

Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsszenarien

# CO<sub>2</sub>-Bilanz des Waldes – Möglichkeiten für einen Forstbetrieb

Die CO<sub>2</sub>-Problematik ist aktueller denn je und über die Wirkungen der Wälder als CO<sub>2</sub>-Senken wird immer wieder debattiert. Die Wald- und Holzwirtschaft setzt sich zu Recht für eine finanzielle Abgeltung der Waldleistungen im Klimaschutz ein. Für Waldbesitzer und Forstbetriebe könnte dieses Thema künftig interessant werden. In welcher Grössenordnung sich solche Abgeltungen bewegen dürften und wie die CO<sub>2</sub>-Bilanz in 5-Jahres-Perioden schwanken kann, wurde für einen Freiburger Voralpen-Forstbetrieb konkret berechnet.

**W**ie viel CO<sub>2</sub> speichert ein einzelnes Waldgebiet? Wie wertvoll ist die Speicherleistung in finanzieller Hinsicht, und wer kann auf welche Weise dafür entschädigt werden? Um solche Fragen

Von Michel Brügger und  
Urs Mühlethaler\*

beantworten zu können, wurde mit dem Berechnungsprogramm CO<sub>2</sub>-FIX (siehe **Kasten**) eine Untersuchung durchgeführt. Ziel war es, die potenzielle CO<sub>2</sub>-Senkenleistung der Waldungen eines konkreten Forstbetriebes zu berechnen und monetär zu bewerten. Anhand mehrerer Modellierungen wurden die Auswirkungen von verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz untersucht.

Als Untersuchungsgebiet diente dabei das **Staatsforstrevier Ärgera-Höllbach** im Senseoberland (**Abb. 1**). Das Gebiet befindet sich am Rande der Freiburger Voralpen und umfasst eine Gesamtwaldfläche von 1071 ha. Der Forstbetrieb Ärgera-Höllbach beschäftigt sieben Mitarbeiter. Mit einem jährlichen Hiebsatz



Abbildung 1: Für das Forstrevier Ärgera-Höllbach/FR wurde die potenzielle CO<sub>2</sub>-Senkenleistung berechnet.

von 6500 fm zählt er zu den wichtigsten regionalen Holzlieferanten.

Der grösste Teil des Waldgebietes wurde im 19. Jahrhundert aufgeforstet. Die Bestände sind daher von Natur aus wenig stufig aufgebaut und geprägt von einem sehr hohen Fichtenanteil. Der aktuelle Bestandaufbau ist gekennzeichnet durch einen übergrossen Anteil Baumholz 2.

## Unterschiedliche Bewirtschaftungsszenarien

Für die Untersuchung wurden drei verschiedene Bewirtschaftungsszenarien sowie ein Szenario ohne Waldbewirtschaftung modelliert (**Tab. 1**).

- Szenario UNVERÄNDERT widerspiegelt die aktuelle Bewirtschaftungsform mit einer Umtriebszeit von rund 160 Jahren. Mit dieser lang erscheinenden Umtriebszeit wird ein Ziel-BHD von  $\geq 50$  cm angestrebt, was aufgrund von Jahrringzählungen im Gebiet überprüft wurde. Im Laufe einer Umtriebszeit werden fünf Eingriffe getätigt.
- Im Szenario INTENSIV wird die Nutzung auf den gesamten jährlichen Zuwachs ausgebaut. Die Umtriebszeit

wird dabei um zwanzig Jahre reduziert, jedoch werden insgesamt acht Ernteeingriffe getätigt.

- Mit dem Szenario MODELL wird ein flächenmässig ideal aufgebautes Bestandesprofil gemäss dem Betriebsplan simuliert, wobei die Nutzung ebenfalls intensiviert wird.
- Im Szenario WALDRESERVAT wird auf jegliche Nutzung verzichtet. Dabei wurde eine «natürliche Umtriebszeit» von 300 Jahren festgelegt und die Wuchsparameter gemäss Angaben aus der Literatur eingestellt.

### CO<sub>2</sub>-FIX

ist ein Computerprogramm und wurde im Rahmen des CASFOR-II-Projekts in Wageningen (NL) zur Modellierung der Senkenleistung von Waldgebieten entwickelt. Das auf Excel-Basis laufende Programm ist modular aufgebaut und ermöglicht die Quantifizierung der C-Vorräte und -Flüsse in der Waldbiomasse, im Boden und in Holzprodukten. CO<sub>2</sub>-FIX kann zu Übungszwecken kostenlos im Internet heruntergeladen werden. Bezugsadresse: <http://www.efi.fi/projects/casfor/>

\* Michel Brügger ist diplomierter Forstingenieur FH, hat den Studiengang Forstwirtschaft an der SHL Zollikofen absolviert und zu diesem Thema eine Diplomarbeit verfasst.  
Urs Mühlethaler ist Professor für Waldökosystem Lenkung an der SHL Zollikofen und hat die Diplomarbeit betreut.

Szenario	Beschreibung	Umtriebszeit [Jahre]	Nutzungsintensität [%]
UNVERÄNDERT	Beibehalten der jährlichen Nutzungsmenge gemäss Hiebsatz (rund 60% des Zuwachses)	160	Ausgangsintensität
INTENSIV	Erhöhung der Nutzung auf die gesamte jährliche Zuwachsmenge	140	+40
WALDRESERVAT	Vollständiger Nutzungsverzicht	300	-100
MODELL	«Ideal» aufgebautes Bestandesprofil mit flächenmässiger Nachhaltigkeit gemäss Betriebsplan	140	+22

Tabelle 1: Beschreibung der verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien mit Angabe der Umtriebszeit und Nutzungsintensität.

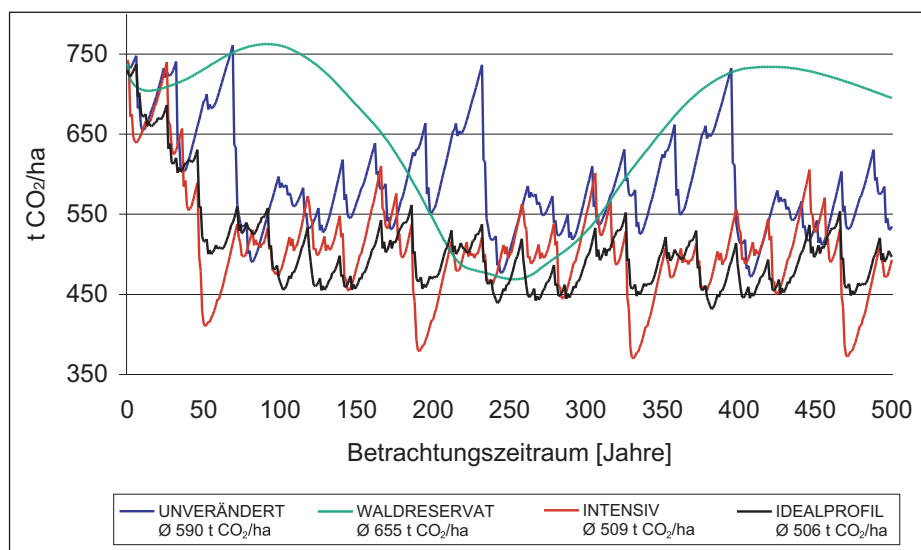


Abbildung 2: Verlauf der CO<sub>2</sub>-Bestände in den verschiedenen Szenarien, simuliert auf 500 Jahre. In Zahlen angegeben der jeweilige Durchschnittsbestand je Szenario in Tonnen pro Hektare.

### CO<sub>2</sub>-Bestände variieren nur schwach

Die Ergebnisse zeigen auf, dass die CO<sub>2</sub>-Bestände – also jene Menge CO<sub>2</sub>, welche durchschnittlich im Wald gespeichert ist – innerhalb der vier Szenarien in ähnlicher Grössenordnung ausfallen (Abb. 2). Während des Simulationszeitraums von 500 Jahren ist im WALDRESERVAT mit durchschnittlich 655t pro ha am meisten CO<sub>2</sub> gespeichert, gefolgt von UNVERÄNDERT (590 t CO<sub>2</sub>/ha), INTENSIV (509 t CO<sub>2</sub>/ha) und dem Szenario MODELL (506 t CO<sub>2</sub>/ha).

Der wellenförmige Kurvenverlauf im Szenario WALDRESERVAT stellt den Verlauf des CO<sub>2</sub>-Bestandes bei natürlicher Waldentwicklung dar. Dabei bauen sich die CO<sub>2</sub>-Bestände bis zum Erreichen des Optimalstadiums (in Abb. 2 bei ca. Jahr 100) kontinuierlich auf. Anschliessend erfolgt die Zerfallphase des Baumbestandes, bis schliesslich die Verjüngungs- und Erlebensphase eintritt und der Baumbestand – verbunden mit dem CO<sub>2</sub>-Bestand – laufend wieder nachwächst. Auffällig ist, dass der CO<sub>2</sub>-Bestand in der zweiten Wachstums-

periode leicht tiefer ausfällt als in der ersten Periode. Es ist davon auszugehen, dass der Holzvorrat leicht abnimmt, indem die Flächenanteile der Entwicklungsstufen durch natürliche Regulierung homogener verteilt werden.

Der zackige Kurvenverlauf in den übrigen Szenarien ist auf die Einwirkungen der Holzernteeingriffe zurückzuführen: Zur Vereinfachung der Modellrechnung wurde angenommen, dass alle Ernteeingriffe zur gleichen Zeit stattfinden würden. Der CO<sub>2</sub>-Bestand sinkt jeweils nach einem Ernteeingriff und baut sich in den folgenden Jahren langsam wieder auf. Die markanten Abnahmen im Kurvenverlauf widerspiegeln jeweils den Endhieb nach erreichter Umtriebszeit.

Weil in den Szenarien INTENSIV und MODELL die Umtriebszeit auf 140 Jahre angesetzt wurde, können die Bäume die Entwicklungsstufe Baumholz 3 gar nicht erreichen (Ziel-BHD 50 cm wird ca. mit 160 Jahren erreicht), wodurch insgesamt weniger CO<sub>2</sub> gespeichert werden kann. Durch Verlängerung der Umtriebszeit würde sich daher der Kurvenverlauf positiv verändern.

### Senkenleistung und Betrachtungszeitraum

Es macht wenig Sinn, Vorhersagen für eine Zeitperiode von 500 Jahren zu machen. Aus diesem Grund wurde die Nettosenkenleistung der verschiedenen Szenarien über einen Zeitraum von 60 Jahren berechnet. Eine Betrachtung über diesen Zeitraum, was zirka zwei Förstergenerationen entspricht, gilt als einigermaßen überblickbar. Die Werte in den Grafiken wurden jeweils gemäss den Verpflichtungsperioden aus dem Kyoto-Protokoll auf fünf Jahre aufsummiert und somit in insgesamt zwölf Verpflichtungsperioden dargestellt.

Im Hinblick auf die Senkenleistung des Untersuchungsgebietes ergaben sich deutliche Unterschiede in den jeweiligen Szenarien (Abb. 3). Im Zeitraum von 2008 bis 2067 kann nur im Szenario WALDRESERVAT netto CO<sub>2</sub> gebunden und somit von einer Senke gesprochen werden. Die gebundene Menge von 3 t CO<sub>2</sub>/ha ist dabei jedoch sehr bescheiden.

In den bewirtschafteten Szenarien wird durch die Ernteeingriffe mehr CO<sub>2</sub> aus dem Wald entfernt als gespeichert wird. Die Szenarien sind somit als CO<sub>2</sub>-Quellen zu bezeichnen. Die Resultate verändern sich zugunsten der bewirtschafteten Szenarien, wenn ein späterer Zeitraum betrachtet wird. In der nächsten 60-Jahres-Periode von 2068–2127 werden im Szenario INTENSIV rund 93 t CO<sub>2</sub>/ha gespeichert, der Wald wirkt somit als CO<sub>2</sub>-Senke.

Aus den Vergleichen ist zu schliessen, dass zur Beurteilung der Nettosenkenleistung unbedingt der Betrachtungszeitraum mit den Bewirtschaftungsphasen mitberücksichtigt werden muss. Befindet sich im Betrachtungszeitraum gerade der Endhieb des Bestandes, fällt die Senkenleistung negativ aus. Ist der Bestand hingegen im Aufbau, oder werden nur schwache Eingriffe vorgenommen, kann von einer positiven Senkenleistung ausgegangen werden. Diese Feststellung kann bei einer möglichen Anrechnung

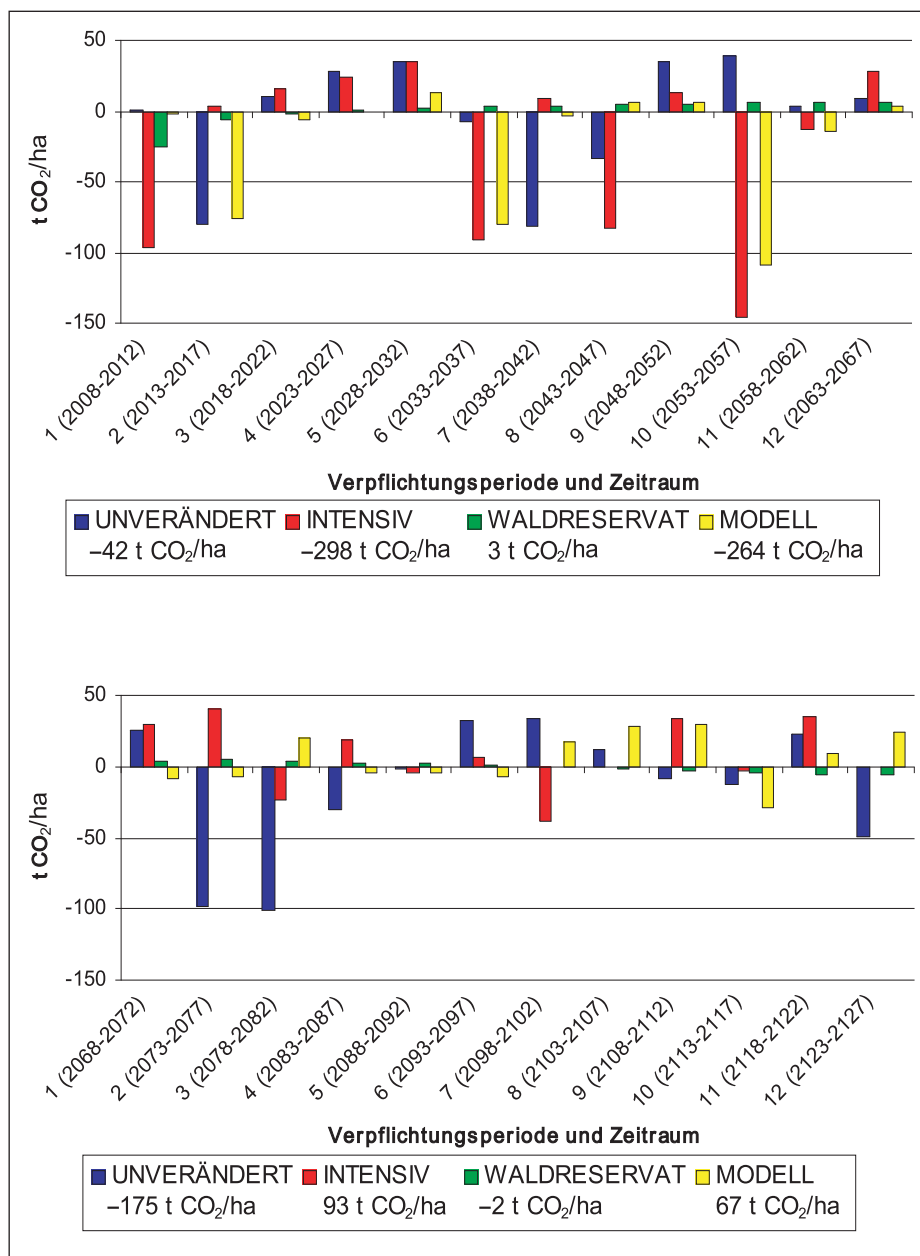


Abbildung 3: Vergleich der Nettosenkenleistung aller Szenarien im Zeitraum von 60 Jahren, aufgeteilt in 5-Jahres-Verpflichtungsperioden gemäss Kyoto-Vorgaben. Obere Grafik: Betrachtungszeitraum von 2008 bis 2067, unten von 2068 bis 2127. In Zahlen angegeben ist die jeweils erbrachte Nettosenkenleistung während 60 Jahren in Tonnen pro Hektare.

und finanziellen Bewertung der Senkenleistung für den Forstbetrieb massive Auswirkungen haben.

### Finanzielle Bewertung: Chance und Risiko

Nebst der CO<sub>2</sub>-Bilanz interessiert natürlich die Frage, wie viel die erbrachte Senkenleistung in finanzieller Hinsicht für den Forstbetrieb wert ist. Anhand einer stark vereinfachten Kalkulation wurde die Senkenleistung monetär bewertet. Für die Kalkulation wurde ein Zertifikatspreis von CHF 15.–/ha angenommen, was etwa der Hälfte der international gehandelten Werte entspricht (Stand September 2006). Auch hier stellte sich heraus, dass der Betrachtungszeitraum massgebend für den Ausgang der Ergebnisse ist (Tab. 2). Im Zeitraum von 2008–2067 kann nur durch Nutzungsverzicht (WALDRESERVAT) ein positives Ergebnis erwartet werden, welches mit durchschnittlich CHF 4.–/ha und 5-Jahres-Periode aber sehr mager ausfällt.

Betrachtet man jedoch die Ergebnisse in der nächsten Periode von 2068–2127, können mit den intensiver bewirtschafteten Szenarien INTENSIV und MODELL Erträge von CHF 116.– beziehungsweise CHF 84.–/ha und Fünf-Jahres-Periode erwirtschaftet werden.

Im Szenario UNVERÄNDERT werden in beiden Betrachtungszeiträumen negative Ergebnisse erzielt. Grund dafür ist die längere Umtriebszeit. Die Resultate würden sich erst in einem dritten Betrachtungszeitraum ins Positive begeben.

Das Anrechnen von Senkenleistungen ist jedoch mit bestimmten Risiken verbunden: Neben positiv bilanzierten 5-Jahres-Perioden resultieren andere Perioden als teilweise erhebliche CO<sub>2</sub>-Quellen. Diesbezüglich sind klare Regeln nötig, welche klären, wann ein Forstbetrieb CO<sub>2</sub>-Zertifikate verkaufen kann, wie er dafür entschädigt wird und mit welchen Conse-

Zeitraum	Betrachtung	Einheit	UNVERÄNDERT	INTENSIV	WALDRESERVAT	MODELL
2008–2067	Total 60 Jahre	CHF/ha	-630	-4470	48	-3960
		CHF/UG	-674730	-4787370	51408	-4241160
	Ø 5 Jahre	CHF/ha	-52.5	-372.5	4	-330
		CHF/UG	-56228	-399483	4248	-353430
2068–2127	Total 60 Jahre	CHF/ha	-2625	1395	-30	1005
		CHF/UG	-2811375	1494045	-32130	1076355
	Ø 5 Jahre	CHF/ha	-219	116	-2.5	84
		CHF/UG	-234281	124504	-2678	89696

Tabelle 2: Erträge aus Verkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten (Biomasse ohne Boden) je Szenario im Zeitraum von 60 Jahren und Durchschnitt je 5-Jahres-Periode gemäss Kyoto-Vorgaben. UG = gesamtes Untersuchungsgebiet von 1071 Hektaren.

quenzen bei auftretenden Negativbilanzen (CO<sub>2</sub>-Quellen) zu rechnen ist.

## Substitutionsleistung

Aus der Modellierung mit CO<sub>2</sub>-FIX geht hervor, dass im Szenario WALDRESERVAT der höchste CO<sub>2</sub>-Bestand anzunehmen ist. Durch die Holzernteeingriffe in den bewirtschafteten Szenarien werden jedoch grosse Mengen CO<sub>2</sub>, welche im geschlagenen Holz lagern, aus dem Wald entnommen und in der Modellierung mit CO<sub>2</sub>-FIX nicht berücksichtigt. Genau genommen ändert sich daher die ursprüngliche Reihenfolge der CO<sub>2</sub>-Bestände in den verschiedenen Szenarien von (in t CO<sub>2</sub>/ha)

WALDRESERVAT (655) > UNVERÄNDERT (590) > INTENSIV (509) > MODELL (506)  
in die Folge

INTENSIV (4224) > MODELL (3758) > UNVERÄNDERT (2878) > WALDRESERVAT (178).

Die bewirtschafteten Szenarien, allen voran Szenario INTENSIV mit der vollen jährlichen Zuwachsabschöpfung, erweisen sich gegenüber dem WALDRESERVAT somit als deutlich vorteilhafter. Daraus kann geschlossen werden, dass ein nachhaltig bewirtschafteter Wald weit stärker zur Entlastung der Atmosphäre von CO<sub>2</sub> beiträgt als ein ungenutzter Wald. Holz und Holzprodukte, welche durch Substitution anderer, energie-intensiver Güter grosse Mengen zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen verhindern, machen die nachhaltige Nutzung der Wälder für den Klimaschutz erst recht interessant.

## Fazit

Die vorliegenden Resultate basieren auf einer Modellierung und sind entsprechend zu interpretieren. Es konnte nur eine beschränkte Anzahl Faktoren, Wechselwirkungen und Rückkoppelungen einbezogen werden. Die Untersuchung ergab, dass unterschiedliche Bewirtschaftungsszenarien Einfluss auf die Senkenleistung des Waldes haben und dass auch in bewirtschafteten Wäldern periodisch CO<sub>2</sub>-Senken vorkommen. Massgebend dafür ist, für welche Zeitperiode die Berechnung vorgenommen wird und wie nachhaltig der Wald aufgebaut ist. Der Startpunkt einer Modellierung sollte daher möglichst nach dem Endhieb gewählt werden.

Für den Forstbetrieb Ärgera-Höllbach muss, aufgrund des aktuellen Bestandesaufbaus, in den ersten 60 Jahren mit negativen Resultaten gerechnet werden. Falls die Substitutionswirkung in Zukunft angerechnet werden darf, ist eine Intensivierung der Holznutzung auf den vollen jährlichen Zuwachs möglich. Durch die Waldbewirtschaftung vermeidet der Forst-

betrieb jährlich Emissionen von mehr als 6000 t CO<sub>2</sub> durch Substitution anderer Güter, womit der Forstbetrieb bereits heute einen effektiven Beitrag zum Klimaschutz leistet und diesen noch weiter ausbauen kann. Daher ist sowohl aus ökologischer wie auch ökonomischer Sicht ein Nutzungsverzicht nicht anzustreben. Die Substitutionsleistung von Holz und Holzprodukten kann demnach als grosses Plus für den Forstbetrieb gewertet werden und sollte somit auch in der Öffentlichkeit vermehrt kommuniziert werden.

Es bleibt nun abzuwarten, ob und wie Forstbetriebe künftig für erbrachte CO<sub>2</sub>-Senken und Substitutionsleistungen entschädigt werden. Zur Abdeckung der bereits diskutierten Risiken müssen von Seite der Behörden klare Rahmenbedingungen geschaffen werden. Für die Forstbetriebe wäre eine Entschädigung für die erbrachte CO<sub>2</sub>-Reduktion durch die Substitutionsleistungen vorteilhafter und wohl auch einfacher in der Handhabung. Durch die monetäre Bewertung der Substitutionsleistungen könnte künftig auch die Holzernte wieder wirtschaftlicher und rentabler ausfallen.