		Europa	63,6	57,8	48,3	42,2	39,7	38,4	38,6	39,1	38,3
	BAS REF	Deu	13,6	12,6	9,5	6,9	5,5	6,0	7,2	7,9	6,4
		Europa	63,6	57,8	47,8	41,6	39,8	39,7	40,7	41,4	39,7

Tabelle A3: Import

	Sz	Region	Simulationsperiode								
			2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	
Nadelholz	HPS	Deu	7,9	7,2	8,7	10,6	12,9	15,7	19,1	23,2	28,2
		Europa	20,9	20,3	22,2	25,2	29,2	32,3	37,1	43,5	51,7
	NPS	Deu	7,9	7,0	5,7	4,7	4,2	5,1	6,2	7,5	9,2
		Europa	20,9	20,6	21,3	22,9	25,7	30,2	35,3	41,4	49,1
	BAS	Deu	7,9	8,9	10,9	13,2	16,1	19,5	23,8	28,9	35,2
		Europa	20,9	21,1	23,1	26,4	30,6	34,7	40,6	47,8	56,7
Laubholz	HPS	Deu	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
		Europa	23,4	22,1	20,1	19,1	18,4	17,0	14,8	12,8	12,0
	NPS	Deu	0,6	0,7	0,9	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4
		Europa	23,4	22,2	20,2	18,9	18,3	17,3	16,1	15,0	15,1
	BAS	Deu	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
		Europa	23,4	22,1	20,2	19,7	19,0	17,5	15,3	13,0	12,2
Nadel-schnittholz	HPS	Deu	4,0	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3
		Europa	15,1	13,7	12,4	11,3	10,2	9,8	9,8	10,3	11,2
	NPS	Deu	4,0	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3
		Europa	15,1	13,7	12,4	11,3	10,2	9,7	9,7	10,2	11,1
	BAS	Deu	4,0	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3
		Europa	15,1	13,6	12,2	11,0	9,8	9,4	9,3	9,8	10,8
Laubschnittholz	HPS	Deu	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
		Europa	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
	NPS	Deu	0,5	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
		Europa	2,2	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2
	BAS	Deu	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
		Europa	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
Holzwerkstoffe	HPS	Deu	5,0	4,1	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,2	0,9
		Europa	27,5	24,3	20,7	19,5	20,1	21,1	22,7	24,6	26,9
	NPS	Deu	5,0	5,2	5,4	4,4	3,7	3,3	3,0	2,7	2,5
		Europa	27,5	25,2	23,1	21,9	22,6	22,6	23,8	26,0	28,5
	BAS	Deu	5,0	4,1	3,0	2,4	1,9	1,7	1,4	1,0	0,7
		Europa	27,5	24,3	20,7	19,5	20,1	20,9	22,3	24,2	26,3
Holzschliff	HPS	Deu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	NPS	Deu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	BAS	Deu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Europa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Zellstoff	HPS	Deu	4,3	3,7	2,9	2,2	1,7	1,3	1,4	1,8	2,3
		Europa	8,8	8,5	8,1	8,0	8,2	8,4	8,7	9,0	9,0
	NPS	Deu	4,3	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,3	4,5	4,0
		Europa	8,8	9,1	8,8	9,0	9,4	9,7	10,1	10,3	9,8
	BAS	Deu	4,3	3,7	2,9	2,8	2,1	1,8	1,7	2,2	2,4
		Europa	8,8	8,5	8,1	8,3	8,4	8,6	8,9	9,2	9,0
Papier und Pappe	HPS	Deu	11,0	9,1	6,8	5,8	5,6	5,2	5,0	4,6	3,1
		Europa	51,3	44,1	35,3	30,1	28,1	27,1	26,5	26,9	26,4
	NPS	Deu	11,0	10,2	9,0	7,4	6,7	5,8	5,3	4,8	3,2
		Europa	51,3	45,0	36,9	31,2	28,7	27,3	26,6	26,9	26,2
	BAS	Deu	11,0	9,1	6,6	5,1	5,0	4,8	4,7	4,3	3,1
		Europa	51,3	44,1	34,9	29,2	27,2	26,3	25,9	26,4	26,1

Tabelle A4: Verbrauch

	Sz	Region	Simulationsperiode								
			2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Nadelholz	HPS FÖR	Deu	40,3	44,6	50,2	56,0	62,8	69,8	76,9	84,6	91,1
		Europa	135,5	140,9	150,6	161,5	173,0	179,5	187,9	197,3	205,8
	NPS RES	Deu	40,3	35,6	39,4	43,3	48,5	44,8	44,5	44,5	44,4
		Europa	135,5	137,0	146,3	156,6	167,6	172,3	179,2	186,1	192,6
	BAS REF	Deu	40,3	42,0	44,1	42,6	46,8	52,1	57,7	61,7	66,3
		Europa	135,5	139,9	148,2	156,3	166,9	173,6	182,2	190,2	197,8
Laubholz	HPS FÖR	Deu	4,2	4,8	5,7	6,7	7,8	8,8	9,8	11,0	12,2
		Europa	79,1	81,5	84,7	88,7	93,3	95,5	96,9	99,0	102,4
	NPS RES	Deu	4,2	1,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	1,1	1,3
		Europa	79,1	78,2	79,6	82,9	86,4	88,7	90,4	92,4	95,7
	BAS REF	Deu	4,2	4,7	5,4	5,5	6,6	7,8	9,3	10,8	12,8
		Europa	79,1	81,4	84,5	88,5	92,8	95,2	97,0	99,3	103,3
Nadel- schnittholz	HPS FÖR	Deu	18,5	18,5	18,7	19,0	19,2	19,4	19,6	19,8	20,0
		Europa	39,7	40,4	41,5	42,8	44,1	45,2	46,2	47,3	48,1
	NPS RES	Deu	18,5	18,9	19,1	19,2	19,4	18,9	19,0	19,0	19,2
		Europa	39,7	40,6	41,7	42,9	44,2	44,9	45,8	46,7	47,4
	BAS REF	Deu	18,5	18,4	18,5	18,6	18,9	19,2	19,4	19,5	20,0
		Europa	39,7	40,3	41,4	42,5	43,8	44,9	46,0	46,9	47,8
Laubschnitt- holz	HPS FÖR	Deu	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
		Europa	4,8	4,8	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6
	NPS RES	Deu	0,8	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
		Europa	4,8	4,6	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4
	BAS REF	Deu	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
		Europa	4,8	4,9	5,1	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,6
Holzwerk- stoffe	HPS FÖR	Deu	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,3
		Europa	56,2	58,0	61,2	65,1	69,6	73,0	76,5	80,4	82,8
	NPS RES	Deu	11,6	9,7	10,7	9,7	9,7	9,6	9,6	9,6	9,6
		Europa	56,2	56,0	60,0	62,9	67,3	70,2	73,6	77,4	79,8
	BAS REF	Deu	11,6	11,6	11,7	11,7	11,9	12,0	12,1	12,1	12,3
		Europa	56,2	57,9	61,1	64,8	69,4	72,7	76,3	80,1	82,7
Holzschliff	HPS FÖR	Deu	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9
		Europa	5,4	5,1	4,4	3,9	3,5	3,0	2,5	2,0	1,6
	NPS RES	Deu	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
		Europa	5,4	4,9	4,2	3,7	3,3	2,8	2,3	1,8	1,4
	BAS REF	Deu	1,2	1,2	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8
		Europa	5,4	5,1	4,4	3,8	3,4	2,9	2,4	1,9	1,5
Zellstoff	HPS FÖR	Deu	4,9	5,2	5,2	5,2	5,5	5,8	6,1	6,2	5,4
		Europa	16,3	16,2	15,6	14,9	14,6	14,2	14,0	13,8	12,7
	NPS RES	Deu	4,9	4,1	3,3	3,5	3,5	3,7	4,0	4,3	3,9
		Europa	16,3	15,7	14,8	14,2	13,7	13,2	13,1	12,8	12,0
	BAS REF	Deu	4,9	5,0	4,8	4,4	4,4	4,8	5,3	5,5	4,9
		Europa	16,3	16,1	15,5	14,8	14,2	13,7	13,6	13,4	12,5
Papier und Pappe	HPS FÖR	Deu	20,2	20,3	20,6	20,8	21,1	21,6	21,9	22,1	22,5
		Europa	84,4	86,1	89,2	92,5	96,2	99,7	102,7	104,9	106,9
	NPS RES	Deu	20,2	20,0	20,3	20,7	21,1	21,5	21,9	22,1	22,3
		Europa	84,4	85,7	88,8	92,3	96,1	99,5	102,6	104,7	106,7
	BAS REF	Deu	20,2	20,3	20,6	20,7	21,1	21,6	21,9	22,1	22,4
		Europa	84,4	86,1	89,2	92,4	96,1	99,6	102,6	104,7	106,7

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliographie; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Schier F, Weimar H (2018) Holzmarktmodellierung – Szenarienbasierte Folgenabschätzung verschiedener Rohholzangebotssituationen für den Sektor Forst und Holz. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 57 p, Thünen Working Paper 91, DOI: 10.3220/WP1523005251000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



Thünen Working Paper 91

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI: 10.3220/WP1523005251000
urn:nbn:de:gbv:253-dn059786-5