

Stochastische Frontieranalyse: ein Konzept zur Messung der Effizienz von Forstbetrieben?

Patric Bürgi^{1,*}, Fabian Heimsch²

¹ Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften BFH-HAFL, Fachgruppe Forstliche Produktion (CH)

² Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Institute for Competitiveness and Communication (CH)

Abstract

Die Schweizer Waldwirtschaft erbringt eine Vielzahl ökonomischer und gesellschaftlicher Leistungen. Derzeit weist jedoch nur knapp die Hälfte der Forstbetriebe ein positives Ergebnis in der Waldbewirtschaftung aus. Der wichtigste Grund für die mangelnde Rentabilität sind die hohen Produktionskosten. Im Hinblick auf die gezielte Entwicklung von Ansätzen zur Kostenoptimierung ist es wichtig, ein vertieftes Verständnis über relevante Determinanten der Kosteneffizienz in der Waldbewirtschaftung zu erlangen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden die grundsätzliche Eignung und die Möglichkeiten und Grenzen von stochastischen Frontieranalysen zur Analyse der Kosteneffizienz von Forstbetrieben untersucht. Paneldaten aus dem forstwirtschaftlichen Testbetriebsnetz der Schweiz bildeten dafür die Datenbasis. Als Vorbereitung für die stochastische Frontieranalyse wurde eine Clusteranalyse durchgeführt. Diese verfolgte das Ziel, homogene Gruppen von Forstbetrieben zu bilden, die über ähnliche Produktions- und Randbedingungen verfügen. Die beste Clusterlösung umfasst drei Betriebscluster, die über den gesamten Betrachtungszeitraum stabil sind. Basis der stochastischen Frontieranalyse bildeten 36 unterschiedliche Modelle zur Schätzung einer Cobb-Douglas-Kostenfunktion. Als Basismodell wurde ein True-random-Effects-Modell gewählt. Dieses bietet den Vorteil, das unbeobachtete Heterogenität nicht automatisch als Kosteneffizienz interpretiert wird. Wie zu erwarten war, stellen die Faktorpreise des Personals den wichtigsten Kostentreiber dar. In der konkreten Anwendung des Modells zeigt sich, dass in allen Clustern Skaleneffekte (Economies of Scale) und Dichtevorteile (Economies of Density) beobachtet werden können. Die durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass die Schätzung einer einfachen Kostenfunktion für Forstbetriebe möglich ist und durch die Bildung solider Betriebscluster Fragen der Effizienz untersucht werden können.

Keywords: cluster analysis, stochastic frontier analysis, SFA, cost efficiency, forest enterprises, Forstwirtschaftliches Testbetriebsnetz, TBN

doi: 10.3188/szf.2024.0036

* Länggasse 85, CH-3052 Zollikofen, E-Mail patric.buergi@bfh.ch

Die Schweizer Waldwirtschaft ist ein wichtiger Rohstofflieferant und stellt eine ganze Reihe gesellschaftlich erwünschter Waldleistungen bereit (z.B. Schutz oder Erholung). Eine wichtige Basis hierfür ist eine in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht nachhaltige Waldbewirtschaftung (Abbildung 1). Die Ergebnisse des forstwirtschaftlichen Testbetriebsnetzes (TBN) der Schweiz zeigen jedoch, dass aktuell nur knapp die Hälfte der Forstbetriebe ein positives Ergebnis in der Waldbewirtschaftung ausweist (Bürgi et al 2023). Eine in ökonomischer Hinsicht nicht nachhaltige Waldbewirtschaftung gefährdet längerfristig die Bereitstellung der gesellschaftlich erwünschten Waldfunktionen und -leistungen und allfällig notwendige Investitionen für die Anpassung des Waldes an

den Klimawandel (Bürgi 2018). Der wichtigste Grund für die geringe Rentabilität der Waldbewirtschaftung sind die hohen Produktionskosten (Bürgi et al 2021a). Daher ist es im Hinblick auf die Entwicklung von Ansätzen zur Kostenoptimierung wichtig, ein vertieftes Verständnis über die relevanten Determinanten der Kosteneffizienz zu erlangen.

Hauptziele eines durch die Abteilung Wald des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) finanzierten Forschungsprojektes (Bürgi et al 2021b) waren es, die grundsätzliche Eignung sowie die Möglichkeiten und Grenzen von stochastischen Frontieranalysen (stochastic frontier analysis, SFA) zur Beurteilung der Kosteneffizienz von Forstbetrieben auszuloten. Zudem sollten wichtige Determinanten der Kosteneffizienz in der Waldbewirtschaftung identifiziert und



Abb 1 Eine effiziente Waldbewirtschaftung ist die Basis für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht. Foto: Marc Werder

der Einfluss externer Einflussgrößen auf die Kosteneffizienz der Forstbetriebe untersucht werden. Die Arbeit soll damit Grundlagen zur Entwicklung neuer Lösungsansätze zur Wiederherstellung der ökonomischen Nachhaltigkeit in der Schweizer Waldwirtschaft liefern.

Material und Methoden

Datenbasis

Datenbasis der vorliegenden Arbeit bilden Paneldaten von 127 Forstbetrieben des TBN der Schweiz aus den Wirtschaftsjahren von 2008 bis 2017. Im TBN liegen detaillierte Daten zu Betriebsgrösse, Lage, Kosten, Erlösen, Ergebnissen, eingesetzten Produktionsfaktoren und Outputs der Forstbetriebe vor. Aufgrund der einheitlichen Erfassung der Daten eignen sich diese hervorragend für Effizienzanalysen.

Methodisches Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden die Paneldaten aufbereitet und deskriptiv ausgewertet, um wirtschaftliche Veränderungen und Trends im Zeitverlauf zu identifizieren.

In einem zweiten Schritt wurde eine Onlinebefragung bei den TBN-Betrieben durchgeführt. Dabei wurden Informationen erhoben, die für eine differenzierte Untersuchung der Kosteneffizienz notwendig, nicht aber im TBN-Datensatz verfügbar waren. Dazu gehören beispielsweise Daten zur öko-

nomischen Ausrichtung zur finanziellen Ausstattung oder zum Spardruck der Forstbetriebe.

Danach wurden die Paneldaten einer Clusteranalyse unterzogen, um den heterogenen Ausgangsbedingungen der Forstbetriebe Rechnung zu tragen. Damit sollten Betriebe mit vergleichbaren Produktions- und Randbedingungen für die nachfolgende Effizienzanalyse identifiziert werden.

Die SFA hatte in einem vierten Schritt zum Ziel, eine Kostenfunktion zur Messung der Effizienz der Forstbetriebe zu schätzen und relevante Determinanten der Kosteneffizienz zu identifizieren.

In einem fünften und letzten Arbeitsschritt wurden mittels des gewählten SFA-Modells verschiedene mikroökonomische Theorien und der Einfluss externer Einflussgrößen auf die Kosteneffizienz der Forstbetriebe untersucht.

Clusteranalyse

Die Clusteranalyse ist ein unüberwachtes Lernverfahren, bei dem Datenpunkte anhand ihrer Ähnlichkeit gruppiert werden (Everitt et al 2011). Die grundlegende Vorgehensweise ist wie folgt:

1. Distanz- oder Ähnlichkeitsmasse: Zunächst werden Distanz- oder Ähnlichkeitsmasse zwischen den Datenpunkten berechnet. Diese Masse bestimmen, wie ähnlich oder unterschiedlich die Datenpunkte sind.
2. Initialisierung der Cluster: Jeder Datenpunkt wird als ein eigenes Cluster betrachtet, oder es wird eine initiale Gruppierung vorgenommen.

3. Clusterbildung: Anhand der berechneten Distanz- oder Ähnlichkeitsmasse werden die Datenpunkte iterativ in Gruppen zusammengefasst, wobei ähnliche Datenpunkte im selben Cluster landen.
4. Optimierungskriterien: Die Clusterbildung erfolgt in der Regel unter Berücksichtigung von Optimierungskriterien, um die Qualität der Cluster zu maximieren. Hierbei werden verschiedene Algorithmen wie K-Means oder hierarchische Clusteranalyse verwendet.
5. Interpretation und Validierung: Nach der Clusterbildung werden die Ergebnisse interpretiert und auf ihre Validität überprüft, um sicherzustellen, dass die Clusterbildung sinnvoll ist (Everitt et al 2011).

Stochastische Frontieranalyse

Die SFA ist ein ökonometrisches Verfahren zur Effizienzmessung (Greene 2020). Sie ermöglicht es, wichtige Determinanten der Kosteneffizienz zu ermitteln. So erkennen Betriebe, wo sie systematisch ineffizient sind. Für eine Optimierung bieten sich insbesondere Benchmarking-Verfahren wie die SFA an. Die empirische Forschung konzentriert sich dabei auf die Spezifikation von sogenannten Frontierkostenfunktionen. Eine solche Frontierfunktion wird durch die – bezüglich der Produktionskosten – beste Beobachtung definiert und stellt das Referenzmass dar, an dem die übrigen Betriebe gemessen werden. Die Distanz der anderen Betriebe zu dieser Kostengrenze ergibt dann die Kosten(in)effizienzen. Die Spezifikation eines Grundmodells einer Kostenfunktion zur Schätzung der stochastischen (In-)Effizienzen lautet wie folgt:

$$\log\left(\frac{TC_{it}}{PDK_{it}}\right) = \alpha_0 + \alpha_Y \log Y_{it} + \alpha_{POK} \log\left(\frac{POK_{it}}{PDK_{it}}\right) + \alpha_{MK} \log\left(\frac{MK_{it}}{PDK_{it}}\right) + \alpha_{ERST} \log(ERST_{it}) + \alpha_{ERMW} \log(ERMW_{it}) + \alpha_{BG} \log BG_{it} + \alpha_{HSA} \log HSA_{it} + \alpha_{WBW_F} WBW_F + \sum_{FZ} \alpha_{FZ} FZ_i + \sum_{EIG_ST} \alpha_{EIG_ST} EIG_ST_i + \sum_{t=2009}^{t=2017} \alpha_t d_t + \mu_i + \epsilon_{it}$$

Dabei steht TC_{it} für die totalen Kosten der Waldbewirtschaftung eines Forstbetriebes i im Jahr t . PDK_{it} , POK_{it} und MK_{it} stellen Inputpreise für die Produktionsfaktoren dar: dispositive Personalkosten, operative Personalkosten und Maschinenkosten. Y_{it} steht für Variablen, die den Output messen, also die Ausbringungsmenge an Rohholz und die Waldfunktionen, gemessen durch die jeweilige produktive Waldfläche. $ERST_{it}$ und $ERMW_{it}$ stehen für die Erschliessungsdichte an LKW-Strassen und Maschinenwegen. BG_{it} misst die Betriebsgrösse in Hektaren, FZ_i ist eine Dummy-Variable für die Zugehörigkeit zur Forstzone. EIG_ST_i ist eine Dummy-Variable für die Steuerhoheit und d_t sind jährliche Dummy-Variablen (Zeiteffekte). μ_i und ϵ_{it} sind die Fehlerkomponenten des Modells, wobei erstere für unbeobachtete Heterogenität der Betriebe steht.

Diese bezieht sich auf Unterschiede zwischen den Betrieben, die nicht über die beobachteten Variablen erklärt werden können. Beispielsweise sind die detaillierten betrieblichen Ziele der einzelnen Forstbetriebe oder die eingesetzten Ernte- und Pflegemethoden nicht bekannt. Diese beeinflussen aber die Produktivität und die Kosten der Waldbewirtschaftung.

Es gibt zwei unterschiedliche Möglichkeiten, wie unbeobachtete Heterogenität in den Modellen berücksichtigt wird:

- Fixed-Effects-(FE-)Modelle können den Einfluss von zeitlich konstanten Variablen nicht quantifizieren (z.B. die Forstzone), haben aber den Vorteil, dass die Heterogenität der Betriebe mit den beobachteten Variablen korreliert sein kann.
- Random-Effects-(RE-)Modelle können den Einfluss zeitlich konstanter Variablen quantifizieren. Sie haben jedoch einen Nachteil mit der Annahme, dass die unbeobachtete Heterogenität der Betriebe nicht korreliert ist mit den erklärenden Variablen des Modells.

Für die Anwendung wurden RE-Modelle favorisiert, wobei die zugrunde gelegte Annahme der Unkorreliertheit getestet werden muss (Hausmann-Test). In klassischen FE- und RE-Modellen wird die Ineffizienz der Betriebe gleichgesetzt mit der unbeobachteten Heterogenität, was zu sehr hohen Ineffizienzwerten führt. Im Gegenzug wird in True-fixed-Effects-(TFE-) und True-random-Effects-(TRE-) Modellen der Fehlerterm zusätzlich aufgeteilt in $\epsilon_{it} = u_{it} + v_{it}$. u_{it} messen dabei die Ineffizienzterme und sind strikt (positiv) halbnormal verteilt. Diese Modelle erlauben es, die unbeobachtete Heterogenität aus den Ineffizienzen zu isolieren.

Nebst dem notierten Cobb-Douglas-Modell mit konstanten Elastizitäten bietet sich bei stochastischen Kosteneffizienzmodellen eine Translog-Spezifikation für die Kostenfunktion an, bei der auch alle Interaktionen zweiter Ordnung der Variablen aufgenommen werden. Diese Spezifikation erwies sich aber als nicht robust, da die Fallzahl (Anzahl Forstbetriebe) zu klein war.

Folgende Modellvarianten wurden spezifiziert, berechnet und auf die Robustheit der Resultate hin überprüft:

- Berücksichtigung der Cluster zusätzlich zur Forstzone
- Interaktion aller Variablen mit der Clusterzugehörigkeit
- Aufteilung der Ausbringungsmenge nach Stehend- und Liegendnutzung, nach Laub- und Nadelholz und Sortimenten
- Zusätzliche Interaktion mit der Vorrangfunktion und Berücksichtigung des Diversifikationsgrades der Betriebe
- Schätzung einer FE-, RE-, TFE- und TRE-Variante

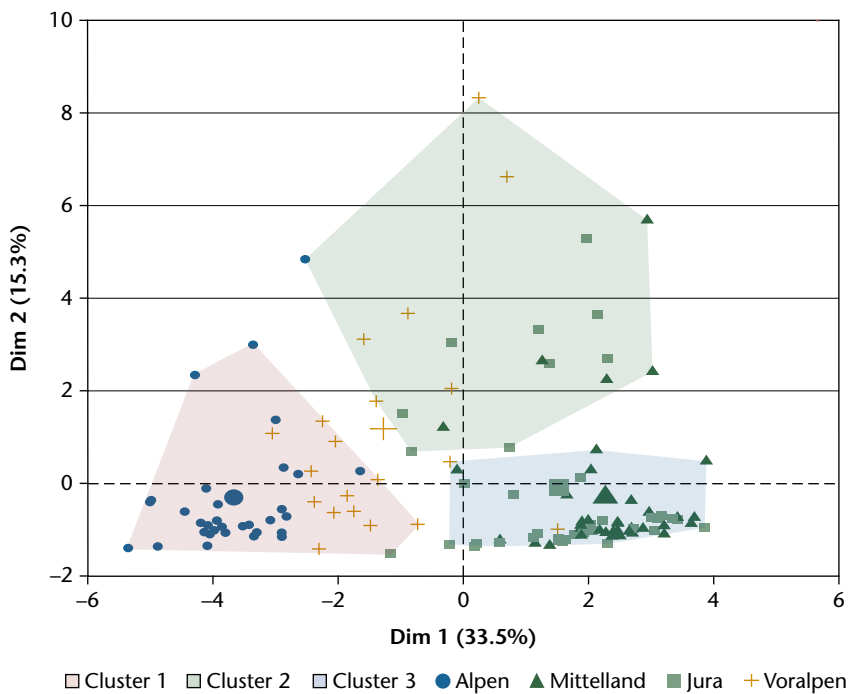


Abb 2 Gewählte Clusterlösung mit drei Clustern nach Forstzone (2017) mittels K-Means-Clustering mit euklidischen Distanzen.

Beim Vergleich der Modelle hat sich gezeigt, dass einfachere SFA-Modelle stabilere Resultate liefern als komplexere Modelle. Zu letzteren gehören beispielsweise solche mit einer Translog-Spezifikation. FE- oder RE-Modelle ergeben zudem teilweise grosse und nicht plausible Unterschiede in den Ineffizienzen, da sämtliche unbeobachtete Heterogenität als Ineffizienz berücksichtigt wird. TRE-Modelle sind in dieser Anwendung ebenfalls den TFE-Modellen vorzuziehen, da viele Variablen eine kleine zeitliche Variation ausweisen und deren Koeffizienten von FE- oder TFE-Modellen nur ungenau identifiziert werden können.

Ergebnisse

Onlinebefragung

Die Onlinebefragung der TBN-Betriebe versuchte dem Umstand Rechnung zu tragen, dass nicht alle Forstbetriebe über den gleichen Entscheidungs- oder Handlungsspielraum zur Effizienzsteigerung verfügen. Dementsprechend wurden beispielsweise Angaben zu den Eigentümerstrukturen, zur betrieblichen Orientierung im Hinblick auf die ökonomische Zielsetzung (Kostendeckung vs. Gewinnmaximierung), zur Vermögenssituation der Betriebe sowie zur Steuerhoheit und zum Spardruck der Waldeigentümerinnen und Waldeigentümer erhoben.

Die eher geringe Rücklaufquote von 64% (n = 81) der befragten Forstbetriebe verunmöglichte eine Aufnahme der beschriebenen Variablen in die Modellierung, da der Datenumfang im Panel mit 127 Betrieben bereits gering war. Daher konnten die

Resultate der Onlinebefragung nicht unmittelbar für die Clusteranalyse genutzt werden. Im Rahmen der Modellanwendung konnten die Umfragedaten allerdings genutzt werden, um beispielsweise Effekte der ökonomischen Orientierung oder des Spardrucks auf die Kosteneffizienz der Forstbetriebe zu untersuchen.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass 68% der Forstbetriebe die Waldflächen mehrerer Eigentümerinnen und Eigentümer bewirtschaften und dabei auch die Planung über die gesamte bewirtschaftete Waldfläche erfolgt. Die Abrechnung erfolgt bei 55% der Betriebe nach einem fixen Verteilschlüssel und zu 45% einzeln pro Waldeigentümerin bzw. Waldeigentümer. Im Gesamtbetrieb verfolgen 34% der Forstbetriebe das Ziel der Kostendeckung, 37% sind Gewinnmaximierer. Die restlichen 29% der Betriebe budgetieren bereits einen Verlust. In der Waldbewirtschaftung verfolgen 54% der Forstbetriebe das Ziel der Kostendeckung, 19% der Betriebe sind Gewinnmaximierer. 27% budgetieren einen Verlust in der Waldbewirtschaftung. Befragungen von Walker & Artho (2018) bei öffentlichen Waldeigentümern, die eine produktive Waldfläche von mindestens 50 Hektaren bewirtschaften, kommen zu vergleichbaren Ergebnissen. Im TBN scheint jedoch der Anteil der Betriebe, die einen Gewinn oder eine ausgeglichene Rechnung anstreben, leicht höher. 40% der Forstbetriebe geben an, keinen oder nur einen geringen Spardruck zu haben. 47% der Forstbetriebe haben einen mittleren und 13% einen hohen Spardruck. Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt es zu beachten, dass viele Forstbetriebe die Möglichkeit haben, Verluste aus der Waldbewirtschaftung durch Steuereinnahmen oder andere Einnahmequellen (z.B. Liegenschaftserträge) auszugleichen. Oft hat das Budget des Forstbetriebs zudem nur einen marginalen Anteil am Gesamtbudget der Gemeinde (Geringfügigkeitsproblem).

Clusteranalyse

Als Vorbereitung für die SFA wurde eine Clusteranalyse durchgeführt. Sie verfolgte das Ziel, möglichst homogene Gruppen von Forstbetrieben zu bilden, die über ähnliche Produktions- und Randbedingungen verfügen. Diese sind zu einem gewissen Grad auch in der Variable Forstzone (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen) erfasst, jedoch nur ungenau. Auch zwischen Betrieben der gleichen Forstzone können erhebliche Unterschiede bezüglich diesen Gegebenheiten bestehen. Um diese Unterschiede aufzudecken und die Dimensionen zu reduzieren, wurde das Verfahren der Clusteranalyse gewählt. Berücksichtigt wurden insgesamt 14 Variablen, welche die natürlichen, topografischen und wirtschaftlichen Bedingungen der Forstbetriebe widerspiegeln. Die gewählten Variablen sind die Betriebsgrösse, die Anteile an Wirtschaftswald, Schutzwald, Erholungs-

wald und Natur- und Landschaftswald, die Erschliessungsdichte von mit Lastwagen befahrbaren Strassen und Maschinenwegen, die Seilkranfläche, der Zuwachs, der Nadelholzanteil am Holzvorrat, der Hiebsatz, der Nadel- und Stammholzanteil an der Nutzung und die Höhe der öffentlichen Beiträge.

Herausforderungen bei einer Clusteranalyse sind typischerweise die hohe Schiefe der Variablen (Skewness), ein überhoher Anteil von Nullwerten (Zero-Inflation) und die Skalierung der Variablen

(z-Normalisierung, Box-Cox-Transformation usw.). Die Clusteranalyse ist ein Querschnittsverfahren. Da wie erwähnt aber nur Daten von 127 Betrieben aus 10 Jahren vorliegen, war es das Ziel, Clusteringmethoden zu identifizieren, die robuste Resultate über alle betrachtete Perioden und Panelmittelwerte bzw. Panelmediane pro Jahr liefern. Hierzu wurden hierarchische Verfahren angewandt, um die Anzahl Cluster auf Robustheit zu prüfen. Zudem wurden Partitionsverfahren mit folgenden Zielen angewandt:

- Die erhaltenen Cluster sollen «trennscharf» sein.
- Die erhaltenen Cluster sind stabil. Das heisst: Ein Betrieb wird dem gleichen Cluster zugeordnet, wenn bei gegebener Clusteringmethode das Distanzmass geändert wird.
- Die erhaltenen Cluster sind stabil, wenn bei vorgegebenem Distanzmass die Clusteringmethode geändert wird.
- Die erhaltenen Cluster sind stabil über die Zeit (Jahre 2008–2017) und auch für die Jahresmittelwerte bzw. -mediane.
- Die erhaltenen Cluster sind mit Branchenwissen zur Schweizer Forstwirtschaft erklärbar, insbesondere in Hinblick auf deren Verteilung über die Forstzonen.

Da der Datenumfang mit 127 Betrieben gering war, wurden kleine Clusterlösungen bevorzugt. Die stabilsten Lösungen waren jene mit einer euklidischen (normalisierten) Distanzmatrix und der K-Means-Clusteringmethode. Centroid- und Median-Clustering lieferten ähnliche, aber weniger stabile Ergebnisse im Hinblick auf die vorangehend aufgeführten Kriterien.

Abbildung 2 zeigt die gewählte Clusterlösung mittels K-Means-Clustering mit euklidischen Distanzen. Die Clusterlösung umfasst drei Cluster, die sich über den gesamten Betrachtungszeitraum als stabil erwiesen.

Von 24 Methoden zur Wahl der Anzahl Cluster gaben 10 Methoden eine optimale Clusteranzahl von 3 an. 5 Methoden empfahlen 12 Cluster. Bei derart grossen Abständen (3 vs. 12 Cluster) ist angesichts des begrenzten Datenumfangs definitiv die kleinere Lösung zu favorisieren. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der 127 Testbetriebe über die zwei stärksten Hauptkomponenten der Clusteranalyse. Cluster 2 und 3 sind relativ «eng» gefasst, das heisst die Distanzmasse der darin enthaltenen Betriebe sind sehr ähnlich. Auch gibt es zwischen den Clustern keine Überlappung (Konfidenzellipsen sind hier nicht gezeigt).

Das Cluster erklärt 62% der Gesamtvarianz. Zum Vergleich: Eine ähnlich gelagerte Anwendung einer Faktorenanalyse der Schweizer Testbetriebe von Kilham et al (2014) erlangte ein Mass von 75%. Da hier aber weniger Cluster (oder Komponenten)

Variable	TRE Cluster 1	TRE Cluster 2	TRE Cluster 3
Log Stammholz	***+0.139 (0.024)	***+0.189 (0.037)	***+0.149 (0.025)
Log Industrieholz	+0.004 (0.006)	+0.003 (0.010)	*+0.010 (0.005)
Log Energieholz	-0.002 (0.034)	*+0.047 (0.029)	***+0.053 (0.018)
Log Faktorpreis Personal	***+0.667 (0.068)	***+0.595 (0.079)	***+0.621 (0.066)
Log Faktorpreis Maschinen	***+0.074 (0.023)	+0.024 (0.014)	**+0.036 (0.014)
Log Erschliessungsdichte LKW-befahrbare Waldstrassen	***+0.262 (0.041)	+0.099 (0.065)	***+0.140 (0.041)
Log Erschliessungsdichte Maschinenwege	**+0.054 (0.024)	+0.077 (0.048)	+0.029 (0.018)
Log Betriebsgrösse	***+0.606 (0.053)	***+0.567 (0.065)	***+0.535 (0.047)
Log Hiebsausnutzung	***+0.370 (0.057)	***+0.288 (0.062)	***+0.194 (0.047)
Fremdleistungsanteil	+0.155 (0.145)	*+0.284 (0.153)	**+0.290 (0.136)

Tab 1 Gewähltes True-random-Effects-Modell. Statistische Signifikanz auf 99%-Niveau (***), 95%-Niveau (**) und 90%-Niveau (*).

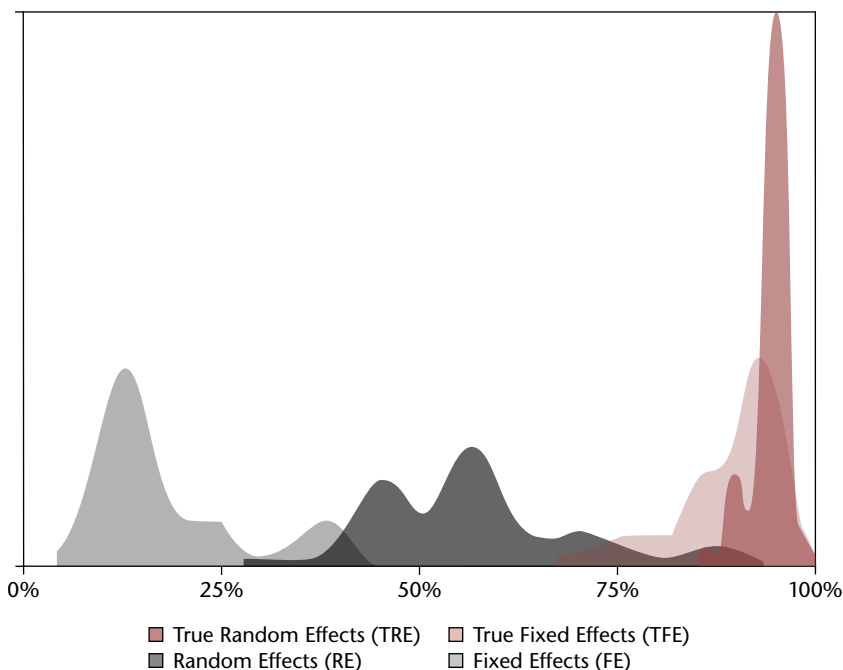


Abb 3 Dichteverteilungen der Effizienzwerte über alle Cluster unterschiedlicher SFA-Modelle.

Economies of Scale	Cluster	Schätzwert	Standardfehler	95%-Intervall
$ES_j = \frac{1}{\sum_k \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln y_k} + \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln BG}}$	Cluster 1	1.337	0.067	1.205–1.469
	Cluster 2	1.242	0.107	1.032–1.452
	Cluster 3	1.334	0.053	1.231–1.437
Economies of Density	Cluster	Schätzwert	Standardfehler	95%-Intervall
$ED_j = \frac{1}{\sum_k \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln y_k} + \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln ERMW} + \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln ERST}}$	Cluster 1	2.179	0.284	1.622–2.735
	Cluster 2	2.412	0.427	1.576–3.291
	Cluster 3	2.543	0.266	2.023–3.064

Tab 2 Skaleneffekte (ES) und Dichteeffekte (ED) des Kosteneffizienzmodells nach Cluster.

extrahiert wurden, ist auch die erklärte Varianz dementsprechend tiefer.

Die Cluster spiegeln die natürlichen Gegebenheiten der Forstzonen relativ gut wider. Cluster 1 besteht aus Mittelland- und Jurabetrieben mit Fokus auf die Holzproduktion. Entsprechend den naturräumlichen Gegebenheiten ist der Zuwachs sowie der Laubholzanteil am Vorrat und der Nutzung hoch. Cluster 3 umfasst Alpen- und Voralpenbetriebe, deren Fokus auf der Schutzwaldbewirtschaftung liegt. Die Betriebe bewirtschaften im Durchschnitt mehr als 80% Schutzwald. Bei Cluster 2 handelt es sich um einen Mixcluster, der Forstbetriebe aus allen Forstzonen umfasst. Alle Betriebe verfügen über einen hohen Erholungswald- sowie Natur- und Landschaftswaldanteil. Bei mehr als einem Drittel handelt es sich um städtische oder stadtnahe Betriebe.

Die Cluster bildeten die Basis für die SFA mit dem Ziel, quasi-fixe Rahmenbedingungen der Forstbetriebe aus den Effizienzberechnungen zu isolieren.

Stochastische Frontieranalyse

Aus sämtlichen Modellierungen wurde als Basismodell ein TRE-Modell gewählt (Tabelle 1). Dieses bietet den Vorteil, dass die unbeobachtete Heterogenität nicht automatisch als Kosteneffizienz interpretiert wird. Das Modell teilt die Outputvariable Y_{it} in die drei Kategorien Stamm-, Industrie- und Energieholz und gewichtet alle abhängigen Variablen mit den Clustern.

Alle Variablen der Kostenfunktion zeigen das erwartete Vorzeichen. Erwartungsgemäss sind die Faktorpreise des Personals der wichtigste Kostentreiber. Weitere sensitive Determinanten der Kostenfunktion sind die Betriebsgrösse, die Hiebsausnutzung und die Erschliessung mit LKW-Strassen. Die Variablen interagieren nach Cluster spiegeln die heterogenen Rahmenbedingungen der Produktion gut wider.

Die Verteilung der Effizienzwerte ist je nach gewähltem SFA-Modell sehr unterschiedlich (Abbildung 3). Die rot eingefärbte Verteilung in der Abbildung beinhaltet die Effizienzwerte des gewählten TRE-Modells. Die entsprechenden Kosteneffizienzen des Modells bewegen sich zwischen 90% und 100%,

und der Mittelwert bzw. der Median unterscheidet sich nicht signifikant nach Cluster. Die grau eingefärbte Verteilung widerspiegelt die Effizienzverteilung eines TFE-Modells. Diese sind typischerweise über einen weiteren Bereich gestreut, da FE-Modelle die Effekte zeitlich invarianter Variablen als Ineffizienz interpretieren. Die restlichen gezeigten Verteilungen betreffen Modelle, bei denen die unbeobachtete Heterogenität der Betriebe den Ineffizienzen zugeschlagen wird (RE- und FE-Modelle).

Modellanwendung – Erkenntnisse für die Forstpraxis

Das Modell erlaubt die Berechnung von Skalen- und Dichteeffekten (Economies of Scales und Economies of Density; Tabelle 2). Es zeigt sich, dass in allen drei Clustern Skaleneffekte in der Holzproduktion vorliegen – wenn auch unterschiedlich ausgeprägt. Eine Vergrösserung der Outputmenge führt zu sinkenden Durchschnittskosten. Steigt beispielsweise die Outputmenge in Cluster 1 unter sonst gleichen Bedingungen (*ceteris paribus*) um 10%, so sinken die Durchschnittskosten um 3.37%. Die Effekte sind in Cluster 1 und 3 ähnlich stark, in Cluster 2 sind sie schwächer ausgeprägt und schwächer signifikant.

Dichteeffekte können anhand der Länge der LKW-Strassen und Maschinenwege berechnet werden. In allen drei Clustern liegen Dichteeffekte vor. Eine höhere Erschliessungsdichte führt zu tieferen Produktionskosten, wobei der Effekt in Cluster 3 (Alpen- und Voralpenbetriebe) am stärksten ist. Gerade im Gebirge bietet eine höhere Erschliessungsdichte Vorteile im Hinblick auf den Einsatz höher mechanisierter und damit kosteneffizienterer Holzernteverfahren. Hierbei sei allerdings angemerkt, dass eine Übererschliessung die Gesamtkosten auch negativ beeinflussen kann, insbesondere im Mittelland. Eine höhere Erschliessungsdichte ist dort nicht eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz hochmechanisierter Holzernteverfahren wie im Gebirge. Effekte dieser Art konnten aufgrund des beschränkten Datenumfangs nicht weiter überprüft werden, da dazu Interaktionen bzw. Translog-Spezifikationen benutzt werden müssten.

Verbundvorteile (Economies of Scope) konnten mit der vorliegenden Cobb-Douglas-Kostenfunk-

tion ebenfalls nicht geschätzt werden. Auch hierfür müsste das Modell in Form einer Translog-Spezifikation vorliegen, wofür wie erwähnt zu wenig Daten vorhanden waren.

Durch Hinzunahme relevanter Variablen zum Basismodell wurde im Weiteren der Einfluss externer Einflussgrößen auf die Kosteneffizienz der Forstbetriebe untersucht. So zeigt sich beispielsweise, dass Forstbetriebe mit einem hohen Diversifikationsgrad eine tendenziell geringere Kosteneffizienz aufweisen als Betriebe, die ihre wirtschaftliche Tätigkeit stärker auf die Waldbewirtschaftung konzentrieren. Ebenso wirkt sich ein erhöhter Fremdleistungsanteil positiv auf die Kosteneffizienz aus. Erwartungsgemäss sind Forstbetriebe mit einem erhöhten Wirtschaftswaldanteil kosteneffizienter. Darüber hinaus weisen Forstbetriebe mit Steuerhoheit tiefere Effizienzzahlen aus als solche ohne bzw. mit gemischter Steuerhoheit (Kooperationsbetriebe bestehend aus Waldeigentümerinnen und Waldeigentümern mit und ohne Steuerhoheit). Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen aus früheren Effizienzanalysen in der Schweizer Forstwirtschaft (Schönenberger et al 2009, Farsi et al 2013). Betriebe mit einer höheren Hiebsatzausnutzung weisen tendenziell höhere Effizienzwerte aus.

Schlussfolgerungen für die Forstpraxis

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit geben konkrete Hinweise für mögliche Optimierungsansätze zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz in der Waldbewirtschaftung. Auf der betrieblichen Ebene ist zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit im strategischen Bereich eine vermehrte Fokussierung auf das Kerngeschäft Waldbewirtschaftung zu empfehlen. Im Fall einer sich wirtschaftlich lohnenden Diversifizierungsstrategie ist ein enger Einbezug forstlicher Dienstleister zur kosteneffizienten Gestaltung der Waldbewirtschaftung ratsam. Um Skaleneffekte nutzen zu können, bietet sich die Schaffung grösserer Bewirtschaftungseinheiten durch Kooperation oder Fusion an. Zentraler Ansatz zur Effizienzsteigerung ist eine Reduktion des operativen Personalbestandes zugunsten einer vermehrten hoch mechanisierten Produktion, insbesondere in der Holzernte, durch den vermehrten Einbezug von Forstunternehmen. Zudem ist eine optimale Ausschöpfung des Hiebsatzes – unter Berücksichtigung des Holzmarktes – zur Erhöhung der Kosteneffizienz zu empfehlen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen zudem darauf hin, dass die Bemühungen des Bundes und der Kantone zur Strukturverbesserung, beispielsweise für die Anschubfinanzierung von überbetrieblichen Kooperationen, weitergeführt werden sollten.

Methodische Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass die Schätzung einer einfachen Kostenfunktion für Forstbetriebe möglich ist und durch die Bildung solider Betriebscluster Fragen der Effizienz untersucht werden können. Eine angereicherte Spezifikation der Kostenfunktion mit zusätzlichen forstspezifischen Variablen war aufgrund der relativ tiefen Fallzahl und des begrenzten Beobachtungszeitraums aus Konvergenzgründen der Modelle jedoch nicht möglich. Gleiches gilt für die Erweiterung der Cobb-Douglas- zu einer Translog-Kostenfunktion. Deshalb konnten auch nicht sämtliche Hypothesen mit einem Modell geprüft werden. Die Formulierung eines Standardmodells und die anschliessende Hinzunahme relevanter Schlüsselvariablen hat sich jedoch als zielführend erwiesen.

Ausblick

Ein erhöhter Datenumfang durch eine Erweiterung des Beobachtungszeitraums oder die Erweiterung der Stichprobe um Betriebe aus den TBN Deutschlands und Österreichs könnten die Möglichkeiten und die Qualität der Modellierungen weiter verbessern. Zudem könnte auch der Einbezug neuerer ökonomischer Modelle mit noch ausgereifteren Algorithmen zur Behandlung der Fehlerterme eine verbesserte Modellierung ermöglichen. Dazu gehören etwa Generalised-true-random-Effects-Modelle. Diese erlauben eine simultane Schätzung von zeitlich konstanten und zeitlich varianten Kosteneffizienzen. ■

Eingereicht: 24. Mai 2023, akzeptiert (mit Review): 11. November 2023

Literatur

- BÜRGI P, MÜLLER A, PAULI B (2023)** Steigende Holzpreise verbessern wirtschaftliche Situation. *Wald und Holz* 104 (3): 40–41.
- BÜRGI P, MÜLLER A, THOMAS M, PAULI B (2021A)** Forstwirtschaftliches Testbetriebsnetz der Schweiz. Ergebnisse der Jahre 2017–2019. Bern: Bundesamt für Statistik. 52 p.
- BÜRGI P, HEIMSCH F, SOUVIK D, MÜLLER A (2021B)** Empirische Untersuchung der Bestimmungsgründe der Effizienz in der Waldbewirtschaftung anhand des Schweizerischen Testbetriebsnetzes (TBN). Methodenstudie. Zollikofen: Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften. 272 p. (unveröffentlicht).
- BÜRGI P (2018)** Erfolgsfaktoren für forstbetriebliches Benchmarking in der DACH-Region. Bern: Berner Fachhochschule. 126 p.
- EVERITT B, LANDAU S, LEESE M, STAHL D (2011)** Cluster Analysis. Wiley Series in Probability and Statistics. Hoboken: Wileys. 352 p. ISBN: 978-0-470-74991-3
- GREENE W (2020)** Econometric Analysis. Harlow: Pearson. 1166 p.
- FARSI M, MACK A, SCHÖNENBERGER A, KRÄHENBÜHL G (2013)** Analysis of the production efficiency of the Swiss forestry firms with regard to the forest functions. Neuenburg: Institut de recherches économiques (IRENE) de l'Université de Neuchâtel. 102 p.

KILHAM P, HERCHER W, HARTEBRODT CH (2014) Typologisierung schweizerischer Forstbetriebe. Freiburg: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Schriftenreihe Freiburger forstliche Forschung, Bd. 55. 98 p.

SCHÖNENBERGER A, MACK A, VON GUNTEN E (2009) Efficacité technique des exploitations forestières publiques en Suisse. Bern: Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Strukturbericht-erstattung, Vol. 42. 165 p.

WALKER D, ARTHO J (2018) Die Eigentümerinnen und Eigentümer des Schweizer Waldes. Untersuchung des Verhältnisses privater und öffentlicher Eigentümerinnen und Eigentümer zu ihrem Wald. Bern: Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Wissen 1814. 67 p.

L'analyse de frontière stochastique: un concept de mesure de l'efficacité des exploitations forestières?

L'économie forestière suisse fournit une multitude de prestations économiques et sociales. Cependant, à l'heure actuelle, à peine la moitié des exploitations forestières réalisent des bénéfices avec leurs activités de gestion forestière. Les coûts de production élevés sont la principale explication de ce manque de rentabilité. Afin de développer des approches adéquates d'optimisation des coûts, il est important de comprendre en profondeur les éléments précis qui déterminent l'efficacité des coûts de la gestion forestière. Un projet de recherche a examiné dans quelle mesure les analyses de frontières stochastiques sont appropriées pour analyser l'efficacité des coûts des exploitations forestières, et les possibilités et les limites de ces analyses. Cette étude s'est basée sur les données de panel du réseau d'exploitations forestières pilote de la Suisse (REF). Une analyse en clusters a été réalisée en amont de l'analyse de frontière stochastique. Elle a permis de former des groupes d'exploitations homogènes, aux conditions de production et conditions-cadres similaires. La meilleure solution de clustering a consisté en trois clusters d'exploitations stables sur l'ensemble de la période considérée. 36 modèles différents d'estimation d'une fonction de coûts de Cobb-Douglas ont été utilisés pour l'analyse de frontière stochastique. Le modèle de base est un modèle à effets aléatoires-vrais (TRE). Cette méthode présente l'avantage de ne pas automatiquement interpréter l'hétérogénéité non observée comme une inefficacité des coûts. Sans surprise, le prix des facteurs du personnel représente le principal inducteur de coûts. L'application concrète du modèle a montré que des économies d'échelle (économies of scale) et de densité (economies of density) sont réalisées dans tous les clusters. Les analyses ont indiqué qu'il est possible d'estimer une fonction de coût simple pour les exploitations forestières et d'étudier les questions d'efficacité au travers de clusters d'exploitations robustes.

Stochastic frontier analysis: a concept for measuring the efficiency of forest enterprises?

Swiss forestry fulfils a comprehensive catalogue of economic and social services. Currently, however, only just under half of the forest enterprises show a positive result in forest management. The most important reason for the lack of profitability are the high production costs. Regarding the targeted development of approaches for cost optimisation, it is important to gain a deeper understanding of relevant determinants of cost efficiency in forest management. Within the framework of a research project, the basic suitability as well as the possibilities and limitations of stochastic frontier analyses for analysing the cost efficiency of forest enterprises were investigated. The data basis for this was formed by panel data from the forest enterprise network in Switzerland. A cluster analysis was carried out in preparation for the stochastic frontier analysis. The aim was to form homogeneous groups of forest enterprises with similar production and boundary conditions. The best cluster solution comprises three enterprise clusters that are stable over the entire period under consideration. The basis of the stochastic frontier analysis was formed by 36 different models for estimating a Cobb-Douglas cost function. A true random-effects model was chosen as the basic model. This has the advantage that unobserved heterogeneity is not automatically interpreted as cost inefficiency. As expected, the factor prices of personnel represent the most important cost driver. The concrete application of the model shows that economies of scale and economies of density can be observed in all clusters. The analyses carried out have shown that the estimation of a simple cost function for forest enterprises is possible and that questions of efficiency can be investigated through the formation of solid enterprise clusters.