

Der perfekte Schnitt?

Welchen Mehrwert haben Aushaltungsoptimierungssysteme für die Wertschöpfung der Kiefer?

Johannes Windisch, Moritz Bergen und Eric R. Labelle

Der Harvester, eines der wichtigsten Produktionsmittel in der Forstwirtschaft, besitzt neben der hohen Produktivität seit Beginn der 1990er Jahre auch Bordcomputer mit zahlreichen Funktionen. Unter anderem bieten sie die Möglichkeit, die Sortenbildung mit Hilfe von Preis- und Bedarfsmatrizen zu optimieren. Ob diese Methode dazu geeignet ist, in bayerischen Kiefernbeständen eine höhere Wertschöpfung zu realisieren, untersuchte eine Studie der Professur für Forstliche Verfahrenstechnik der TU München.

Die Konkurrenz um Holz nimmt zu (Mantau 2010). Während Sägewerke ständig daran arbeiten, die Schnittholzausbeute technologisch zu maximieren, firmiert dahingehend bei der maschinellen Holzernte immer noch das Auge des Maschinenführers als das Maß der Dinge, und es wird manuell ausgehalten. Das heißt, ausgewählte Baumarten, Sortimentslänge und -durchmesser werden in den Computer des Harvesters eingegeben und den »Hot-Keys« am Joystick des Maschinenführers zugeordnet. Die Aushaltung erfolgt ohne Unterstützung des On-Board Computers (OBC), rein aufgrund der visuellen Beurteilung des Maschinenführers.

Mensch gegen Computer

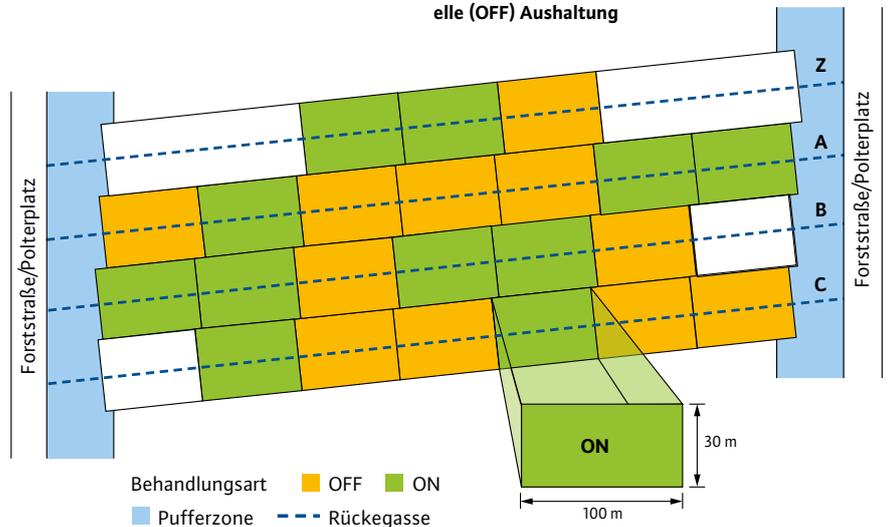
Die OBC von Harvestern bieten jedoch bereits seit Jahren eine Optimierungsfunktion zur Sortenbildung. Mit Hilfe von auf Stammkurven basierenden Algorithmen ist der OBC in der Lage, vom Durchmesser des Baumes auf Höhe des Fällschnitts eine Vorhersage über den Stammverlauf zu errechnen. Wird nun eine Preismatrix für die verschiedenen Sortimente hinterlegt, kann der OBC die Sortenbildung so gestalten, dass die Wertschöpfung für den Stamm optimal, d.h. maximal ist. Der Maschinenführer muss die vorgeschlagene Sortenbildung lediglich per Knopfdruck bestätigen. Das Ablängen erfolgt dann vollautomatisch. Eingriffe seitens des Maschinenführers

sind nur notwendig, wenn der Stamm, beispielsweise auf Grund von Wipfelbrüchen oder Faulstellen, vom prognostizierten Verlauf abweicht. In der Praxis wird diese Technologie in Bayern und Deutschland bisher allerdings kaum angewandt. Ob sie auch unter den Bedingungen der deutschen Forstwirtschaft potenzielle Vorteile bietet, wurde nun unter Praxisbedingungen untersucht. Hierfür wurde eine rein manuelle Aushaltung der Stämme – d. h. basierend auf der visuellen Einschätzung des Maschinenführers – mit einer durch den OBC optimierten Aushaltung verglichen. Als Bewertungskriterien wurden die Ausbeute (Fm m. R./Baum) und der Erlös (€/Fm) herangezogen.

2 Der Atlas Kern T23 Königstiger bei der Arbeit (li.); der Ponsse H6-Fällkopf (re.), verbunden mit der Aufarbeitungssoftware Opti4G im Führerstand des Harvesters, übernimmt die automatische Sortimentsbildung. Der Maschinenführer muss lediglich die Sortimentsauswahl am Computer bestätigen.

Fotos: M. Bergen

1 Studiendesign mit Lage und Verteilung der Plots für automatische (ON) und manuelle (OFF) Aushaltung



Der Versuchsaufbau

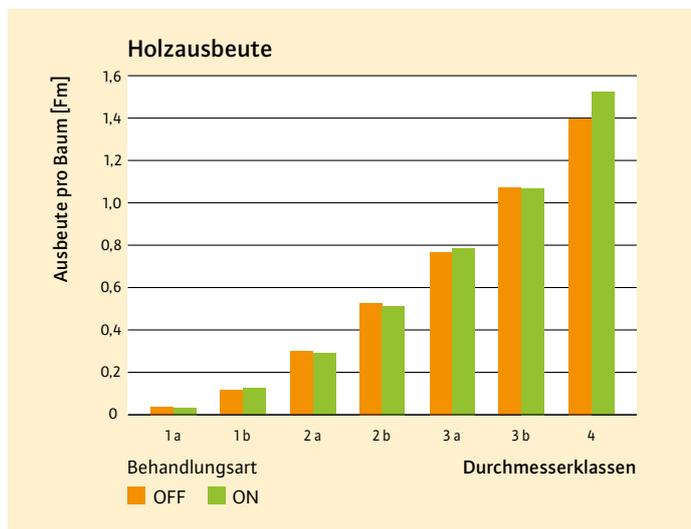
Zusammen mit den Bayerischen Staatsforsten AöR wurde am Forstbetrieb Schnaittenbach ein 9 ha großer Versuchsbestand ausgewiesen, der Teil einer 136 ha großen Kiefernaldurchforstung ist. Laut Forsteinrichtungswerk sind die Baumartenanteile 95 % Kiefer (*Pinus sylvestris*) und 5 % Fichte (*Picea abies*) mit einem Alter von 89 bis 143 Jahren (im Mittel 120 Jahre). Der Holzvorrat liegt bei 280 m³/ha. In diesen Bestand wurden 22 Plots einer Größe von 30 x 100 m gelegt (Abbildung 1). Anschließend wurde diesen zufällig eine der beiden Behandlungsarten a) die automatische Aushaltung mit Unterstützung durch den On-board Com-



3 Ausgehaltene Sortimente

Baumart	Sortiment und Länge [m]	Zopfdurchmesser [cm o.R.]
Kiefer	Standardlänge (4)	≥ 12
	Palette (2,35)	≥ 13
	Industrieholz (2)	≥ 9
Fichte	Standardlänge (4 und 5)	≥ 12 für beide
	Palette (2,35)	≥ 13
	Industrieholz (2 und 3)	≥ 7 und ≥ 9

4 Holzausbeute je Baum nach Stärkeklasse und Behandlung



5 Erlös [€/fm] der beiden Behandlungsarten (ON und OFF), getrennt nach Stärkeklassen

Stärkeklasse	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4	Mittelwert
OFF	67,00	66,71	67,30	72,75	77,29	79,87	80,37	74,93
ON	67,00	66,93	67,80	71,91	76,16	77,16	79,25	73,31
OFF-ON	—	-0,21	-0,50	0,84	2,70	1,12	1,12	1,62

puter (sog. ON-Plots) und b) die manuelle Aushaltung durch den Maschinenführer (sog. OFF-Plots) zugewiesen. Der Bestand wurde mit einem Atlas Kern T 23 (Abbildung 2) der BaySF Technik durchforstet, der mit einem Ponsse H6-Fällkopf ausgerüstet war. Dementsprechend war auf dem OBC die Ponsse-eigene Optimierungssoftware Opti4G installiert.



Die Kranreichweite der eingesetzten Maschine beträgt 14,5m, wodurch manuelles Beifällen nicht notwendig war und die Maßnahme vollmechanisiert durchgeführt werden konnte. Ausgehalten wurden die in Abbildung 3 aufgeführten für Kiefer üblichen Sortimente.

Die Ausbeute: Mehr Nutzholz beim OBC

Als Ausbeute (Fm/Baum) wird hier das Volumen bezeichnet, das an nutzbarem/verkaufbarem Holz pro Stamm anfiel. Über den gesamten ausscheidenden Bestand gerechnet, ergab sich in den Plots mit aktivierter Aushaltungsoptimierung eine Ausbeute von 89% des während der Vorinventur errechneten Volumens. Das bedeutet einen NH-Anteil (nicht verwertbares Derbholz) von 11%. In den Plots, die manuell ausgehalten wurden, belief sich die Ausbeute auf 87% und somit einem NH-Anteil von 13%. Mit 1,40 Fm/Baum (OFF) zu 1,53 Fm/Baum (ON) ist der Unterschied jedoch lediglich in der Stärkeklasse 4 statistisch signifikant und kann somit auf einen positiven Effekt der Aushaltungsoptimierung zurückgeführt werden (Abbildung 4).

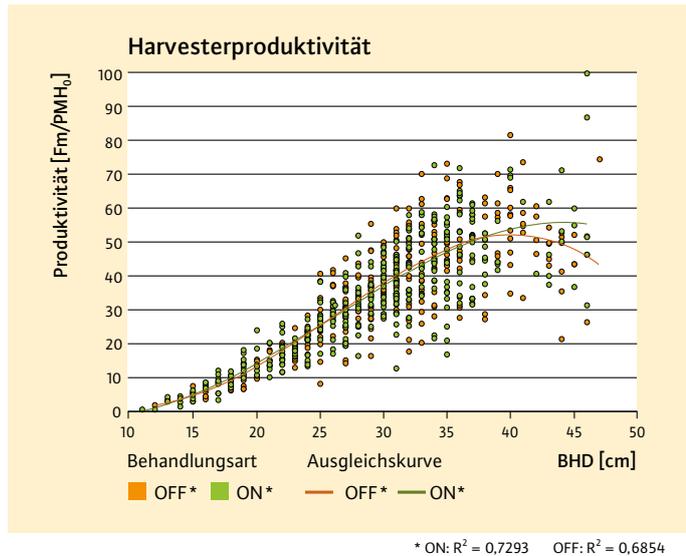
Der Erlös: Leichter Vorteil für den Maschinenführer

Aufgrund verschiedener Volumen in den einzelnen Stärkeklassen zwischen den Behandlungsvarianten ON und OFF wurde der Erlös pro Stärkeklasse errechnet. Hierzu wurden die Daten aus dem Harvesterprotokoll genutzt. Im Harvesterprotokoll sind alle aus dem ausscheidenden Bestand geschnittenen Sortimente inkl. der einzelnen Durchmesser und Längen hinterlegt. Nachdem dieser Datensatz mit den Daten der Vorinventur verschnitten wurde, ließ sich einzelstammweise nachvollziehen, welche Sortimente aus den Bäumen der verschiedenen Stärkeklassen geschnitten wurden. Somit konnte ein Durchschnittserlös pro Festmeter für die einzelnen Stärkeklassen errechnet und zwischen beiden Behandlungsvarianten verglichen werden (Abbildung 5). Entgegen der Erwartung, dass die Nutzung der Optimierungssoftware den Erlös pro Festmeter erhöhen würde, zeigte sich ein gegenteiliger Effekt. Dieser ist für die Stärkeklassen 3a, 3b und 4 signifikant zu Gunsten der manuellen Aushaltung durch den Maschinenführer ausgefallen.

Die Stammform muss stimmen

Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass die Optimierungsalgorithmen auf Stammkurven für Nordische Kiefern beruhen, die davon ausgehen, dass der Stamm kontinuierlich in die Spitze verläuft und die Krone schmal und kegelförmig ist. Solch eine Wuchsform ist hierzulande allerdings kaum anzutreffen. Kiefern hierzulande weisen meist eine asymmetrische, schirmförmige Kronenarchitektur auf. Aufgrund dieser Unterschiede im Kronenaufbau und der sich daraus ergebenden Stammform entspricht die von der Optimierungssoftware vorgeschlagene Aushaltung nur in seltenen Fällen dem tatsächlichen Stammverlauf. Kärhä et al. (2016) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass in Kiefernbeständen die Optimierungssoftware regelmäßig zu einer niedrigeren Wertschöpfung im Vergleich zur manuellen Sortenbildung führte. Auch diese Studie deutet darauf hin, dass selbst die Stammform der Nordischen Kiefer von den Algorithmen nur unzulänglich vorhergesagt werden kann.

6 Produktivität des Harvesters Kern T23, abhängig von BHD und Aushaltungsmethode für die Baumart Kiefer



Die Produktivität: auch hier ein kleines Plus für den Harvesterfahrer

Um die Produktivität zu ermitteln, wurde während des Hiebes eine Zeitstudie durchgeführt, in der der Zeitbedarf für die Arbeitselemente *Kran aus*, *Fällen*, *Aufarbeiten* und *Fahren* getrennt für beide Behandlungsmethoden ermittelt wurde. In der Analyse wurde dann die Produktivität der Maschine berechnet. Da unproduktive Arbeitselemente, wie zum Beispiel Standzeiten der Maschine und Pausen, nicht berücksichtigt wurden, beziehen sich die Angaben zur Produktivität auf effektive Maschinenarbeitsstunden (PMH_0). Auch die Produktivität der Maschine war entgegen den Erwartungen in den OFF-Plots ($36 \text{ Fm}/PMH_0$) um 5,9% höher als in den ON-Plots ($34 \text{ Fm}/PMH_0$). Diese Werte sind jedoch statistisch nicht signifikant. Bemerkenswert ist jedoch die höhere Produktivität der Behandlungsvariante ON in den niedrigen (15 bis 25 cm) und hohen (über 36 cm) Stärkeklassen, während im mittleren Stärkebereich OFF die höhere Leistung liefert (Abbildung 6).

Autoren

Dr. Johannes Windisch ist Mitarbeiter im Team »Technische Produktion« der Bayerischen Staatsforsten, Moritz Bergen Abteilungsleiter Forst am Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Fürth. Beide waren während der Projektbearbeitung wissenschaftliche Mitarbeiter an der Professur für Forstliche Verfahrenstechnik der Technischen Universität München.
Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle leitet diese Professur.
Kontakt: eric.labelle@tum.de

Mehr Sortimentewechsel, mehr Kranbewegungen

Ein Grund für die höhere Produktivität bei manueller Aushaltung könnte die höhere Anzahl an Kranbewegungen sein, die bei eingeschalteter Optimierung zu beobachten war. Dies lag daran, dass bei dieser Behandlungsart der OBC entschieden, welches Sortiment als nächstes ausgehalten werden sollte. Jedoch wechselt der OBC häufig die Sortimente von einem zum nächsten Abschnitt. Das heißt, es wurde zum Beispiel als erstes das Sortiment *Palette* vorgeschlagen, gefolgt von zwei *Standardlängen*, anschließend wieder eine *Palette* und zum Schluss zwei *Industrieholzsortimente*. Da es in der deutschen Forstwirtschaft üblich ist, die Stammabschnitte für den nachfolgenden Rückzugsfahrer so abzulegen, dass er diese mit möglichst wenig Aufwand aufladen und abtransportieren kann, wurden die Abschnitte getrennt nach Sortimenten gepoltert. Bei einem häufigen Wechsel zwischen den Sortimenten ist der Maschinenführer gezwungen, immer wieder den Kran zum entsprechenden Polter zu bewegen, um die Abschnitte dort ablegen zu können. Während der manuellen Aushaltung waren diese häufigen Wechsel und der somit höhere Zeitaufwand nicht nötig. Da der Maschinenführer bei dieser Methode selbst entschied, welches Sortiment geschnitten wurde, fanden hier kaum Wechsel der Sortimente zwischen den einzelnen Abschnitten statt.

Schlussfolgerung

Die Studie hat gezeigt, dass die automatische Sortimentsbildung durch die Optimierungssoftware des Harvestercomputers in Kiefernbeständen derzeit nicht die gewünschte Steigerung der Wertschöpfung leisten kann. Vielmehr ist ihr unter den gegebenen Bestandsbedingungen die manuelle Sortimentsbildung durch den Maschinenführer überlegen. Derzeit läuft die Auswertung einer Studie in einer Fichtenendnutzung. Erste Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die automatische Aushaltung einen um etwa 0,5 €/Fm höheren Erlös erzielt.

Die unzulänglichen Funktionen zur Vorhersage der Stammkurven für Kiefer zeigen deutlich den weiteren Forschungsbedarf auf. Möchte man auch in der Kiefer eine Erhöhung der Wertschöpfung durch Optimierungsalgorithmen realisieren, müssen dementsprechend zuverlässige, auf die hiesige Wuchsform der Kiefer abgestimmte Funktionen entwickelt und in der Praxis geprüft werden. Des Weiteren sollten auch die Effekte der optimierten Aushaltung auf nachfolgende Prozessschritte, zum Beispiel die Rückung und die Distributionslogistik, untersucht und in einer ganzheitlichen Kosten-Nutzen-Betrachtung monetär bewertet werden.

Zusammenfassung

Harvester sind seit vielen Jahren mit On-Board Computern ausgestattet, die eine automatische Sortimentsbildung während der Holzzernte zulassen. Diese Möglichkeit einer optimalen Holz-aushaltung wird jedoch in der Regel nicht angewendet. Eine Studie der TU München untersuchte, in wie weit damit eine höhere Wertschöpfung in Kiefernbeständen erreicht werden kann. Die Ergebnisse bei Ausbeute, Erlös und Produktivität sind in den unterschiedlichen Stärke- und Sortimentsklassen nicht einheitlich, deuten jedoch darauf hin, dass das Auge des Maschinenführers in der Kiefer den derzeitigen Optimierungsalgorithmen überlegen ist. Allerdings bestehen durch geeignete Anpassungen in der Computersoftware durchaus Verbesserungsmöglichkeiten. Weitere Untersuchungen in diesem Forschungsbereich sind daher wünschenswert.

Literatur

Mantau, U. (2010): Wood resource balance – is there enough wood for Europe?. In: Mantau U. (ed.) EUwood – real potential for changes in growth and use of EU forest. University of Hamburg. Centre of Wood Science. Hamburg. S. 19–34
Kärhä, K.; Änäkälä, J.; Hakonen, O.; Sorsa, A.; Palander, T.; Räsänen, T.; Moilanen, T.; Järveläinen, H.; Korvenranta, M. (2016): Utilization of manual bucking in cutting softwood logs in Finland. Presentation at Formec Conference 2016, Warsaw