

Produktivitäts- und Kostenanalyse von Seilkrananlagen

Die Holzernte und -rückung mit Seilkrananlagen bietet im Hinblick auf die Bodenpfleglichkeit von Holzertesystemen einige Vorteile. So ist die seilgestützte Holzrückung nicht nur in Hanglagen, sondern auch zum Schutz ebener Lagen von Bedeutung. Auch kann sie hinsichtlich des Verfahrens variieren, beispielsweise je nach Stärkeklasse des ausscheidenden Bestandes.

TEXT: JANINE SCHWEIER, MARIE-LUISE KLEIN, HERBERT KIRSTEN, DIRK JAEGER, FRAUKE BRIEGER, UDO HANS SAUTER

Zunehmend werden Seilkrananlagen auch in der Ebene und im Übergangsgelände als bodenschonende Rückungsalternative zu herkömmlichen vollmechanisierten Systemen eingesetzt [1] (Abb. 1). Viele Bestände sind befahrungssensitiv und eine Verdichtung des Waldbodens soll vermieden werden. Zum Beispiel kann die wiederholte Befahrung von Rückegassen durch schwere Forstmaschinen einen erheblichen Einfluss auf die bodenbiologischen Eigenschaften des Wurzelraums der angrenzenden Bestandesflächen haben. Dieser negative Einfluss kann zwar durch den Einsatz von Zusatzausrüstungen reduziert werden,

doch beim Einsatz einer Seilkrananlage entfällt die Befahrung des Waldbodens entweder gänzlich oder wird auf den Einsatz einer Vorrückeraupe entlang der Seiltrasse beschränkt. Rückeschäden im verbleibenden Bestand können insbesondere bei weiten Seillinienabständen nicht immer verhindert werden. Sie sind jedoch wegen des hohen Seileinlaufes und der damit einhergehenden Lastanhebung in der Regel geringer als beim Bodenseilzug mittels Seilschlepper. Neben dem Bedarf an pfleglichen Rückungsalternativen werden flexible Systeme benötigt. Es gibt eine Veränderung in der Baumartenzusammensetzung der Wälder mit einer

Zunahme des Laubholzanteils. Seilkrananlagen können flexibel in allen Beständen eingesetzt werden, d. h. in Laubholz-, Nadelholz- und Mischbeständen. Auch wenn die Stämme nicht durch ein Vollernteraggregat aufgearbeitet werden können, etwa bei Laub- oder Starkholz, ist der Einsatz des Seilkrans möglich. Da bei der Seilkranrückung in der Regel Vollbäume geseilt werden, bietet sich hier der Vorteil, dass motormanuelle Aufarbeitungsprozesse auf der Waldstraße durchgeführt werden, was mehr Platz und Sicherheit für den Forstwirt oder die Forstwirtin bietet. Um motormanuelle Arbeiten in zunehmend stärker strukturierten



Abb. 1: Seilkraneinsatz in der Ebene

Schneller ÜBERBLICK

- » **Seilkrananlagen** gewinnen auch im Flachland zunehmend an Bedeutung
- » **Gründe sind** der Bodenschutz und die geänderte Baumartenzusammensetzung mit mehr Laubholz
- » **Untersucht wurden** die Horizontal- und die Bergaufrückung
- » **Die durchschnittlichen** Verfahrenskosten lagen bei 32,17 €/Fm für Bergaufrückungen und 33,21 €/Fm bei Horizontalrückungen
- » **Horizontalrückungen** per Seilkran nehmen im Untersuchungsgebiet stark zu

Foto: J. Schweier

Leistungskennzahlen im Vergleich

Tab. 1: Leistungskennzahlen für den Seilkran K507 bei Horizontal- und Bergaufrückung

K507	Horizontalrückung (N = 19)							
	Fm	BHD [cm]	N (Trasse)	TL [m]	SA	LH [%]	VL [Fm/m]	E.bag [%]
Min.	452,3	24,0	2,0	122,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Max.	1.984,5	45,0	16,0	400,0	1,5	99,0	1,2	100,0
Mittel	955 ± 435	35,5 ± 5,5	6,0 ± 3,7	269,3 ± 94,2	0,6 ± 0,5	38,5 ± 44,8	0,6 ± 0,3	38,8 ± 37,6
K507	Bergaufrückung (N = 41)							
	Fm	BHD [cm]	N (Trasse)	TL [m]	SA	LH [%]	VL [Fm/m]	E.bag [%]
Min.	96,0	25,0	1,0	118,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Max.	3.163,9	55,0	23,0	450,0	2,7	82,0	2,6	98,9
Mittel	1.032 ± 680	39,0 ± 6,0	8,8 ± 5,9	252,6 ± 85,6	0,5 ± 0,5	18,8 ± 22,0	0,5 ± 0,4	10,6 ± 23,6

Mittel = Mittelwert mit Standardabweichung; Fm = Durchschnittliche Gesamtfestmeter eines Hiebs; BHD = Brusthöhendurchmesser; N = Anzahl; LH = Laubholz; TL = Trassenlänge; SA = Durchschnittliche Sattelanzahl pro Trasse; VL = Volumen Holz pro Laufmeter der Seiltrasse; E.Bag = Prozentualer Festmeteranteil mit Einsatz des Endmastbaggers

(Laub)holzbeständen sicherer zu gestalten, könnten Seilkrananlagen zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Untersuchtes Verfahren

Kombiseilgeräte sind als mobile Seilkrananlagen mit Kranprozessor definiert und weitläufig unter der Bezeichnung Gebirgsharvester bekannt. Nach Einweisung, Planung und Trassierung werden die Bäume dickkörtig zur Seillinie gefällt und gegebenenfalls mit einer funkfern gesteuerten Vorrückeraupe zur Seiltrasse vorgerückt, bevor die Seilkrananlage auf der Waldstraße aufgebaut wird. Aufgrund der großen Nutzlast des Seilkran (~3 t) ist das Verfahren für Starkholz geeignet, wobei dann insbesondere die starken Äste bereits im Bestand grob motormanuell entastet werden.

Zum Aufbau des Gebirgsharvesters werden Bäume als Sattelstützen, Talstützen und Ankerbäume ausgezeichnet. Bei fehlenden Stützbäumen, oder aus Gründen der Arbeitssicherheit kann u. U. ein Endmastbagger eingesetzt werden, sofern entsprechende Wege vorhanden sind. Neben der Hangneigung und der Trassenlänge beeinflusst auch die Geländeausformung die Anzahl der benötigten Sattelstützen für das Tragseil. Der K507 ist auf einem Lkw angebracht und arbeitet je nach Rückungsrichtung (horizontal, bergauf, bergab) mit einem 2- oder 3-Seil-System. In der Bergaufrückung kommt das 2-Seil-System zum Ein-

„Seilkrananlagen sind flexibel in allen Beständen einzusetzen und tragen den Ansprüchen an eine multifunktionale Forstwirtschaft Rechnung.“

JANINE SCHWEIER

satz (Tragseil, Zugseil), während für die Bergabrückung und Horizontalrückung mindestens drei Seile benötigt werden (Tragseil, Zugseil, Rückholseil). Untersucht wurden die Horizontalrückung und die Bergaufrückung.

Die Trassenlänge beträgt beim Koller K507 bis zu 700 m und der Abstand zwischen den Trassen rund 30 m bzw. bis zu rund 60 m, wenn zusätzlich eine Vorrückeraupe eingesetzt wird.

Nach dem Aufbau des Gebirgsharvesters wird der Vollbaum bzw. die Sortenlänge [2] zur Waldstraße geseilt und dort vom Aggregat des Vollernters aufgenommen. Der Vollbaum wird entastet, in Sorten geschnitten, vermessen, sortiert und gegebenenfalls direkt mit dem Aggregat des Vollernters gepoltet. Die Sortimente werden für den weiteren Verzug bzw. die Endrückung ab-

gelegt, wenn der Platz für das Poltern nicht ausreicht.

Stämme, die sich nah an der Waldstraße befinden, werden mit einem Seilwindenschlepper mittels Bodenzug gerückt (bis ca. 50 m Beizugsdistanz), anschließend aufgearbeitet und gepoltet. Für alle Tätigkeiten, einschließlich Fällen und Vorrücken im Bestand, Rücken mit Seilkran und im Bodenzug, Aufarbeitung sowie Verziehen und Poltern, kommen je nach Konstellation zwischen 5 bis 8 Personen zum Einsatz.

Datengrundlage

Zwischen 2013 und 2018 wurden systematisch Daten von Holzerntemaßnahmen im südwestlichen Deutschland von den zwei regieeigenen Seilkrananlagen K507 und V400 innerhalb des forstlichen Maschinenbetriebes St. Peter [3], der in diesem Zeitraum zum Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (ForstBW) gehörte und heute zur ForstBW AöR gehört, gesammelt. Sie beinhalten Informationen über die Rückung von 122.130 Fm Holz und 9.903 Maschinenarbeitsstunden (MAS) in 138 Hieben, was einem durchschnittlichen Hiebsanfall von 885 Fm entspricht. Die MAS enthalten die produktiven Zeiten einschließlich kürzerer Wartezeiten und/oder Reparaturen unter 15 Minuten. Die Festmeterangaben wurden ohne Einbezug der Rinde dokumentiert. Die gesammelten Daten beinhalten auch Einsätze eines Endmastbaggers (17.228 Fm, N = 20). Ver-

schiedene Hiebe wurden von der Auswertung ausgeschlossen (u. a. Schadh Holz), sodass den im Folgenden präsentierten Ergebnissen ein Datenumfang von 4.285 MAS (60.498 Fm, N = 60) zugrunde liegt (Tab. 1).

Entwicklungen im Einsatzbereich

Das im Durchschnitt jährlich mit dem K507 gerückte Holzvolumen betrug rund 10.100 Fm (714 MAS) (ohne Schadh Holz). Innerhalb des Untersuchungszeitraums gab es eine signifikante Zunahme an Holzrückungen in horizontaler Richtung: Sie stiegen innerhalb von sechs Jahren von ungefähr 21 % (2013) auf 67 % (2018) an (Abb. 2). Dazu ist zu erwähnen, dass im Jahr 2018 insgesamt 11.800 Fm gerückt wurden, von denen 6.200 Fm Schadh Holz waren. Dieses wurde hier jedoch nicht berücksichtigt, weil sein Auftreten in verschiedenen Rückungsrichtungen die Tendenzen in der technischen Entwicklung und Einsatzmöglichkeit der Seilkrananlagen beeinflussen könnte und z. B. das Auftreten von Sturmholz in speziellen Rückungsrichtungen nicht Gegenstand der Untersuchung war. Rund 5.000 Fm wurden jährlich im Laubholz gerückt. Eine Zu- oder Abnahme der Laubholzernte war nicht festzustellen. Auch die Anzahl der ausgehaltenen Sortimente und ihr Anteil an der Gesamternte veränderten sich unwesentlich. Das Sortiment mit dem größten Anteil war Stammholz (normal/lang). Da dies mit der Seilkranernte möglich ist, ist der potenzielle Erlös vielversprechend.

Verwendung einer Vorrückeraupe

Ergänzend setzte man seit 2015 eine Vorrückeraupe der Fa. Wicki (Typ 50.6B) im relativ konstanten Umfang von jährlich rund 2.702 ± 510 Fm (245 ± 48 MAS) ein. Die Raupe hat 6 t Zugleistung, eine Seillänge von 150 m und wiegt 2,6 t. Sie kommt bei etwa einem Viertel der geernteten Holzmenge zum Einsatz. Dass sie nicht häufiger eingesetzt wird, könnte daran liegen, dass ihr Einsatz technisch auf Hangneigungen bis maximal 50 % (selten 55 %, mit Traktionshilfswinde) begrenzt ist. Darüber hinaus kann die Vorrückeraupe

nicht auf Flächen mit losen Felsblöcken oder bei einem Stückvolumen von über 2 Fm/Baum eingesetzt werden [3]. Dennoch spielt ihr Einsatz besonders in gefahrenreichen Situationen, wie der Sturmholzernte, eine große Rolle, weil sie die Arbeitssicherheit erhöht.

Installationszeiten und ihre Einflussfaktoren

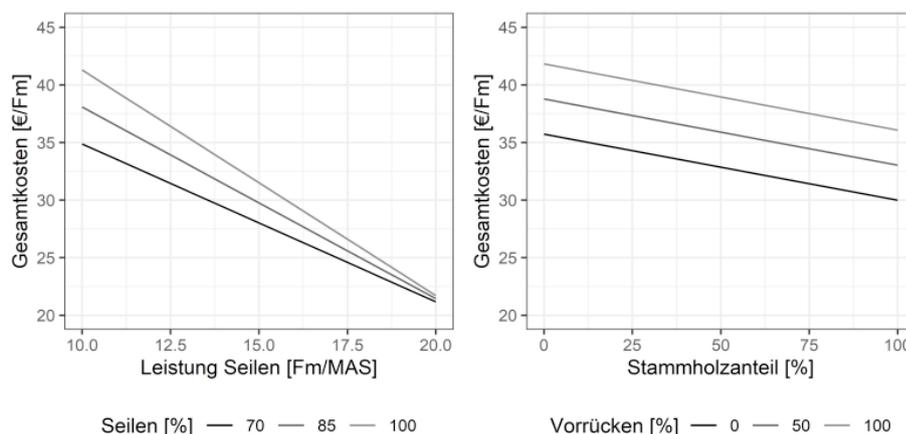
Die Installationszeit für die Seiltrassen (Aufbau, Abbau und Umbau der Seilkrananlage) betrug durchschnittlich 8 ± 4 Stunden/Trasse. Sie nahm damit einen Großteil der Gesamtarbeitszeit ein. Die Länge der Installationszeit hängt signifikant mit der Anzahl der Sattelstützen zusammen. Diese wiederum hängt von der Trassenlänge ab. In horizontaler Rückungsrichtung sind mehr Sattelstützen notwendig als in Gravitationslage.

Maschinenleistungen im Seilen und Vorrücken

Die durchschnittliche Maschinenleistung im Seilen betrug 13,3 Fm/MAS. Eine lineare Regression zeigte den signifikanten Einfluss des BHD auf die Leistung im Seilen. Darüber hinaus beeinflusst der Einsatz der Vorrückeraupe die Leistung: Sie nimmt mit ansteigendem Anteil an vorkonzentriertem Holz

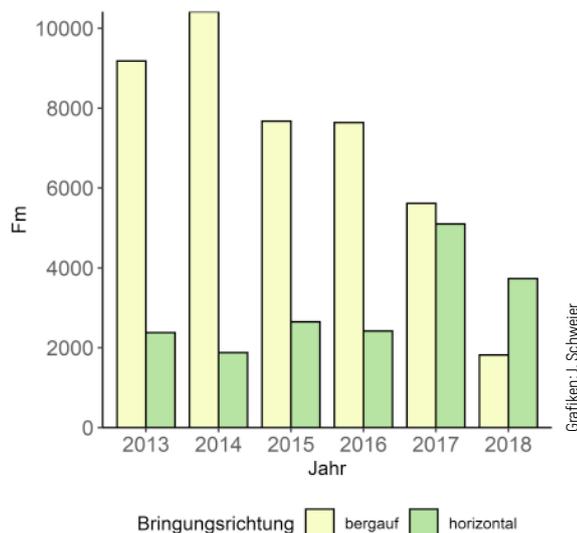
Gesamtkosten eines Hiebs

Abb. 3: In Abhängigkeit von (A) der Leistung des Seilens und dem prozentualen Einsatz des K507 im Seilen und (B) dem Stammholzanteil und dem prozentualen Anteil des Vorrückens. Die Gesamtkosten beziehen die Kosten für das Poltern nicht mit ein. $R^2=0,75$



Festmeter je Rückungsrichtung

Abb. 2: Volumen je Rückungsrichtung in 2013-2018 (K507)



durch die Vorrückeraupe zu. Der Zusammenhang verdeutlicht, dass die Produktivität der Holzrückung mit steigender lateraler Bezugsdistanz abnimmt. Eine Vorkonzentration der Vollbäume/Sortenlängen an der Seiltrasse verringert die Bezugsdistanz und verbessert die Zugänglichkeit des Lastbündels. Im Gegenzug sinkt die Maschinenleistung der Vorrückeraupe bei höherer Bezugsdistanz. Die durchschnittliche Leistung der Vorrückeraupe betrug 12,0 Fm/MAS (8,2-18,7 Fm/MAS).

Verfahrenskosten

Die ermittelten Verfahrenskosten lagen zwischen 19,40 €/Fm und 44,74 €/Fm und betragen im Mittel 32,17 €/Fm für

Seilkrananlage K507

Tab. 2: Technische Daten, Produktivität, Kosten

Maschine	K507	K507
Rückungsrichtung	Bergauf	Horizontal
Technische Daten		
Nutzlast	3.000 kg	
Laufwagen	MSK-4	
Prozessor	Woody 60	
Masthöhe	11,4 m	
Tragseillänge	800 m	
Maschinenstunden (MAS/a)	3,128	1,157
Produktivität (Fm/MAS)	Seilen	Seilen
Mittelwert	12,9 ± 2,4	14,5 ± 2,8
Min.	9,6	9,0
Max.	21,7	21,5
Gesamtkosten¹ (€/Fm)	Gesamt	Gesamt
Mittelwert	32,2 ± 6,0	33,2 ± 5,4
Min.	19,4	25,7
Max.	43,5	44,7

¹ Kosten pro gerücktem Festmeter

Bergaufrückungen und 33,21 €/Fm für Horizontalrückungen (Tab. 2). Die Kosten beinhalten nicht den Arbeitsschritt „Poltern“, weil nicht in allen Fällen Daten vorhanden waren. Es wurden signifikante Zusammenhänge zwischen den Verfahrenskosten und der Leistung des Seilens, dem prozentualen Anteil des Seilkraneinsatzes, dem Stammholzanteil und dem Anteil des vorkonzentrierten Holzes festgestellt. Die Verfahrenskosten sinken mit steigender Leistung im Seilen und mit steigendem Stammholzanteil (Abb. 3). Da der Stammholzanteil in der Analyse der Maschinenleistung nicht als signifikanter Einflussfaktor identifiziert wurde,

Literaturhinweise:

[1] SCHWEIER, J.; KLEIN, M.-L.; KIRSTEN, H.; JAEGER, D.; BRIEGER, F.; SAUTER, U.-H. (2020): Productivity and cost analysis of tower yarder systems using the Koller 507 and the Valentini 400 in southwest Germany. *International Journal of Forest Engineering*. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1761746>. [2] Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR). *Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V. und Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V. (Hrsg.), 2. Auflage, 2015, 56 S.* [3] KIRSTEN, H. (2019): Seilkraneinsätze auf ebenen, empfindlichen Standorten – Erfahrungen mit dem Einsatz des Gebirgharvesters am Forstlichen Maschinenbetrieb St. Peter. *FTI 2019 (1)*, 5-9.

liegt es nahe, dass ein hoher Stammholzanteil sich positiv auf andere Teilarbeitsschritte auswirkt, z. B. der Verzug mit dem Schlepper oder die Entastung. Im Gegensatz dazu steigen die Kosten an, je größer die Anzahl an Vollbäumen bzw. Sortenlängen ist, die anteilig mit dem Seilkran geseilt werden sowie mit der Vorrückeraupe vorkonzentriert werden. Alternativ zur Seilarbeit werden sie teilweise (bis ca. 50 m in den Bestand) mit dem Schlepper von der Waldstraße gerückt.

Wegnahes Rücken mit dem Schlepper

Interessanterweise wurde eine Interaktion der Variablen Seilleistung und des prozentual geseilten Holzvolumens festgestellt, welche die Kosten beeinflussen: Die Verfahrenskosten können bei hohen Maschinenleistungen der Seilkrananlage (>20,9 Fm/MAS) durch vermehrtes Seilen der Vollbäume bzw. der Sortenlänge gesenkt werden. In dem Fall wird weniger Holz mit dem Seilwindenschlepper nahe der Waldstraße gerückt (Bodenseilzug). Ist demnach eine Maschinenleistung in der genannten Größe zu erreichen, sollte aus ökonomischer Sicht tendenziell das Seilen der Stämme dem wegnahen Rücken mit dem Seilwindenschlepper vorgezogen werden, um die Kosten zu senken. Diese beschriebene Leistung kann durchaus gegeben sein, jedoch liegt sie über der durchschnittlichen Leistung. Dies zeigt, dass normalerweise der Bodenseilzug bis ca. 50 m in den Bestand günstiger ist als das Seilen dieser Stämme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Schlepperrückung hier nur das wegnaher Beiziehen der Vollbäume bzw. der Sortenlänge mit einer Beizugsdistanz von ungefähr 50 m beschreibt, da die Schlepperrückung in den untersuchten Hieben nicht für das gesamte geerntete Holz eingesetzt wer-

den kann. Insgesamt ist anzumerken, dass der Anteil des Bodenseilzugs auch unter Einbezug der Trassenlänge bestimmt wird, da ein ausreichend großer Massenanteil pro Trasse gewährleistet sein muss, um die Seilkranrückung rentabel zu gestalten.

Fazit

In dieser Studie wurden Kennwerte des Gebirgharvesters K507 und deren Einflussfaktoren auf Grundlage von Hiebsmaßnahmen im südwestlichen Deutschland untersucht. Dazu wurden die Installationszeiten, die Produktivität bei der Seilarbeit und die Gesamtkosten der Verfahren analysiert. Außerdem wurden aktuelle Trends im Einsatzbereich der Seilkrananlagen beobachtet. Die beschriebenen Ergebnisse ermöglichen eine differenzierte Betrachtung. Insgesamt ist der Einsatz eines Kranschleppers in Kombination mit einer Seilwinde empfehlenswert, um Holz nahe (< 50 m) der Waldstraße zu rücken und gebrachtes Holz zu verziehen, zu sortieren und zu poltern. Ist die Leistung der Seilkrananlage jedoch hoch, sollte diese Kapazität so gut wie möglich genutzt werden, was bedeutet, dass der Anteil des Bodenseilzugs mit dem Schlepper verringert wird.



Dr. Janine Schweier

janine.schweier@wsl.ch

leitet die Forschungsgruppe „Nachhaltige Forstwirtschaft“ an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Zuvor hat sie mit **Marie-Luise Klein** an der Universität Freiburg geforscht, die die Daten- und Auswertungsgrundlage für diesen Artikel lieferte.

Herbert Kirsten war bis zu seiner Pensionierung technischer Leiter des forstlichen Maschinenbetriebs St. Peter im Südschwarzwald. **Dirk Jaeger** ist Professor im Fachgebiet Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie an der Universität Göttingen. **Frauke Brieger** arbeitet in der von **Udo H. Sauter** geleiteten Abteilung Waldnutzung der FVA Baden-Württemberg.

Die Autoren danken ForstBW für die Erlaubnis zur Datenauswertung und für die Unterstützung.