

# Modellierung eines dynamischen Hackschnitzelmarktes: Ein Agenten-basierter Ansatz zur Simulation der Konkurrenzsituation zwischen Biomasseheizkraftwerken am Beispiel Kärnten

Florian BREITWIESER, Johannes SCHOLZ Peter MANDL

Florian Breitwieser, TU Graz Institut für Geodäsie – Arbeitsgruppe Geoinformation,  
Steyrergasse 30 – 8010 Graz, [florian.breitwieser@gmail.at](mailto:florian.breitwieser@gmail.at)

Johannes Scholz, TU Graz Institut für Geodäsie – Arbeitsgruppe Geoinformation,  
Steyrergasse 30 – 8010 Graz, +43 (316) 873 – 6353, [johannes.scholz@tugraz.at](mailto:johannes.scholz@tugraz.at)

Peter Mandl, Alpen-Adria-Universität Institut für Geographie und Regionalforschung,  
Universitätsstrasse 65-67, A-9020 Klagenfurt, +43 463 2700 3216, [peter.mandl@aau.at](mailto:peter.mandl@aau.at)

**Kurzfassung:** Energetische Nachhaltigkeit ist ein Begriff, der in der heutigen Gesellschaft immer mehr an Bedeutung gewinnt. Aus diesem Grund untersucht die hier vorgestellte Studie das Potential von Agenten-basierter Modellierung im Zusammenhang mit der Versorgungskette von Hackschnitzeln aus dem Wald zu den Fernwärmeheizwerken. Untersuchungsgebiet bildet das österreichische Bundesland Kärnten. Das umgesetzte Agenten-basierte Modell besteht aus drei Agententypen: den Waldeigentümern auf der Angebotsseite, den Heizkraftwerken auf der Nachfrageseite und den intermediär agierenden "Händlern". Die Eigentümer besitzen unterschiedliche wirtschaftliche Interessen, auf welche die Händler reagieren und transportkosten-optimiert handeln. Das Modell geht von einer autarken Holzversorgung im Untersuchungsgebiet aus und gibt die raumzeitliche Entwicklung der Transportdistanz, Erntemuster und Ernteverteilung in jährlichen Schritten wider. Die Ergebnisse bilden verschiedene Simulationsszenarien, die eine differenzierte Marktentwicklung abbilden sollen.

**Keywords:** Agenten-basierte Simulation, Biomasse, Waldhackgut, räumliche Simulation

## 1 Einleitung

Erneuerbare Energiequellen werden in Österreich durch Wasserkraft, Windenergie und Biomasse, z.B. in Form von Hackschnitzeln, zur Nah/Fernwärmeeinspeisung bereitgestellt. Durch gesellschaftlichen sowie politisch forcierten Stellenwert der nachhaltigen Energiebereitstellung gewinnt die wirtschaftlich optimierte Nutzung der Ressource Holz zur Energiegewinnung in Form von Hackschnitzeln immer mehr an Bedeutung [Madlener et. al. 2007].

Diese Arbeit hakt genau in diesem Themengebiet ein und beschäftigt sich mit der Modellierung, Simulation und Analyse der raumzeitlichen Zusammenhänge in der Versorgungskette von Hackschnitzeln. Aufbauend auf einer Studie von Scholz et. al. 2014 wird der Hackschnitzel-Markt mit einem Agenten-basierenden Modell abgebildet. Innerhalb dieses Modells konkurrieren die Biomassenheizwerksbetreiber um den in begrenztem Ausmaß zur

Verfügung stehenden Rohstoff Hackschnitzel und müssen dabei die verschiedenen Interessen der Waldeigentümer sowie die Transportkosten berücksichtigen.

Trotz der Aktualität des Forschungsfeldes finden sich in der Literatur nur wenige Arbeiten, die sich auf lokalem bzw. globalem Maßstab auch mit den dynamischen räumlichen Aspekten im Zusammenhang mit erneuerbaren Energiequellen beschäftigen [Cintas et. al. 2015, Sachelli et. al. 2013, Arbeitsplattform für Holz und Wald in Kärnten 2009].

Methodisch wird zur Simulation einer solchen Marktsituation bzw. Versorgungskette auf ein Agenten-basiertes Modell (ABM) zurückgegriffen. Ein ABM beschreibt und simuliert Systeme, denen autonom agierende Teilnehmer zugrunde liegen [Crooks & Heppenstall 2012]. Zentrales Merkmal ist die Interaktion dieser Agenten untereinander bzw. das Zusammenspiel mit einer modellierten Umwelt [Batty 2009, Mandl 2003]. Mandl (2003) betont hierbei die Verwendung von geographischer Information zur Modellierung der Umwelt. Des Weiteren zeigen die Arbeiten von Batty et. al. 2012, Johnston 2013, Kostadinov et. al. 2014 und O'Sullivan et. al. 2012, dass ABM bereits vielfältig zur Simulation von Realwelt-Phänomenen eingesetzt wird.

Der Artikel ist folgendermaßen aufgebaut: Abschnitt 2 beschreibt das umgesetzte Modell. In Abschnitt 3 werden die Ergebnisse vorgestellt und Abschnitt 4 bietet eine abschließende Diskussion und einen Ausblick.

## **2 Methoden**

Dieser Abschnitt beschreibt den methodischen Ansatz dieser Arbeit. Räumliche und tabellarische Daten werden im Zusammenhang mit ABM zur Simulation des lokalen Hackschnitzelmarktes herangezogen. Zudem gibt dieser Teil der Arbeit einen kurzen Überblick über die Eckdaten des Testgebiets Kärnten.

### **2.1 Untersuchungsgebiet**

Das österreichische Bundesland Kärnten bildet das im Modell berücksichtigte Testgebiet. Mit einem Waldflächenanteil von rund 57% zählt Kärnten, nach der Steiermark, zu den waldreichsten Bundesländern in Österreich. Im Testgebiet befinden sich 18 größere und kleinere, durch Biomasse befeuerte, Nah- und Fernwärmeheizwerke, welche um den Rohstoff Hackschnitzel konkurrieren. Die berücksichtigten Heizwerke weisen einen jährlichen Bedarf von ca. 240.000 fm Holz in Form von Hackschnitzeln auf. Erklärtes Ziel dieser Betriebe ist es, den Bedarf durch das lokal zur Verfügung stehende Hackschnitzelvolumen zu decken [Arbeitsplattform für Holz und Wald in Kärnten 2009].

Der Holzeinschlag in Kärnten lag laut Angaben der Landwirtschaftskammer Kärnten im Durchschnitt der letzten Jahre bei etwa 2,5 Mio. Erntefestmeter. Wichtigste Holzsortimente sind Sägerundholz (60%), Industrieholz (25%) und Brennholz (ca.15%) [Arbeitsplattform für Holz und Wald in Kärnten 2009].

Für das Modell wurden folgende Daten bereitgestellt: Informationen über Wald, beispielsweise Vorratsmenge, Alter und Waldart wurden auf Basis von Rasterdaten mit einer räumlichen Auflösung von 30 m mal 30 m durch die Landwirtschaftskammer Kärnten und das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) bereitgestellt. Diese Daten wurden zur

Modellierung des jährlichen Zuwachses und der jährlich zur Verfügung stehenden Einschlagsmenge herangezogen. Zur Berechnung der Transportkosten wurden ein Digitales Geländemodell (DGM), mit einer Auflösung von 10 m mal 10 m und der Straßendatensatz der Graphen Integrationsplattform (GIP) kombiniert. Das DGM wurde über das Open-Government-Portal des Landes Kärnten bezogen. Das Ziel der GIP ist es einen gemeinsamen österreichweiten Verkehrsgraphen und eine digitale Karte für das Verkehrsnetz zu schaffen [Heimbuchner 2017]. Die Daten für die Biomasseheizwerke (räumliche Position, jährlicher Bedarf usw.) wurden durch die Autoren erfasst.

## **2.2 Modellaufbau und -ablauf**

Methodisch wird diese dynamische Problemstellung in Form eines ABM umgesetzt. Um die Realität entsprechend abzubilden, wird ein raumzeitliches Modell definiert, welches folgende drei Agententypen berücksichtigt. Auf der Angebotsseite befinden sich die Eigentümer, die den Wald bewirtschaften und entscheiden ob Holz entnommen wird. Auf der Nachfrageseite stehen die Heizwerke, welche den jährlichen Bedarf an Biomasse decken müssen. Den intermediären Akteur bildet der Händler.

Das logische Grundprinzip des Modells ist in Abbildung 1 dargestellt. Durch ein einfaches Waldwachstumsmodell wird auf Basis der räumlichen Daten der jährliche Zuwachs berechnet. Dieses Modell basiert auf den Ertragstabellen [Marschall 1975] und waldbaulichen Maßnahmen nach Weinfurter 2013. Basierend auf dem Vorrat und dem Alter des Waldes sowie beziehend auf den Waldentwicklungsplan und aus dem Forstgesetz 1975 abgeleiteten Regeln, entnimmt der Eigentümer Holz aus dem Wald und bietet die entnommene Menge an. Bei der Entnahme werden Faktoren wie Ernteverluste und Hackgutanteil berücksichtigt. Die Händler haben die Aufgabe den Bedarf der Heizwerke transport- und kosten-optimiert zu decken, wobei genau ein Händler einem Heizwerk zugeordnet ist.

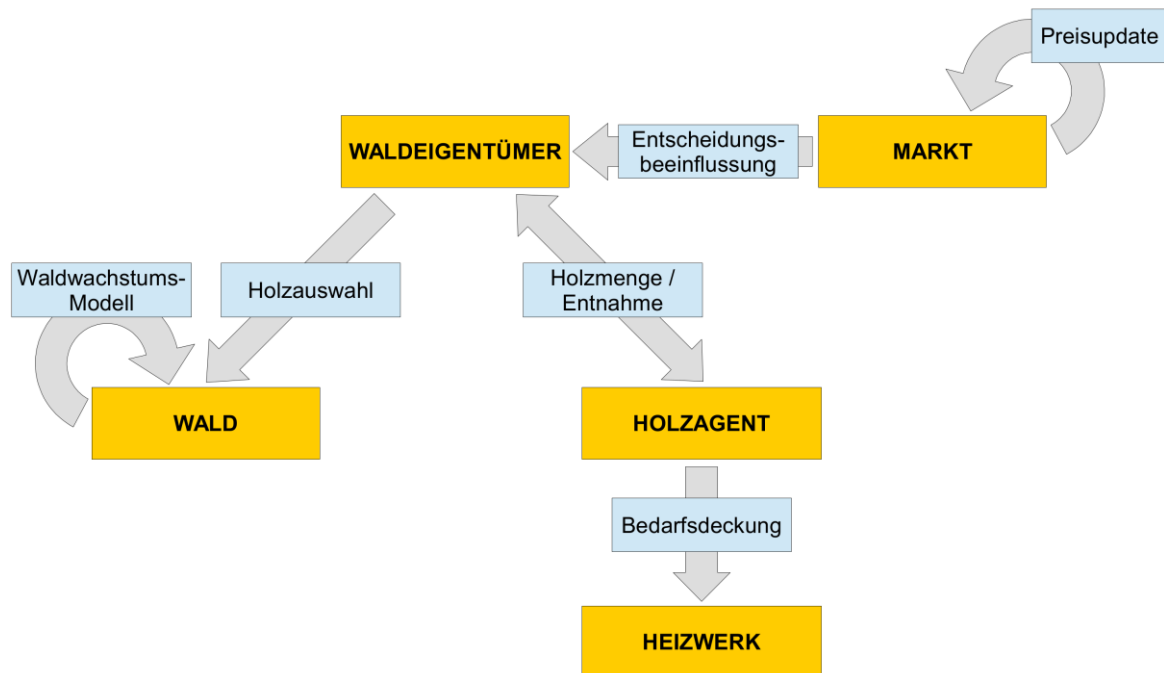


Abbildung 1: Aufbau des Modells und Zusammenspiel der modellierten Agenten.

Außerdem werden im Modell die Eigentumsstrukturen des Waldes und die daraus resultierenden Einzelinteressen der Eigentümer berücksichtigt. Die ca. 20.000 Waldeigentümer, welche den Wald bewirtschaften und entscheiden ob Holz entnommen wird, können folgendermaßen unterschieden werden [Eckmüller 1964, Jöbstl 1986]:

- Kleinwald (< 200 ha)
- Großwald (200-1.000 ha)
- forstwirtschaftliche Betriebe (> 1.000 ha) und die staatlichen Österreichischen Bundesforste AG

Die privaten Kleinwaldbesitzer weisen ein volatiles Nutzungsverhalten auf, da eine gleichmäßige Nutzung oft nicht möglich ist. Grundsätzlich wird also Holz entnommen, wenn Material- oder finanzieller Bedarf besteht [Eckmüller 1964, Arbeitsplattform für Holz und Wald in Kärnten 2009]. Im Gegensatz dazu stehen die kommerziell ausgerichteten forstwirtschaftlichen Betriebe (> 1.000 ha), welche aufgrund laufender Kosten langfristig konstante Erntemengen bereitstellen. Forstbetriebe sind hinsichtlich der Holzendnutzung weniger preiselastisch [Jöbstl 1986, Schwarzenbauer et. al. 2009]. Die Entscheidungen der Eigentümer beeinflussen dabei die jährlich zur Verfügung stehende Menge an Holz und in weiterer Folge auch das Hackschnitzelvolumen. Als weiterer Faktor kommt der Markt hinzu. Dieser beeinflusst das Verhalten der Agenten von außen durch die Entwicklung des Holzpreises.

Die Simulation des Modells läuft rundenbasiert ab und setzt auf Iterationszyklen von einem Jahr. Für die Simulation werden verschiedene Szenarien definiert, welche im Hinblick auf die raumzeitliche Entwicklung der Transportdistanz, Entnahmeverteilung und der Holzvorratsentwicklung analysiert werden.

## 2.3 Validierung

Die Validierung des Modells erfolgt über eine Sensitivitätsanalyse und einen Vergleich mit bestehenden historischen Entnahmezahlen in Bezug auf die Zeitspannen (1994-1996, 2000-2002 und 2007-2009) der Österreichischen Waldinventur (ÖWI). Durch die Verwendung

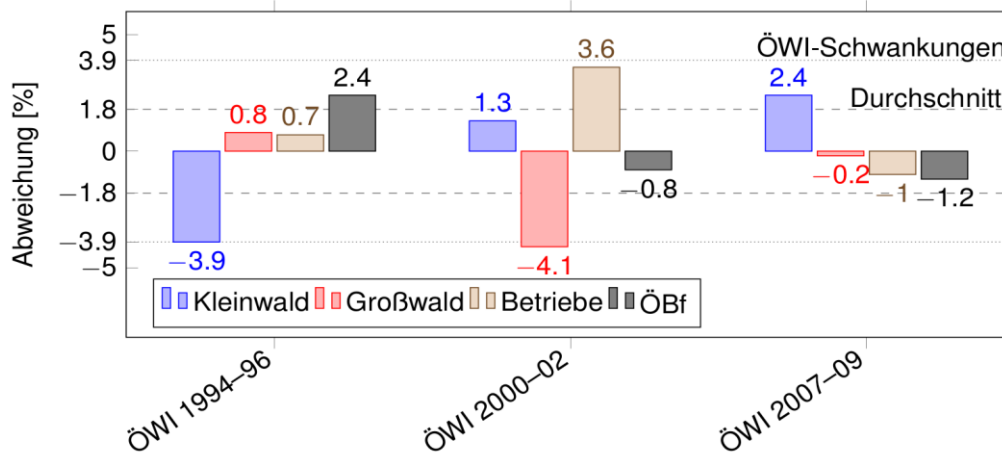


Abbildung 2: Ergebnisse der Validierung. Prozentuale Abweichung der Entnahmemengen pro Eigentumsklasse im Modell bezogen auf die im Zuge der ÖWI erhobenen Entnahmemengen.

einer aus historischen Holzpreisen extrapolierten Preisentwicklung können Entnahmemengen der Eigentumsklassen der Simulation mit jenen der ÖWI verglichen werden. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, ergibt sich im Mittel eine Abweichung von 1,8%. Über die drei Vergleichszeiträume kann im schlechtesten Fall eine Abweichung von ca. 4% ermittelt werden.

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Arbeit sind 6 Simulationsszenarien. Zwei Szenarien sind dabei ressourcenorientiert und beobachten die Hackschnitzel-Nutzung ohne Einfluss des Marktes. Die vier markt-orientierten Szenarien beschreiben differenzierte Entwicklungen des Holzpreises. In diesem Artikel wird ein Marktszenario, das von einer positiven Holzpreisentwicklung ausgeht, vorgestellt. Die verwendete Holzpreisentwicklung basiert dabei auf der Extrapolation der historischen Holzpreise am österreichischen Markt.

In Abbildung 3 ist die Entwicklung der mittleren Transportdistanz im Zusammenhang mit einer positiven Holzpreisentwicklung ersichtlich. Steigt der Preis, nimmt auch die angebotene Holzmenge seitens der Eigentümer zu, wobei in weiterer Folge die Transportdistanz für das betrachtete Jahr (Tick) sinkt. Fällt der Preis, verhält es sich umgekehrt und die mittlere Transportdistanz nimmt zu.

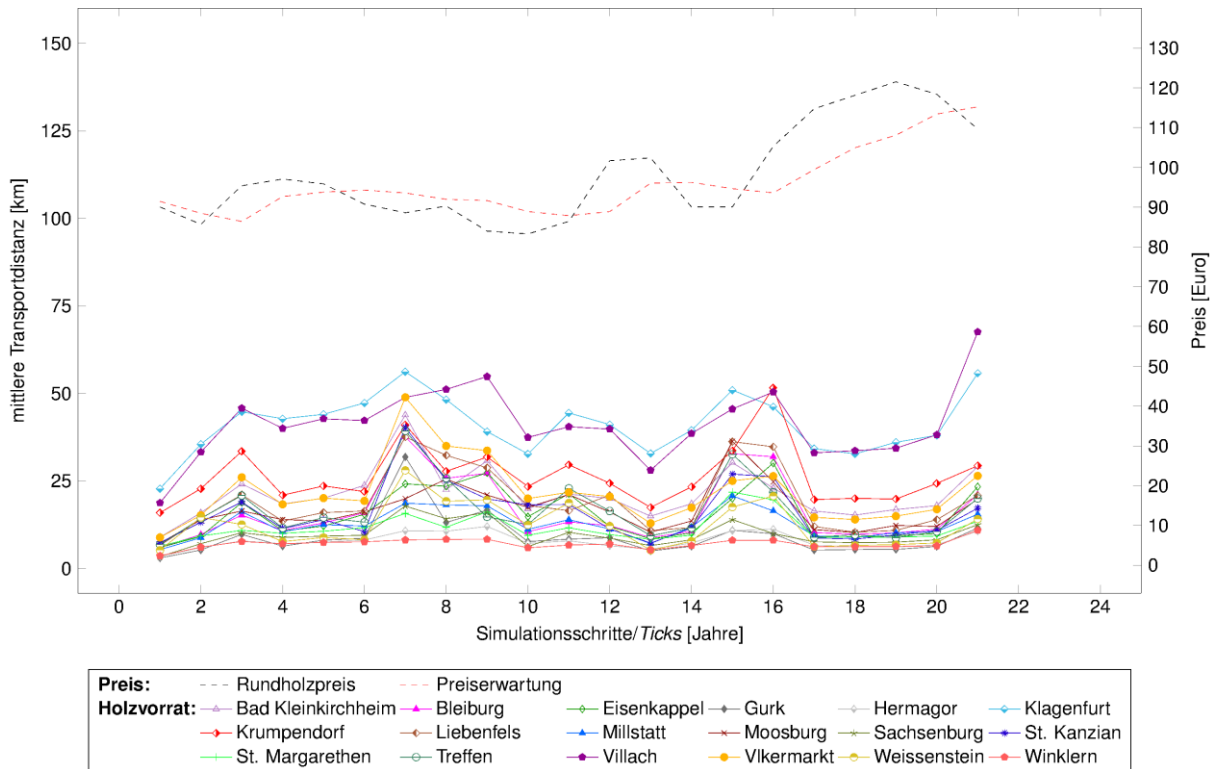


Abbildung 3: Entwicklung der mittleren Transportdistanz zu den Heizwerken pro Holzbeschaffung über den Simulationsverlauf von 21 Jahren. Dieser ist im Bezug zur extrapolierten Holzpreisentwicklung und der mittleren Preiserwartung der Waldeigentümer dargestellt. Liegt die Erwartung unter dem Preis müssen weniger Transportkosten in Kauf genommen werden und umgekehrt.



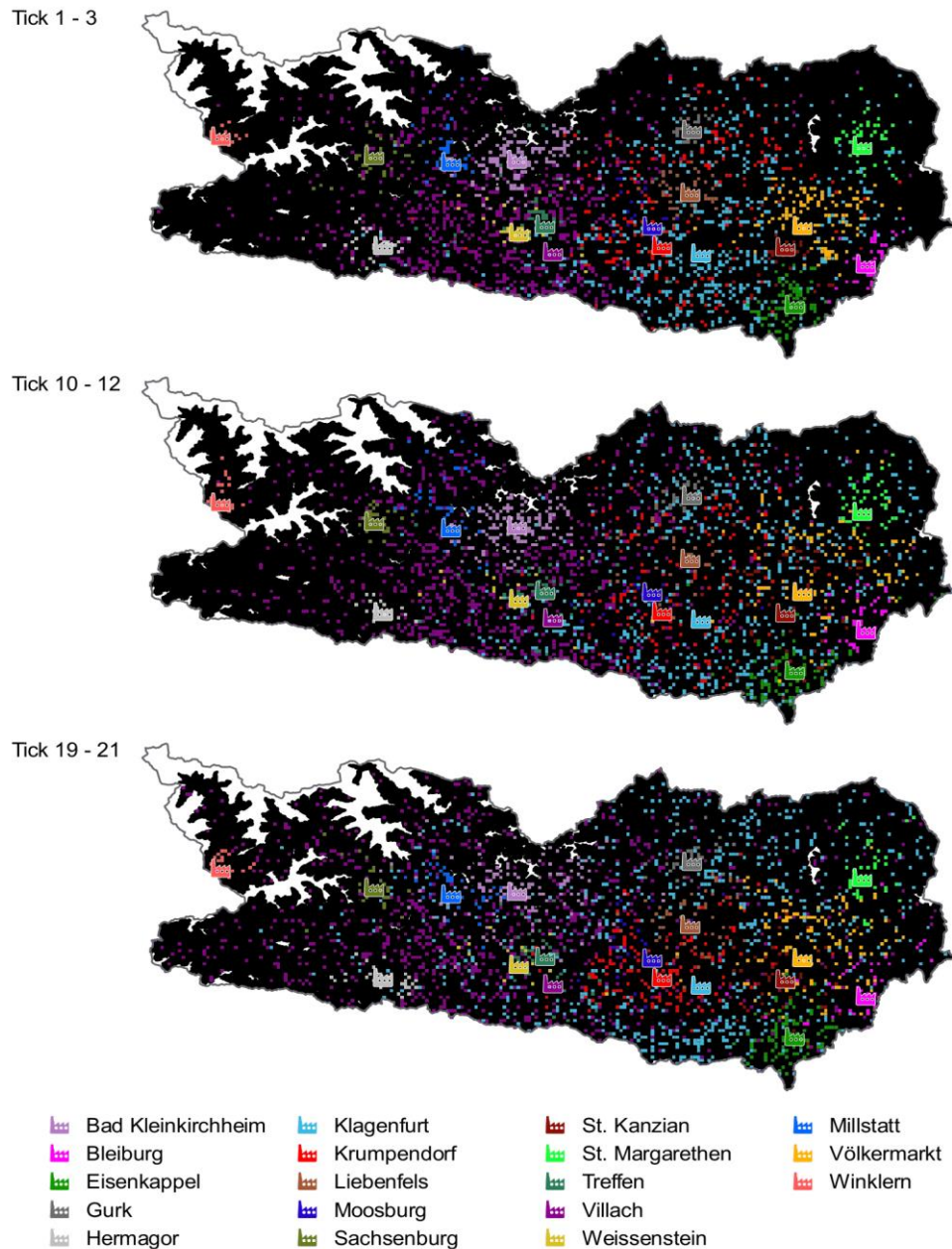


Abbildung 4: Raumzeitliche Entwicklung der Holzentnahmebereiche der Heizwerke. Mit knapper werdendem Holzvorrat verschieben sich die Entnahmebereiche von lokal um die Standorte immer weiter in periphere Bereiche.

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der Entnahmeverteilung. In den ersten Iterationsschritten (Tick 1-3) weisen die Heizwerke eine relativ konzentrische Entnahmestruktur rund um den eigenen Standort auf. Mit Fortdauer der Simulation sowie durch schlechte Preislage (Tick 10-12 und 19-21) zeigen die Entnahmestrukturen eine immer weiter fortschreitende Zerstreung und Entfernung vom Standort des Heizwerkes auf. Die Händler müssen in diesem Fall versuchen den Bedarf der Heizwerke zu befriedigen, ohne auf andere Randbedingungen Rücksicht nehmen zu können.

## 4 Fazit und Ausblick

Die Nachfrage der Biomasseheizwerke kann durch den Wald im Bundesland Kärnten nicht gedeckt werden. Die Versorgungssicherheit ist somit im Laufe der Jahre nicht gewährleistet.

Durch Modellierung der Marktteilnehmer in Form von kognitiven Agenten können diese individuell auf Marktsituationen reagieren. Besonders durch den hohen Klein- und Kleinstwaldanteil ist die konstante Versorgungssicherheit nur schwer sicherzustellen, da diese Agenten besonders volatil auf Änderungen des Marktumfeldes (z.B. Holzpreis) reagieren. Zudem haben diese Marktteilnehmer die Tendenz, ihre Ressourcen zu „horten“, wenn der Marktpreis nicht den Vorstellungen entspricht.

Das hier dargestellte Modell kann zukünftig noch in mehreren Punkten erweitert werden. Zum einen wäre die Verfeinerung des Marktmodells erstrebenswert, sodass man den ausländischen Markt und die Papier- und Sägeholzindustrie miteinbezieht. Weiters könnte man Waldgemeinschaften und Genossenschaften als separate Agenten integrieren. Auch die Integration von Schadereignissen wie Stürmen (Windbruch und –wurf) oder Wildschäden wäre denkbar.

## 5 Literatur

- Arbeitsplattform Wald und Holz in Kärnten (2009). Bilanz und Strategieplan über Aufkommen, Nutzen und Potentiale. Landwirtschaftskammer Kärnten, ausgearbeitet von Vertretern der Kärntner Forst- und Holzwirtschaft.
- Batty, M. (2009). Urban modeling. *International encyclopedia of human geography*. Elsevier, Oxford.
- Batty, M., Crooks, A. T., See, L. M. & Heppenstall, A. J. (2012). Perspectives on agent-based models and geographical systems. In: Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. & Batty, M. (Hrsg.). *Agent-based models of geographical systems*. Springer, 1–15.
- Cintas, O., Berndes, G., Cowie, A. L., Egnell, G., Holmström, H. & Ågren, G. I. (2015). The climate effect of increased forest bioenergy use in Sweden: evaluation at different spatial and temporal scales. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*.
- Crooks, A. T. & Heppenstall, A. J. (2012). Introduction to agent-based modelling“. In: *Agent-based models of geographical systems*. In: Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. & Batty, M. (Hrsg.). *Agent-based models of geographical systems*. Springer, 85–105.
- Eckmüllner, O. (1964). Probleme des Bauernwaldes; nachgedruckt in: *Institut für Forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik*“. Eigenverlag, 91–106.
- Jöbstl, H. (1986). Zum Einschlagsverhalten der Forstbetriebe. Holzpreis und Einkommensteuer als Bestimmungsgrößen der Marktanpassung. Eine Daten- und Modellanalyse. Teil 1“. In: *Zentralblatt für das Gesamte Forstwesen* 1, 1–14.
- Heimbuchner, K. (2017, January 16). Graph integration platform - gip. Retrieved from <http://www.gip.gv.at/home-en.html>



- Johnston, K. M. (2013). *Agent analyst: Agent-based modeling in ArcGIS*. Redlands, CA: Esri Press.
- Kostadinov, F., Holm, S., Steubing, B., Thees, O. & Lemm, R. (2014). Simulation of a Swiss wood fuel and roundwood market: An explorative study in agent-based modeling. In: *Forest Policy and Economics* 38, 105–118.
- Madlener, R., Kowalski, K., & Stagl, S. (2007). New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: the case of renewable energy use in Austria. In: *Energy Policy* 35 (12), 6060–6074.
- Mandl, P. (2003). Multi-agenten-Simulation und Raum - Spielwiese oder tragfähiger Modellierungsansatz in der Geographie. *Klagenfurter Geographische Schriften*, Heft 23, 5–34.
- Marschall, J. (1975). *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Österreichischer Agrarverlag.
- O’Sullivan, D., Millington, J., Perry, G. & Wainwright, J. (2012). Agent-Based Models – Because They’re Worth It?“ In: Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. & Batty, M. (Hrsg.). *Agent-based models of geographical systems*. Springer, 109–123.
- Sacchelli, S., Fagarazzi, C., & Bernetti, I. (2013). Economic evaluation of forest biomass production in central Italy: a scenario assessment based on spatial analysis tool. In: *Biomass and Bioenergy* 53, 1–10.
- Schwarzbauer, P., Huber, W. & Stern, T. (2009). Das Angebotsverhalten der österreichischen Forstwirtschaft. Ökonometrische Schätzungen von Angebotsfunktionen. In: *Schriftenreihe des Instituts für Marketing und Innovation*, Band 3.
- Scholz, J., Mandl, P., Kogler, C. & Müller, M. (2014). A Spatial Agent-based Model for Assessment and Prediction of Woodchips Availability for Heating Plants in Austria. In: *Extended Abstract Proceedings of the GIScience 2014*. Department für Geodäsie und Geoinformation, Technische Universität Wien.
- Weinfurter, P. (2013). *Waldbau in Österreich auf ökologischer Grundlage: Eine Orientierungshilfe für die Praxis*. Landwirtschaftskammer Österreich, Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich.