

Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung des Kaskadennutzungseffektes bei Holzprodukten

Martina Hesse

8. Juli 2015

Inhaltsangabe

Der Klimawandel und die Verknappung fossiler Ressourcen stellen für die industrielle Wirtschaft große Herausforderungen dar. Die Kaskadennutzung ist eine viel diskutierte Maßnahme zur ressourcenschonenden Verwendung nachwachsender Rohstoffe, insbesondere von Holz. Die Grundidee des Kaskadennutzungskonzeptes ist die mehrfache Hintereinanderschaltung stofflicher Nutzungen und der abschließenden energetischen Verwertung von Biomasse. Den positiven Effekten einer mehrfachen stofflichen Rohstoffnutzung stehen Bedenken auf Seiten der Energiebranche entgegen, deren Vertreter eine Verknappung der energetisch verwertbaren Rohstoffe befürchten. Zu welchem Zeitpunkt stofflich genutzte Rohstoffe am Ende ihrer Nutzungszeit wieder dem Energiemarkt zur Verfügung stehen, ist unter anderem von den Produktlebensdauern und der Anzahl der hintereinandergeschalteten Nutzungsphasen abhängig.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein **allgemeines Modell zur Quantifizierung des Kaskadennutzungseffektes** zu entwickeln, mit dessen Hilfe modellbasierte Berechnungen zur dynamischen Entwicklung von Produktpools in kaskadierenden Nutzungssystemen durchgeführt werden können. Dabei erweist sich der **System Dynamics-Ansatz** mit seinen zur Verfügung stehenden Softwarelösungen als geeignete Methode, die nutzungsbedingt verzögerten Rohstoffflüsse über längere Zeiträume hinweg abzubilden. Zunächst werden anhand eines Feedback-Diagrammes die Wirkungsbeziehungen innerhalb einer Nutzungskaskade qualitativ analysiert. In einem quantitativen Modell werden anschließend die Schlüsselvariablen definiert und die Stoffflüsse formal dargestellt. Die zeitlichen Verzögerungsstrukturen werden in Form von nichtlinearen Lebensdauerverteilungsfunktionen, die als **Weibullverteilung** oder **logarithmische Normalverteilung** beschrieben werden können, in das Modell eingebunden. Somit können **variable**

Rohstoffzuflüsse berücksichtigt werden. Die Parameter zur Beschreibung dieser Lebensdauerfunktionen werden japanischen Studien zur Lebensdauer von Holzprodukten entnommen und mit Durchschnittswerten aus deutschen Erhebungen abgeglichen. Für eine Beurteilung des Kaskadennutzungseffektes werden Kennzahlen aufgestellt, die **Rohstoffrücklaufquoten** und **Systemgleichgewichtszustände** beschreiben. Das allgemeine Modell wird auf **sieben Szenarien**, die unterschiedliche Kaskadierungstiefen und -intensitäten repräsentieren, exemplarisch angewendet. Im Rahmen der Szenarioauswertungen wird demonstriert, wie sich die Intensivierung der stofflichen Rohstoffnutzung über längere Zeiträume hinweg auf die Rohstoffverfügbarkeit auswirkt und wie lang der Umstellungszeitraum bis zum Erreichen eines neuen Systemfließgleichgewichtes andauert. Anhand der erarbeiteten Kennzahlen kann die Entwicklung der Rohstoffverfügbarkeit sowohl für stoffliche als auch energetische Rohstoffanwendungen über längere Zeiträume hinweg quantitativ beschrieben werden. Diese Kennzahlen stehen politischen und betrieblichen Entscheidungsträgern als **Kriterien zur Bewertung von Biomassenutzungspfaden** und als **praxisnahe Planungsinstrumente zur Abschätzung langfristiger Rohstoffverfügbarkeiten** zur Verfügung.

Abstract

Climate change and diminishing fossile fuels represent a significant challenge for the industrial economy. Cascade utilization is a hot topic when it comes to measures relating to a resource-efficient use of renewable resources, especially wood. The basic idea of this concept is the sequential use of resources and the resulting energy recovery from biomass. The positive effect from the multiple use of resources is contrasted by concerns on the part of the energy sector, whose representatives fear a shortage of usable energy commodities. The availability of these raw materials to the energy market at the end of product's lifespan will depend inter alia on the product lifetimes and the number of cascaded stages use. The goal of this dissertation is to develop a **general model for the quantification of the effect of cascade utilization**, which would allow to perform model-based calculations for the dynamic development of product pools, within systems making use of cascading utilization of resources. The **System Dynamics Approach** proves to be a suitable method to track the use of conditionally delayed commodity flows for prolonged periods due to its freely available software solutions. First, response relationships within a usage cascade are analyzed from a qualitative perspective using a feedback diagram. In a second step, key variables are defined with the help of a quantitative model and material flows will be displayed. Time lag structures will be included within the model in the form of non-linear lifetime distribution functions that can be described as a **Weibull distribution** or **lognormal distribution**. Thus variable commodity inflows can be considered. The parameters describing these functions are taken from Japanese studies relating to the lifespan of wood products and will be compared with average values from German surveys. Key ratio describing the **commodity return rates** and **equilibrium states** are established in order to assess the effect of cascade utilization. The general model is applied to seven scenarios that represent different stages and intensities of the cascading sequences.

The scenario analysis will demonstrate how the intensification of the use of material resources will impact the availability of raw materials over longer periods and how long the transition period lasts until a new steady state is reached. The development of raw material availability for both material and energy resource applications over longer periods of time can be quantitatively described with the help of the key metrics. These indicators are available to political and operational decision-makers as **criteria for the evaluation of biomass utilization paths** and as a **practical planning tool for estimating long-term availability of raw materials**.