
Nachhaltige Nutzung des Produktionsfaktors Boden – Herausforderung Kronenbiomassennutzung

Christian Kölling und Herbert Borchert

Schlüsselwörter: Nährstoffbilanz, Nährstoffvorrat, Kronennutzung, Biomasse, Nachhaltigkeit

Zusammenfassung: Mit der Ausdehnung der forstlichen Nutzung auf die Kronenbiomasse wird die Frage aufgeworfen, ob die damit verbundenen zusätzlichen Nährstoffexporte die Nährstoffbilanz der Waldstandorte nicht negativ werden lassen und die Bodennährstoffvorräte damit unvoreteilhaft vermindern. Erst die Kenntnis der Nährstoffbilanz und der Nährstoffvorräte, verbunden mit Informationen über die Nutzungsintensität und die mit der Nutzung verbundenen Nährstoffverluste, ermöglichen es, auch hier dem Prinzip der Nachhaltigkeit zu folgen. Es ist in jedem Fall die Entscheidung über die Verwendung der Biomasse aus der Krone zu fällen: Möchte man diese als natürlichen Dünger nutzen oder strebt man alternativ die Verwertung zur Steigerung der Erlöse an?

Lange Zeit wurde allein das Holzvolumen in Festmetern als Maßeinheit in der forstlichen Nachhaltigkeitsregelung verwendet. Der Vorrat, der Zuwachs, der geplante Hiebssatz und die tatsächliche Nutzung bestimmten ausschließlich die forstliche Nachhaltigkeitsdiskussion. Diese Haltung war dadurch berechtigt, dass in der Forstwirtschaft Produkt und Produktionsmittel als identisch betrachtet werden: *Holz wächst nur an Holz*. Oberstes Ziel der historischen Nachhaltigkeitsregelungen ist das Halten der für die gewünschte Produktion erforderlichen Holzvorräte: Die Produktionsmittel müssen in dem Maße vorhanden sein, dass die Produktivität auf dem gewünschten Niveau langfristig gesichert ist.

Nach und nach hat man aber erkannt, dass weitere Faktoren auf die forstliche Produktion einwirken. In der Bodenreinertragslehre wurde der Bodenwert noch allein als finanzielles Produktionspotenzial für Holz gemessen. Mittlerweile können wir die Ertragskraft eines Bodens nicht nur an dessen finanziell bewerteten Produkten, sondern auch an seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften festmachen. Wir wissen, dass der Boden endliche Nährstoffvorräte hat, die nur in begrenztem Maß erneuert werden können.

Wir dehnen den Bilanzgrundsatz, der dem Nachhaltigkeitsprinzip zugrunde liegt, auch auf den Waldboden als Produktionsfaktor aus: »Nicht mehr aus dem System entfernen, als hineinkommt«. Sind die Betrachtungszeiträume für die Holznachhaltigkeit schon sehr lang, so sind sie beim Boden nochmal um mindestens das Zehnfache höher. Fehler der Gegenwart werden bei dem herkömmlichen forstlichen Nachhaltigkeitsindikator Holzvorrat nach etwa zehn Jahren durch wiederholte Inventur aufgedeckt, Raubbau am Nährstoffkapital des Bodens unter Umständen erst nach 100 Jahren. Wegen des langen Zeitraums, der zwischen Ursache und Wirkung liegt, kann das empirische Prinzip »Versuch und Irrtum«, das in den wiederholten forstlichen Vorratsinventuren seine Anwendung findet, im Bereich des Bodens kaum angewandt werden. Stattdessen benötigt man eine Modellvorstellung, die hilft, die Folgen des Handelns im Voraus abzuschätzen. Weil eine unmittelbare Reaktion auf Fehler kaum möglich ist, sollte der Vorsorgegedanke Handlungsleitlinie werden: Man versucht Fehler von vornherein zu vermeiden, statt sie im Nachhinein zu korrigieren. Es ist somit eine wichtige Aufgabe forstlicher Forschung, die Möglichkeiten und Gefahren der Nutzung insgesamt und insbesondere der von Kronenbiomasse aufzudecken (Meiwes et al. 2008). Das Ziel ist es, die Entfernung von Nährstoffen aus den Systemen quantitativ zu berechnen. Es werden damit die für eine angemessene, nachhaltige Nutzung erforderlichen Informationen bereitgestellt. Ohne diese zusätzlichen Informationen wird es nicht möglich sein, neue, intensivere Nutzungsformen mit zusätzlichen Einkommensmöglichkeiten und anderen positiven Effekten innerhalb der Restriktionen der Nachhaltigkeit so zu gestalten, dass die negativen Begleiterscheinungen minimiert werden und auch spätere Generationen mindestens gleichbleibende, möglicherweise sogar steigende Nutzungsmöglichkeiten haben.

Justus von Liebig

Die Zusammenhänge zwischen Nutzung, Nährstoffentzug und Bodenfruchtbarkeit wurden schon 1855 von Justus von Liebig in einer bis heute unerreichten Präzision und Klarheit formuliert. Liebig schreibt (S. 13, vgl. Abbildung 1): »In den Produkten des Feldes wird in den Ernten die ganze Quantität der Bodenbestandteile, welche Bestandteile der Pflanzen geworden sind, hinweg genommen und dem Boden entzogen; vor der Ein-
saat ist der Boden reicher daran als nach der Ernte; die Zusammensetzung des Bodens ist nach der Ernte geändert. Nach einer Reihe von Jahren und einer entsprechenden Anzahl von Ernten nimmt die Fruchtbarkeit der Felder ab. Beim Gleichbleiben aller übrigen Bedingungen ist der Boden allein nicht geblieben, was er vorher war; die Änderung in seiner Zusammensetzung ist die wahrscheinliche Ursache seines Unfruchtbarwerdens.«

Die Aussagen Liebigs haben auch vor dem Hintergrund neuerer Forschungen Bestand. Ursprünglich für die landwirtschaftliche Bodennutzung konzipiert, gelten sie in gleicher Weise für die forstwirtschaftliche Nutzung. In eine moderne Sprache übersetzt und auf die Forstwirtschaft bezogen besagen sie Folgendes:

- Beim Aufwachsen eines Waldbestands wandern Nährstoffe aus dem Boden in den Baum.
- Mit der Ernte von Stammholz und Kronenbiomasse verlassen alle in den genutzten Produkten enthaltenen Nährstoffe den Wald.
- Nach der Ernte ist der Waldboden ärmer als vorher, weil die zuvor aufgenommenen Nährstoffe dem Boden nicht zurückgegeben werden.
- Nach wiederholten Ernten nimmt die Bodenfruchtbarkeit ab.

Liebigs Gedanken führten zur Erfindung der Mineraldüngung in der Landwirtschaft. In der Forstwirtschaft wurden sie schon bald von Ernst Ebermayer im Zusammenhang mit der Streunutzung aufgegriffen (Kölling et al. 2011). Diese extreme Form der Nutzung von Biomasse aus dem Wald hatte schon nach relativ kurzer Zeit zu bemerkenswerten Rückgängen der Bodenfruchtbarkeit geführt. Es dauerte indes Jahrzehnte, bis diese Art des Raubbaus am Nährstoffkapital des Bodens eingestellt wurde. Auch andere Formen starker Biomassenutzung wie Waldweide und Brennholznutzung im Niederwaldbetrieb haben in historischer Zeit regional empfindliche Verluste an Bodenfruchtbarkeit zur Folge gehabt (Glatzl 1999). Mit dem Ausbleiben dieser historischen Nutzungsformen und



Abbildung 1: Textauszug (S. 13) aus Justus von Liebigs Werk »Die Grundsätze der Agricultur-Chemie« (1855)

einer Extensivierung der Forstwirtschaft konnten sich die geschundenen Böden innerhalb von Jahrzehnten wieder regenerieren. In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts war die forstliche Nutzung bei uns in den meisten Fällen auf das Stammderbholz beschränkt. Die Kronenbiomasse (Äste und Stammnichterbholz) verblieb als Ernterückstand im Wald. So konnte mit den Ernterückständen ein großer Teil der Nährstoffe wieder zurück zum Boden gelangen. Bei den Ernteentzügen mit dem Stammholz ging man davon aus, dass die Verwitterung der Bodenminerale und die Deposition von Stäuben die Nährstoffverluste ausgleichen können. Erst in den letzten Jahren hat, bedingt durch die gestiegene Nachfrage nach Energieholz, die Verwertung von Kronenbiomasse stark zugenommen (Abbildung 2 und 3). Es stellt sich nun die Frage, ob diese Intensivierung der Nutzung noch durch die Verwitterung der Bodenminerale und die Deposition von Stäuben gedeckt ist oder ob es zu der von Liebig erwähnten Nährstoffverarmung der Böden kommen wird.



Abbildung 2:
Hackschnitzel aus Kronen-
biomasse warten auf den
Transport und die Verwer-
tung in Heizkraftwerken.

Foto: A.W. Otter

Ungleichverteilung in Stamm und Krone

Ein großer Teil der Nährelemente in der Baumbio-
masse befindet sich in den Baumteilen Rinde, Äste,
Zweige und Nadeln (Abbildung 3). Die Kronenkompar-
timente weisen um ein Vielfaches höhere Nährelement-
gehalte als das Stammholz auf (Weis und Göttlein 2012a
und 2012b). Umgekehrt verhalten sich die Massen und
damit auch die Erlöse. Sie sind im Stammholz beson-
ders hoch und nehmen umso mehr ab, je mehr man
Äste, Zweige und Nadeln nutzt. Diese gegenläufige
Unproportionalität von Erlösen und Nährstoffentzügen
lässt sich gut in Form von sogenannten Lorenz-Kurven
abbilden (Abbildung 4 und Abbildung 5). Sie drücken
das aus, was man landläufig als 80:20-Regel oder
Pareto-Prinzip versteht. Mit 80% der genutzten Bio-
masse erzielt man im zweiten Beispiel (Abbildung 5)
bereits 95% des Erlöses, entnimmt aber nur 30% des in
der Biomasse gespeicherten Phosphors. Umgekehrt
formuliert: Verzichtet man auf nur 5% des Erlöses,
kann man damit 70% des gespeicherten Phosphors retten
und dem Boden zurückführen. Wie man auf den Abbil-
dungen 4 und 5 erkennen kann, ist die Ungleichver-
teilung von Erlös und Nährstoffverlust je nach Standort
und Wüchsigkeit des Bestandes und für die einzelnen
Nährstoffe unterschiedlich. Auch die Baumart hat ein-
nen Einfluss auf den Verlauf der Lorenzkurven.

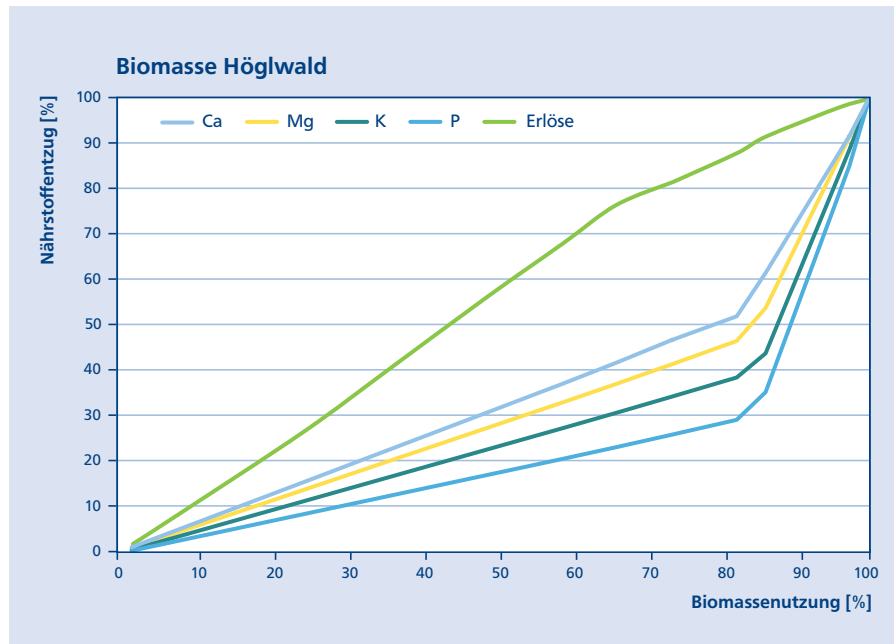
Eine Nutzung der besonders nährstoffreichen Kompar-
timente aus der Baumkrone verhindert die natürliche
Nährstoffrückfuhr in den Boden. Auf nährstoffreichen
Standorten fällt dieser Entzug nicht so stark ins Ge-
wicht, weil er durch Verwitterung und Einträge aus der
Atmosphäre kompensiert wird. Besonders problemat-
isch sind Standorte, auf denen das Baumwachstum
durch eine geringe Nährstoffausstattung limitiert ist.
Diese Standorte sind auf die natürliche Nährelement-
rückführung durch Ernterückstände angewiesen.
Unterbleibt diese infolge der Kronennutzung, so lassen
sich Zuwachsverluste für den Folgebestand aufgrund
des unzureichenden Nährstoffhaushalts erwarten. Um
diese zu vermeiden, müsste auf die Nutzung verzichtet



Abbildung 3: Detailsicht: Hackschnitzel aus Kronen-
biomasse enthalten hohe Anteile an nährstoffreichen
Baumkompartimenten: Rinde, Äste, Zweige und Nadeln.

Foto: A.W. Otter

Abbildung 4:
Verteilung von Nährstoffentzug und Erlös bei unterschiedlicher Intensität der Biomassenutzung auf einem nährstoffreichen, produktiven Standort (Höglwald)



oder die Nährstoffverluste durch Düngung kompensiert werden. In einigen Ländern gibt es Pläne für eine Nährstoffrückführung aus Holzaschen (von Wilpert et al. 2012). Von anderer Seite wird eingeworfen, dass es zur natürlichen Düngung mit den organischen Bestandteilen der Ernterückstände keine mineralische Alternative gibt (Kölling 2012; Kölling 2013). Eine Ausgleichdüngung oder die Rückführung der Asche ist auf jeden Fall mit zusätzlichen Kosten verbunden. Für den Waldbewirtschafter stellt sich die Frage, bis zu welcher Intensität eine Nutzung von Biomasse wirtschaftlich wäre, wenn er die Kosten der Kompensationsdüngung berücksichtigt.

Wege aus dem Dilemma: Intelligent nutzen

Bei der nachhaltigen Nutzung von Kronenbiomasse können die gleichen Prinzipien zur Geltung kommen wie bei der Forsteinrichtung oder bei der Bewirtschaftung eines Geldvermögens. Alle laufenden oder periodischen Ausgaben werden in einer Bilanz den laufenden Einnahmen gegenübergestellt. Im Fall der Forstwirtschaft würde man bei den Einnahmen vom Zuwachs und bei den Ausgaben von der Nutzung sprechen. Ziel dieser Übung ist in den meisten Fällen ein Bilanzausgleich und damit ein Stabilisieren des Vermögens oder des Holzvorrats. Daneben kann es auch das Ziel sein, zeitweise ein Bilanzungleichgewicht in Kauf zu nehmen und Vermögen oder Holzvorrat systematisch auf ein neues Niveau zu bringen, d. h. bewusst Vermö-

gen und Vorrat anzusparen oder abzubauen. Welche Ziele auch immer man verfolgt, die Kenntnis des Bilanzergebnisses ist die Voraussetzung für rationales Handeln bei der Wirtschaftsführung allgemein und auch im Forstbetrieb. Neben der unmittelbaren Betrachtung von Einnahmen und Ausgaben in Form der Bilanzausgeglichenheit ist aber auch die absolute Höhe des Vermögens bzw. des Holzvorrats wichtig. Bei ganz niedrigen Niveaus steigt die Anfälligkeit gegenüber Krisen, hier stehen dann Sicherheitsaspekte im Vordergrund, die dazu führen, sich bei Ausgaben oder Nutzungen eher zurückzuhalten und damit Vermögen und Vorrat anzusparen. Bei hohen Niveaus wiederum bestehen größere Freiheiten, hier ist übergroße Vorsicht nicht geboten und es kann auch schon einmal im Sinne des Abbaus von Rücklagen gehandelt werden.

Auch bei den Nährstoffen (z. B. Calcium, Magnesium und Kalium) ist es möglich, eine Bilanzgleichung aufzustellen. Den Einnahmen aus der Mineralverwitterung und den Einträgen aus der Atmosphäre stehen die Ausgaben mit dem Sickerwasseraustrag und der Nutzung gegenüber:

$$\text{Verwitterung} + \text{Eintrag} = \text{Nutzung} + \text{Austrag} \quad (\text{Gleichung 1})$$

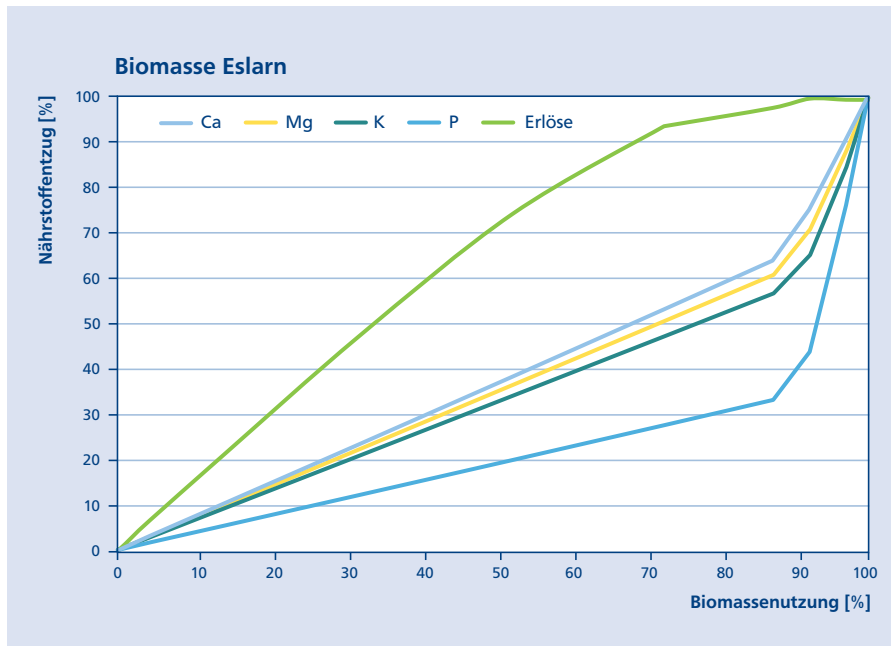


Abbildung 5: Verteilung von Nährstoffentzug und Erlös bei unterschiedlicher Intensität der Biomassenutzung auf einem nährstoffarmen, unproduktiven Standort (Eslarn)

Löst man diese Gleichung nach der Nutzung auf und setzt für die übrigen Bilanzglieder die am Standort geltenden Werte ein, so bekommt man als Ergebnis die maximal mögliche Nutzungsmenge, bei der noch Bilanzausgeglichenheit herrscht:

$$Nutzung_{max} = Verwitterung + Eintrag - Austrag$$

(Gleichung 2)

Übersteigen die Nutzungen diesen Maximalwert, wird zwangsläufig in den Nährstoffvorrat eingegriffen, die Bodenfruchtbarkeit wird im Sinne Liebig's vermindert. Liegen die Nutzungen unter dem Maximalwert, werden Nährstoffe angespart und die Bodenfruchtbarkeit vergrößert.

Als zweites Kriterium können neben den Nährstoffbilanzen zusätzlich noch die Nährstoffvorräte des betreffenden Standorts verwendet werden (Kölling 2010). Es ist zu entscheiden, ob man mit dem gegenwärtig erreichten Vorrat zufrieden ist, ob man ihn durch sparsame Nutzung steigern oder durch Übernutzung abbauen möchte. In den meisten Fällen wird die Pflege der Bodenfruchtbarkeit und damit Konstanz oder sogar Mehrung der Nährstoffvorräte das herrschende Motiv sein. Man kann dies unter dem Begriff der Vorratspflege zusammenfassen: *Nährstoffe im Boden halten, erforderlichenfalls vermehren*. Besonders auf den ärmsten Böden ist das Prinzip der Vorratspflege angebracht, hilft es doch, auf natürlichem Wege die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern.

Sowohl für die maximal mögliche Nährstoffnutzungsmengen als auch für die Nährstoffvorräte können räumlich hoch aufgelöste Nährstoffpotenzialkarten erstellt werden, die ausweisen, wie sich die Waldstandorte hinsichtlich der Nährstoffnutzungsmengen verhalten und wie es um die Nährstoffbevorratung bestellt ist. Zusammen mit Informationen über die in den geernteten Baumteilen enthaltenen Nährstoffe können daraus nach Gleichung 2 die Obergrenzen konkreter Nutzungsszenarien von Kronenbiomasse, bei denen noch Bilanzausgeglichenheit besteht, abgeleitet werden. Informationen über die in den Baumteilen enthaltenen Nährstoffe stehen als Tafeln zur Verfügung (Jacobsen et al. 2003; Pretzsch et al. 2013). Die aus diesen beiden Quellen – Karte und Tafel – abgeleitete vollständige Bilanz aus Einnahmen und Ausgaben (Gleichung 1) wäre damit möglich. Sie wird umso nötiger, wenn man vom reinen Vorsichtsprinzip abweicht und die maximale Nutzung von Kronenbiomasse im Sinne einer Bilanzausgeglichenheit und Vorratspflege der Nährstoffe anstrebt. Die Entscheidungsfindung ist allerdings eher anspruchsvoll. Eine entsprechende Bilanzsoftware oder ein einfacher Biomasserechner müssten noch entwickelt werden. Oft geforderte einfache Faustregeln werden der Vielfalt möglicher Kombinationen von Standort, Baumart und Nutzungsszenario kaum gerecht werden.

- Es wird in jedem Fall eine Entscheidung zwischen einer Verwertung der Kronenbiomasse zur Erhaltung oder Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und einer Verwertung zur Steigerung des finanziellen Ertrags getroffen. Daneben können auch Waldschutzaspekte (Entzug von Brutraum für Schadinsekten) oder technische Aspekte (Rückegassenarmierung) eine zusätzliche Rolle spielen.
- Wenn kein Vorratsabbau von Nährelementen beabsichtigt ist, sollte maximal nur so viel Kronenbiomasse genutzt werden, wie die Nährstoffbilanz als Überschuss bereitstellt.
- Auf sehr armen Standorten ist es empfehlenswert, überhaupt auf die Nutzung von Kronenbiomasse zu verzichten und damit in die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit zu investieren.

Auch technische Lösungen zur Reduzierung der Nährstoffverluste sind denkbar, zum Beispiel die Beschränkung der Astnutzung auf grobe Äste oder die Trennung in Äste und Nadeln. Eine Trennung von Nadeln und Zweigen wäre nur möglich, wenn die Kronen im Bestand belassen werden, bis sie abgetrocknet sind und die Nadeln abfallen. Dies birgt jedoch ein Waldschutzrisiko. Für eine Trennung der Zweige von den Ästen gibt es bisher kein rationelles Verfahren. Möglich ist es, einen Großteil der Äste abzutrennen und als Ernterückstand im Bestand zu belassen. Bei Aufarbeitung mit dem Harvester können die Gipfel beispielsweise bis zur Spitze durch die Entastungsmesser getrieben werden oder bis der Gipfel bricht. Dabei werden die Gipfel zumindest grob entastet. Der zusätzlich benötigte Zeitaufwand dürfte sehr gering sein. Bei motormanueller Aufarbeitung könnte der Gipfel ebenfalls grob entastet werden. Hier könnten auch längere Aststärken belassen werden.

Erlösmaximierung, Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit

Zum Abschluss soll mit einem Zitat von Ebermayer (1882) noch einmal der Bogen zur Nachhaltigkeit gespannt werden: *»Dieses periodisch von dem Holzbestande benutzte Nährstoffkapital, welches durch die Thätigkeit der Faserwürzelchen der Bäume den tieferen Bodenschichten entnommen wird, geht somit bei geregelter Waldwirtschaft den Boden nicht verloren. sondern wird durch die Waldabfälle den oberen Bodenschichten in einer für die Pflanzen leicht aufnehmbaren Form wieder zugeführt. Durch diese Vorgänge wird die obere Bodenkrume des Waldes auf Kosten des Unter-*

grundes an mineralischen Nährstoffen mehr und mehr bereichert. Bedenken wir, dass durch dieselben Abfälle dem Boden auch stetig kohlenstoffreiche und zum Theil stickstoffhaltige organische Stoffe zugeführt werden, deren Zersetzungsprodukte (Kohlensäure und Ammoniak) als Nährmittel für die Bäume dieselbe Bedeutung haben, wie die Zersetzungsprodukte der organischen Substanz des Stalldüngers für die Ackergewächse, so ist einleuchtend, dass die Bodendecke in der That nichts Anderes als der natürliche Dünger des Waldes ist, und wir begreifen, warum die obere Krume eines schlechten unfruchtbaren Bodens durch Waldkultur zu einer gewissen Fruchtbarkeit gebracht werden kann.« (Ebermayer 1882, S. 723)

Auf die Problematik der Biomassenutzung aus der Krone angewandt kann man diesem alten Text folgende aktuelle Botschaften entnehmen:

- Bestandesabfälle (Streufall) und Ernterückstände (Schlagabraum) sind kein wertloser Abfall, sondern sie erhalten und erhöhen die Bodenfruchtbarkeit.
- Die Nährstoffaufnahme der Bäume und die Rückführung zum Humus ist ein Grundprinzip der Funktionsweise von Waldökosystemen.

Die Entscheidung über die Verwendung der Ernterückstände bedeutet immer: Entweder werden sie als natürlicher Dünger verwendet und erhalten oder steigern möglicherweise die künftigen Erträge oder sie werden mit der Nutzung zugunsten der heutigen Erträge aus dem Waldökosystem entnommen.

Nachhaltiges Handeln kann als Ausgleich zwischen dem gegenwärtigen Nutzungswunsch und den zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten betrachtet werden. Damit kann die zwischen kurzfristiger Erlösmaximierung und langfristiger Erhaltung der Produktionsgrundlagen bestehende Spannung aufgelöst werden. Es spricht einiges dafür, über diesen Ausgleich mit Bedacht und gut informiert zu entscheiden. So gesehen ist die Nutzung von Kronenbiomasse als eine echte Herausforderung bei der Befolgung des Nachhaltigkeitsprinzips zu betrachten.

Literatur

Ebermayer, E. (1882): Naturgesetzliche Grundlagen des Wald- und Ackerbaues. 1. Physiologische Chemie der Pflanzen. Zugleich Lehrbuch der organischen Chemie und Agrikulturchemie für Forst- und Landwirthe, Agrikulturchemiker, Botaniker etc. 1. Die Bestandtheile der Pflanzen. Verlag Julius Springer, Berlin

Glatzel, G. (1991): The impact of historic land use and modern forestry on nutrient relations of Central European forest ecosystems. *Fertilizer Research* 27, S. 1–8

Jacobsen, C.; Rademacher, P.; Meesenburg, H.; Meiwes, K. J. (2003): Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung im Auftrage des BMVEL. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Göttingen, 81 S.

Kölling, C. (2010): Maß halten. Biomassenutzung kann Produktionskapital verzehren. *LWF aktuell* 78, S. 28–31

Kölling, C. (2012): Wie viel Holz muss draußen bleiben? Konzepte der Biomasse / Nutzungsmöglichkeiten und Nachhaltigkeitsgrenzen im Wald. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 8, S. 54–56

Kölling, C. (2013): Nutzungsmöglichkeiten und Nachhaltigkeitsgrenzen im Wald: Konzepte der Biomassenutzung für Bayern. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung* 94, S. 91–98

Kölling, C.; Dietrich, H.-P.; Raspe, S. (2011): Ernst Ebermayer – ein Mann der ersten Stunde. *AFZ-DerWald*, Jg. 66 Heft 13, S. 17

Meiwes, K.J.; Asche, N.; Block, J.; Kallweit, R.; Kölling, C.; Raben, G.; v. Wilpert, K. (2008): Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. *AFZ/Der Wald* 63, S. 598–603

Pretzsch, H.; Block, J.; Böttcher, M.; Dieler, J.; Gauer, J.; Göttlein, A.; Moshhammer, R.; Schuck, J.; Weis, W.; Wunn, U. (2013): Entscheidungsstützungssystem zum Nährstoffentzug im Rahmen der Holzernte - Nährstoffbilanzen wichtiger Waldstandorte in Bayern und Rheinland-Pfalz. Schlussbericht zum Projekt 25966-33/0, Deutsche Bundestiftung Umwelt <http://www.wald-rlp.de/fileadmin/website/fawfseiten/fawf/downloads/Projekte/DBU-2013.pdf> (Text), <http://www.wald-rlp.de/fileadmin/website/fawfseiten/fawf/downloads/Projekte/DBU-2013A.pdf> (Anhang)

v. Liebig, J. (1855): Die Grundsätze der Agricultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen. Verlag Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 2. Auflage

v. Wilpert, K.; Zirlwagen, D.; Bösch, B. (2012): Konzept eines Energieholz-Holzasche-Kreislaufs. *AFZ-DerWald* Jg. 67, H. 4, S. 10–14

Weis, W.; Göttlein, A. (2012a): Stoffliche Nachhaltigkeitskriterien für die bayerische Forstwirtschaft. Abschlussbericht zum Projekt B67 des Kuratoriums für forstliche Forschung in Bayern, 39 Seiten + 140 Seiten Anhang

Weis, W.; Göttlein A. (2012b): Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung. *LWF aktuell* 90, S. 44–47

Keywords: Nutrient balance, nutrient stocks, whole tree harvesting, forest biomass, sustainability

Summary: With the extension of forest utilization to the crown biomass (whole tree harvesting), the question is raised whether the additional nutrient export associated can diminish the nutrient balance of forest sites towards negative values and does reduce soil nutrient reserves in an unfavorable manner. Only the knowledge of the nutrient balance and nutrient storage connected with information about the intensity of use and the associated nutrient removal can help to prevent injury to the sustainability principle. It is to make the decision on the use of crop residues from the crown in each case: one would like to use this as a natural fertilizer or strives to alternative utilization to raise the revenues?
