

# Langfristige Auswirkungen einer verstärkten Energieholznachfrage auf Österreichs Kohlenstoffbilanz: Eine Szenarienanalyse

Effects of an increase in wood fuel demand in Austria. A scenario analysis

Martin BRAUN, Peter SCHWARZBAUER und Tobias STERN

## Zusammenfassung

Diese Studie untersucht die Auswirkungen einer verstärkten Nachfrage nach Energieholzsportimenten. Dazu wurde für ein Holzmarktmodell ein „Energie“-Szenario entwickelt und mit einem Referenzszenario verglichen. Während im Referenzszenario die Entwicklungen in der Forst- und Holzwirtschaft der letzten Jahre im Trend fortgeschrieben werden, wird angenommen, dass bei einer energieorientierten Ressourcenpolitik die Nachfrage nach Brennholz bis 2100 um ca. 20% steigt. Die verstärkte Energieholznachfrage führt zu einem geringeren CO<sub>2</sub>-Senkeneffekt. Die Simulation zeigt, dass ein alleiniger Fokus auf verstärkte energetische Nutzung einen um ca. 40 Gt CO<sub>2</sub>eq geringeren Sequestrierungseffekt bei Holzprodukten bewirkt als im Referenzszenario.

**Schlagerworte:** Holzprodukte, Treibhausgase, Kohlenstoffbilanzierung, Holzmarktmodell, System Dynamics

## Summary

In this study the effects of an increasing future demand for wood fuel were investigated. For this purpose a forest sector model was used and an “energy”-scenario was developed to be compared with a reference scenario. While the evolution of the forest-based sector is following trends of the recent years in the reference scenario, it was assumed that in the energy scenario an energy-focused policy would increase demand for wood fuel by about 20% until 2100. Increased wood fuel

demand leads to a lower CO<sub>2</sub>-sequestration effect. This would have negative impacts on the domestic forest-based sector. The simulation shows that a sole focus on the energetic use of wood results in 40 Gt CO<sub>2</sub>eq less stored in harvested wood products.

**Keywords:** harvested wood products, greenhouse gases, carbon accounting, forest sector model, system dynamics

## 1. Einleitung

Sowohl der letzte Sachstandsbericht (AR5) des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) als auch der Sachstandsbericht 2014 des österreichischen Klimarates (APCC) haben wieder auf die Dringlichkeit von möglichst baldigen Klimaanpassungsmaßnahmen hingewiesen, um das Risiko von schädlichen klimawandelinduzierten Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu minimieren (IPCC, 2013, 19; APCC, 2014, 14ff). Auch Österreich hat sich als Mitgliedsstaat der Europäischen Union (EU) mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls (KP) dazu verpflichtet, Treibhausgasemissionen (THG Emissionen) zu überwachen, zu dokumentieren und über sie zu berichten. Auf der 17. UN-Klimakonferenz in Durban 2011 (COP 17) wurde vereinbart, für die zweite Verpflichtungsperiode des KP Holzernstprodukte (Harvested Wood Products, HWP) nach dem Produktionsansatz (Production Approach, PA) zu berücksichtigen. Nach dem PA werden alle Änderungen im HWP-Kohlenstoffvorrat (C-Vorrat) dem produzierenden Land zugerechnet, d.h. dem Land, in dem das Holz eingeschlagen und zu Halbprodukten verarbeitet wird. Der PA legt einen Schwerpunkt auf die zeitliche Dimension des Auf- bzw. Abbaus von C-Vorräten, während der örtliche Verbleib aufgrund der Zuordnung zum produzierenden Land nicht im Detail erfasst werden muss (die Erfassung der Importe und Exporte und deren Anteile in der Holzproduktkette ist ausreichend; LIM et al., 2008, 209).

Um dieser Verpflichtung zur ganzheitlicheren Betrachtung in der Forst- und Holzwirtschaft Rechnung zu tragen, bietet es sich an, die etablierten Systemgrenzen der Holzmarktmodellierung um die Dimension der C-Bilanzierung zu erweitern. Mit einem Fokus auf die zukünftige Entwicklung des C bei HWP kann bei einer integralen

Herangehensweise eine Lücke in der Darstellung von Kohlenstoffflüssen im waldbasierten Sektor geschlossen werden.

Weil zu erwarten ist, dass die Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen starke mittel- bis langfristige Auswirkungen auf die Bereitstellung von Biomasse haben wird (MANTAU et al., 2010, 43) und weil Holzbiomasse die Hauptquelle für Bioenergie in Österreich ist (SCHWARZBAUER et al., 2013, 13), bietet sich die Simulation eines Energieszenarios an, um einen Vergleich zu möglichen Effekten einer stark biomasseorientierten Energiepolitik zu untersuchen.

Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: Welche Effekte ergeben sich durch eine gesteigerte energetische Nutzung von Holzbiomasse bis 2100 auf die Forst- und Holzwirtschaft im Hinblick auf C-Flüsse?

## 2. Methoden

Zur Simulation wurde ein auf dem Modell FOHOW (Forst- und Holzwirtschaft, cf. SCHWARZBAUER, 1993, 16ff) aufbauendes semi-quantitatives dynamisches Modell verwendet, das im Programm Stella (ISEE SYSTEMS, 2014) realisiert wurde. Das Modell kann für die Simulation von Szenarien im Sinne einer „was-wäre-wenn“-Analyse adaptiert werden. In dem dieser Studie zugrunde liegenden Projekt HoKoPo (HolzKohlenstoffPool) wurde das Referenzszenario mit vier Szenarien verglichen. Für die vorliegende Fragestellung ist der Vergleich des Szenarios „Referenzszenario“ (R) mit „Verstärkte Bereitstellung von Energieholzsortimenten aus dem Wald“ (E) relevant.

Das Modell umfasst die gesamte österreichische Forst- und Holzwirtschaft, angefangen beim Wald über intermediäre bis hin zu Halbfertigprodukten, und berücksichtigt zwei Regionen: Österreich ist als eine Region abstrahiert, die abhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung mit einer hypothetischen Rest-der-Welt (RdW) Region interagiert. Während ein Modul Holzvorräte und -Flüsse entlang der Holzproduktkette simuliert (Struktur vgl. SCHWARZBAUER, 1993), berücksichtigt ein zweites Modul Holzströme für Holz aus sonstigen

Quellen.<sup>1</sup> Ein drittes Modul führt eine THG-Bilanzierung unter Berücksichtigung von Senkeneffekten durch.

## 2.1 Szenarienanalyse

In Szenario R folgt die weitere Nachfrage nach Holz sowohl vom Aufkommen her als auch bei der Bewirtschaftung dem Trend der letzten Jahre (historische Daten je nach Verfügbarkeit 1965–2010, Simulationszeitraum: 2010–2100). Die Rahmenbedingungen, die die Forst- und Holzwirtschaft beeinflussen, bleiben weitgehend konstant. In Szenario R sind folgende Annahmen enthalten: die Umsetzung des Nationalen Aktionsplans für erneuerbare Energie 2010 (National Renewable Energy Action Plan, NREAP) sowie die erwartete wirtschaftliche Entwicklung laut Prognosen der OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) und des IMF (International Monetary Fund) für das BIP (Bruttoinlandsprodukt) sowie der IEA (International Energy Agency) für den Ölpreis<sup>2</sup> (OECD, 2013, 106f; IEA, 2014, 48; IMF 2013, s.p.).

In Szenario E wird angenommen, dass der NREAP 2010 weiterentwickelt wird und dass daher die Nachfrage nach Energieholz (=Stellgröße) durch eine politisch induzierte Forcierung der Nutzung von Waldbiomasse für energetische Nutzung bis zum Ende des Jahrhunderts um 20%<sup>3</sup> zunimmt.

## 2.2 Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -flüsse

Die Berechnung der C-Vorräte und der damit assoziierten Veränderungen erfolgte entsprechend den KP-Richtlinien (Tier 2;

---

<sup>1</sup> Mit Anteilen an: Rinde, Kappholz, Flur- und Landschaftspflegeholz, Post-Consumer Wood (Altholz), Abfälle der Holzverarbeitenden Industrie, Schwarzlauge.

<sup>2</sup> Nach 2050 wird angenommen, dass das Wirtschaftswachstum jährlich real 1,5% für Österreich und 2,2% für die OECD beträgt. Bis 2040 entwickelt sich der Ölpreis entsprechend der IEA Prognose (IEA, 2014, 48; „current policies scenario“, real prices). Danach bleibt die Veränderung konstant (durchschnittliche Änderung 2010 bis 2040).

<sup>3</sup> Stellgrößen für die Szenarien wurden in einem gemeinsamen Stakeholderworkshop der BOKU, des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) und des Umweltbundesamts (UBA) im Austausch mit 30 ExpertInnen ermittelt.

IPCC, 2014, 2110). Weil nach dem PA nur Holz aus heimischer Produktion anrechenbar ist, müssen für jede HWP-Kategorie unter Berücksichtigung der Importströme für Rohholz die Inlandsanteile je HWP-Kategorie und Jahr berechnet werden. In Folge können mit Hilfe der in den KP-Richtlinien genannten Umrechnungsfaktoren die C-Flüsse für diese Anteile ermittelt werden (IPCC, 2014, 2122). Um den Aufbau von C-Vorräten zu ermitteln, müssen Lebensdauerzyklen („service life“) bekannt sein oder ermittelt werden. Diese werden in der THG-Bilanzierung als Halbwertszeiten berücksichtigt.<sup>4</sup> Das bedeutet, dass eine gegen Null konvergierende Funktion (exponentieller Zerfall) formuliert wird, bei der nach Ablauf der Halbwertszeit 50% des jeweiligen Produkts das System wieder verlassen haben (z.B. durch Entsorgung). Werden diese jährlichen negativen (HWP „end-of-use“) und positiven (Konsum im In- und Ausland) C-Flüsse kumuliert, dann kann die Entwicklung der C-Vorräte über die Simulationsperiode dargestellt werden. Für das vorliegende Projekt wurden in den KP-Richtlinien angegebene Standardwerte herangezogen (Projektvorgabe; IPCC, 2014, 2123).

### 2.3 Modellvalidierung

Das vorliegende Modell wurde mit Hilfe von älteren Ergebnissen des Modells FOHOW, das sich bereits mehr als 30 Jahre lang bewährt hat, überprüft und validiert. Mittels eines Back-Casting-Ansatzes (i.e. das Modell wird für vergangene Zeiträume oder rückwärts betrieben) wurden Simulationen für den Zeitraum 1965–2010 getätigt und das Modell mit historischen Daten validiert. Hierfür wurden die drei Hauptvariablen Nadel- und Laubschnittholz, Span- und Faserplatten sowie Papier und Pappe mit Hilfe einer Zeitreihenanalyse verglichen. Die Analyse zeigte, dass die Mittelwerte der historischen Daten adäquat vom Modell repräsentiert werden und die Korrelation zwischen beiden Zeitreihen sehr hoch ist.

Die Volatilität der Residuen der validierten Variablen (Halbfertigprodukte, Brennholz, Holz aus sonstigen Quellen) ist signifikant größer

---

<sup>4</sup> Z.B. wird für Span- und Faserplatten eine Halbwertszeit von 25 Jahren angenommen. Dies bedeutet, dass von den im Jahr 2010 erworbenen Platten bis zum Jahr 2035 50% entsorgt werden.

als die Simulationsergebnisse, was durch eine Grundeigenschaft von System-Dynamics-Modellen bedingt ist: Diese repräsentieren aufgrund ihrer Struktur mittel- bis langfristige Entwicklungen; Prognosen für einen gewissen Zeitpunkt werden nicht oder nur marginal repräsentiert (FORRESTER, 2013, 214ff; BARLAS, 1996, 185ff).

### 3. Ergebnisse

Für beide Szenarien wurden Kohlenstoffflüsse für die Halbfertigprodukte (Schnittholz, Platten, Papier), für Brennholz (aus dem Wald zzgl. Sägenebenprodukte) sowie für energetisch genutztes Holz aus sonstigen Quellen berechnet.

#### 3.1 Auswirkungen auf die HWP-Vorräte

Die Simulationen zeigen, dass eine Einflussnahme auf eine verstärkte energetische Nutzung sich erst langfristig (ab ca. 2050) auswirkt. Bis zum Ende des Jahrhunderts beträgt der Unterschied in den aufgebauten C-Vorräten für HWP zwischen Szenario R und Szenario E ca. 40 Gg CO<sub>2</sub>eq (Gigagramm CO<sub>2</sub> Äquivalente).

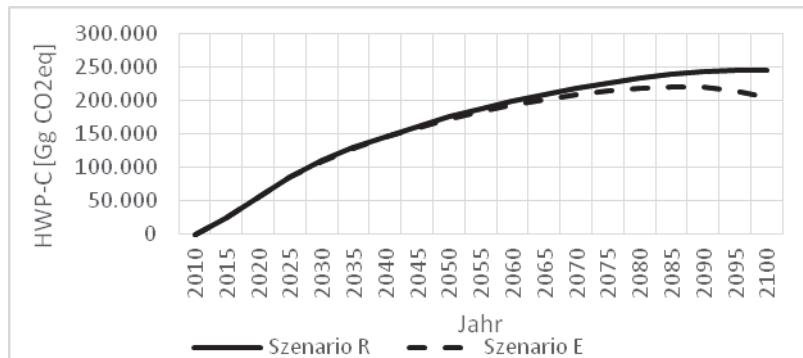


Abb. 1: Aufbau der HWP-C-Vorräte von 2010 bis 2090 [Gg CO<sub>2</sub>eq]. C-Vorräte im Referenzjahr 2010 zur besseren Vergleichbarkeit Null gesetzt (historisch: Zwischen 1965 und 2010 wurde ein Vorrat von ca. 216.000 Gg CO<sub>2</sub>eq aufgebaut).  
Quelle: EIGENE SIMULATION

Für Szenario E geht der Kohlenstoffspeichereffekt zurück, weil durch die starke Nachfrage nach Energieholz die aufgebauten HWP-Vorräte

geringer ausfallen (Abbildung 1). Gegen Ende des Jahrhunderts wird durch Übernutzung zur Deckung der Nachfrage nach Energieholz das Laubholz knapp, was den Knick in Abbildung 2 für Szenario E erklärt. Dies führt dazu dass die HWP zu einer Quelle werden.

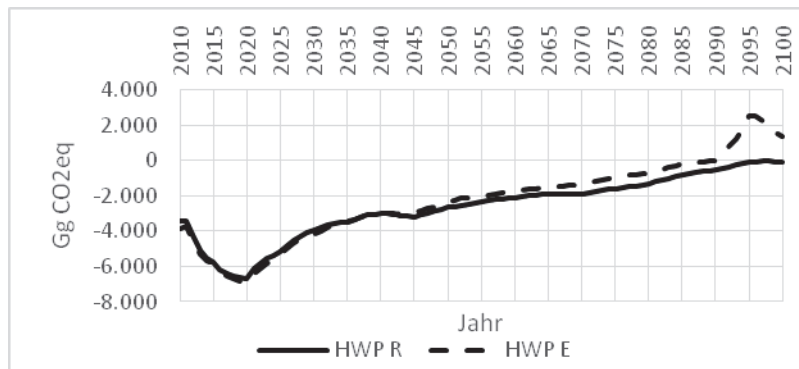


Abb. 2: Jährliche netto C-Flüsse zu/von HWP. HWP beinhalten folgende Halbfertigproduktkategorien: Nadelschmittholz, Laubschmittholz, Span- und Faserplatten, Papier und Papp

Quelle: EIGENE SIMULATION

### 3.2 Auswirkungen auf Kohlenstoffflüsse zur energetischen Nutzung

Die Größe der C-Flüsse der energetisch genutzten Holzbiomasse (Abbildung 3) steht in unmittelbarem Zusammenhang mit den HWP-C-Flüssen.

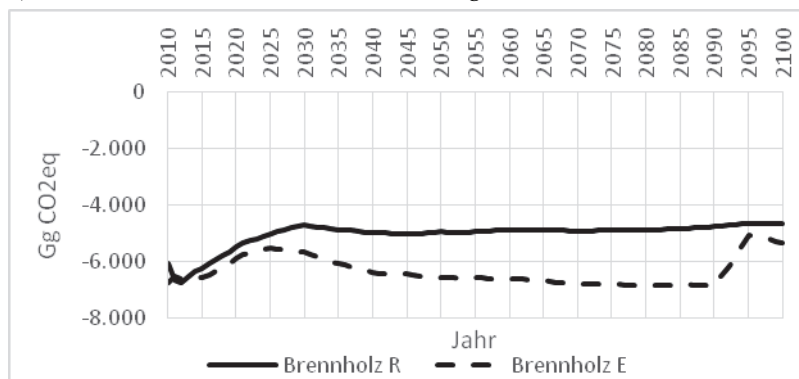


Abb. 3: Jährliche C-Flüsse zu Brennholz (Brennholz aus dem Wald und SNP)

Quelle: EIGENE SIMULATION

Einerseits, weil dieses Holz teilweise nicht mehr für die stoffliche Nutzung zur Verfügung steht, andererseits, weil das Aufkommen an Holz zur energetischen Nutzung direkt an die Produktionsvolumina der stofflichen Nutzung gekoppelt ist. Dies wird durch Holzstromanalysen der letzten Jahre bestätigt: Durchforstungen haben einen geringen Anteil am energetischen Gesamteinsatz von Holz (vgl. z.B. STRIMITZER und NEMESTOTHY, 2012).

Auch beim Holz aus sonstigen Quellen (Rinde, Kappholz/Übermaß, Ernterückstände, Holzabfälle der verarbeitenden Industrie, Altholz und Schwarzlaube) sind die C-Flüsse bei Szenario E bis 2075 stärker ausgeprägt, wo dann aufgrund der angebotsseitigen Ressourcenverknappung auch die C-Flüsse zurückgehen (Abbildung 4).

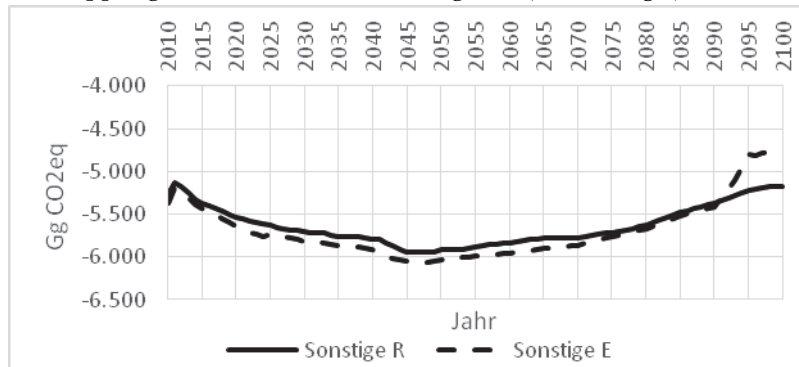


Abb. 4: Jährliche C-Flüsse von energetisch genutztem Holz aus sonstigen Quellen  
Quelle: EIGENE SIMULATION

#### 4. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Analyse zeigt, dass es möglich ist, einen langfristig wirksamen C-Speicher aufzubauen. Ähnlich wie bei C-Dynamiken im Wald kann zwischen HWP-Zuflüssen und Abflüssen ein dynamisches Equilibrium erreicht werden (das sich analog zu homöostatischen Systemen verhält). Dieser Effekt kann durch eine Forcierung zur C-Speicherung in besonders langlebigen HWP zwar verlängert werden, jedoch sind dem HWP-Zuwachs durch die Nutzungsdauern Grenzen gesetzt.

Der Vergleich der drei aggregierten Kategorien an C-Flüssen (HWP, energetische Nutzung und sonstige Quellen) zeigt, dass das Volumen



an C-Flüssen zur energetischen Nutzung in beiden Szenarien höher ist (auch in Szenario R wird der größere Teil energetisch genutzt) als das Volumen der Flüsse zur langfristigen stofflichen Nutzung (für Nadel- und Laubschnittholz, Span- und Faserplatten, Papier und Pappe). Hier ist jedoch zu beachten, dass C-Flüsse von Holz aus sonstigen Quellen direkt von der stofflichen Nutzung abhängen und diese im Durchschnitt für ca. 2/3 des C-Flusses für die energetische Nutzung mitverantwortlich ist (wie auch in STRIMITZER und NEMESTOTHY, 2012). Der Vergleich der beiden Szenarien führt damit zu der Schlussfolgerung, dass eine effiziente energetische Nutzung eine größtmögliche stoffliche Nutzung voraussetzt, die gleichzeitig einen langfristig wirksamen HWP-Vorrat aufbaut. Die C-Flüsse sind wie ein forst- und holzwirtschaftlicher Ouroboros: Die Zukunft der energetischen Nutzung als letztes („end-of-life“) bzw. erstes (atmosphärisches CO<sub>2</sub>) Glied im Holz-C-Kreislauf liegt in der Entwicklung von zusätzlichen Möglichkeiten der stofflichen Nutzung. Mit dieser lässt sich der HWP-Speicher zunächst maximieren und mit geeigneten wirtschaftspolitischen Maßnahmen in einem dynamischen Gleichgewicht halten. Das verringerte Aufkommen von Brennholz aus dem Wald kann in diesem Fall durch Sägenebenprodukte, Industrierestholz, Presslinge sowie durch Holz aus sonstigen Quellen kompensiert werden.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Substitutionseffekte (Substitution von energieintensiven - d.h. abiotischen, bzw. fossil basierten - Materialien sowie Vermeidung von THG-Emissionen; RÜTER et al., 2011, 19) ebenfalls eine immens wichtige Größe darstellen, welche in dieser Arbeit noch nicht inkludiert wurde.

### **Danksagung**

Die Studie ist ein Ergebnis des vom Klima- und Energiefonds geförderten Projektes mit dem Kurztitel HoKoPo (Nr. B287609). Dieses Projekt steht in enger Kooperation mit dem BFW und dem UBA.

### **Literatur**

- APCC (Austrian Panel on Climate Change) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien: Verlag der Österr. Akademie der Wiss.
- BARLAS, Y. (1996): Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12, 3, 183-210.

- BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2013): Holzeinschlag 2013. Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2013 (in Erntefestmetern ohne Rinde - Efm o.R.). Wien.
- FORRESTER, J. (2013): Industrial Dynamics. Nachdruck der Ausgabe 1961. Mansfield Centre, CT: Martino Publishing.
- IEA (International Energy Agency) (2013): World energy outlook 2013. Paris.
- IMF (International Monetary Fund) (2013): World Economic Outlook Database [online]. URL: <http://www.imf.org/> (22.05.2014).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Genf.
- ISEE SYSTEMS (2014): Stella. Systems Thinking for Education and Research [online]. URL: <http://www.iseesystems.com/softwares/Education/StellaSoftware.aspx> (12.04.2015).
- LIM, B., BROWN, S. und SCHLAMADINGER, B. (2008): Carbon accounting for forest harvesting and wood products: review and evaluation of different approaches. *Environmental Science and Policy*, 2, 207-216.
- MANTAU, U., SAAL, U., PRINS, K., STEIERER, F., LINDNER, M., VERKERK, H., EGGERS, J., LEEK, N., OLDENBURGER, J., ASIKAINEN, A. und ANITOLLA, P. (2010): EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2013): OECD Economic Outlook, Vol. 2013/1. Paris: OECD Publishing.
- RÜTER, S., ROCK, J., KÖTHKE, M. und DIETER, M. (2011): Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? *AFZ/Der Wald*, 15, 15-18.
- SCHWARZBAUER, P. (1993): Der österreichische Holzmarkt im Modell. EG - Waldsterben - Zellstoffmarkt. Wien: Universität für Bodenkultur.
- SCHWARZBAUER, P., WEINFURTER, S., STERN, T. und KOCH, S. (2013): Economic crises: Impacts on the forest-based sector and wood-based energy use in Austria. *Forest Policy and Economics*, 27, 13-22.
- STRIMITZER, L. und NEMESTOTHY, K. (2012): Holzströme in Österreich [online]. URL: <http://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz> (03.09.2014).

#### **Anschrift des Verfassers**

*Dipl.-Ing. Martin Braun MMSc und ao.Univ.Prof. Dr.Peter Schwarzbauer  
 Institut für Marketing & Innovation, Universität für Bodenkultur Wien  
 Priv.Do. DI Dr.Tobias Stern  
 Marktanalyse & Innovationsforschung, Wood K plus, Kompetenzzentrum Holz GmbH  
 Feistmantelstraße 4, 1180 Wien, Österreich  
 Tel.: +43 1 47654 3564  
 eMail: martin.braun@boku.ac.at*