

höheren Strassendichten übersteigen höhere Strassenunterhaltskosten in der Regel mögliche Einsparungen in den Rücke- bzw. Wegkosten des Forstpersonals.

- Diese Arbeit hat gezeigt, dass ein Mehraufwand für die Erholungsleistung grundsätzlich quantifizierbar ist. Im untersuchten Testgebiet scheint eine Kostenbeteiligungen der öffentlichen Hand am Strassenunterhalt von 50–60 % gerechtfertigt. Ob diese Zahlen auch in Gebieten mit höherem Erholungsdruck und anspruchsvolleren Topografie gelten, müssen weitere Untersuchungen zeigen.
- Je genauere empirische Daten zu den Kosten des laufenden und periodischen Strassenunterhaltes sowie des aktuellen Strassenzustandes verfügbar sind, desto genauer und aussagekräftiger werden die Resultate des Modells. Eine Dokumentation der Unterhaltsarbeiten nach Strassenabschnitt, Betriebsteil oder Bewirtschaftungseinheit ist zu empfehlen.
- Eine Weiterentwicklung des verwendeten QGIS-Modells in ein benutzerfreundliches Python-basiertes QGIS-Plugin sollte geprüft werden. Dies könnte die Anwendung bei Reengineeringprojekten vereinfachen.

Das in dieser Masterarbeit entwickelte methodische Vorgehen kann als Beispiel dienen, wie in einem Waldgebiet mit einer (zu) hohen Waldstrassendichte vorgegangen werden kann. Es ist zu empfehlen, dass gleichzeitig eine umfassende Bedarfsanalyse durchgeführt wird. So können die Bedürfnisse der Forstwirtschaft und der einzelnen Anspruchsgruppen festgehalten und koordiniert werden. Besucherlenkungskonzepte können entwickelt und sinnvolle Kostenbeteiligungen ausgearbeitet werden.

*Kontakt: Dominik Brantschen
(dominik.brantschen@waldschweiz.ch) und
Leo Bont (leo.bont@wsl.ch)*

Literatur:

Bont, L., Fraefel, M., Fischer, C., Temperli, C., & Frutig, F. (2021). Beurteilung der Holzertesysteme und der Walderschliessung in der Schweiz: neue Produkte. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 172(5), 268-277.

Optimierung der Waldplanung für die Bereitstellung von Biodiversität und Ökosystemleistungen

Leo Bont, Julian Muhmentaler, Laura Ramstein, Janine Schweier

Forschungsgruppe Nachhaltige Forstwirtschaft, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Einleitung

Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung umfasst neben der Holzproduktion auch die Förderung der Biodiversität sowie die Bereitstellung weiterer wichtiger Ökosystemleistungen wie Erholung, Schutz vor Naturgefahren und Kohlenstoffspeicherung. Die zentrale Aufgabe der forstlichen Planung und der Bewirtschaftung ist es, die nachhaltige Bereitstellung dieser Ökosystemleistungen zu gewährleisten.

Gleichzeitig tragen sie bis heute kaum zum Betriebs-erfolg und der Abgeltung der Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen bei, da sie u.a. nicht adäquat in Wert gesetzt werden können. Mangels Inwertsetzung bzw. Quantifizierungen können Ökosystemleistungen nicht dargestellt, kommuniziert und damit politisch «verhandelt» werden.

Um die Bereitstellung von Ökosystemleistungen dennoch in die forstliche Planung und deren Umsetzung einzubeziehen, braucht es geeignete Konzepte und Instrumente zur Entscheidungsunterstützung.

Ziele des Projektes

Das Hauptziel dieses WHFF-CH Forschungsprojektes war es, ein bestehendes Entscheidungsunterstützungssystem (DSS, von engl. Decision Support System) um einen räumlichen Optimierungsalgorithmus zu ergänzen. Mit diesem kann für einen Betrieb automatisch die räumliche Verteilung der optimalen Bewirtschaftungsstrategien ermittelt werden, welche den besten Gesamtnutzen erzielt. Gleichzeitig wurde das bestehende Modell um weitere Indikatoren zur Quantifizierung von Ökosystemleistungen ergänzt (z.B. «Auerhuhn-Indikator») und zusätzlich die Strategie Plenterbewirtschaftung (Dauerwaldbewirtschaftung) implementiert, welche für viele Flächen in der Schweiz von grosser Relevanz ist. Das Modell bildet jetzt sowohl gleichförmige als auch

ungleichförmige Bewirtschaftungsstrategien ab, bzw. ist in Altersklassen- und Plenterwäldern anwendbar. Es liegt als Prototyp vor und wurde erfolgreich in zwei Betrieben (Bülach ZH und Gottschalkenberg ZG) angewandt.

Gesamtsystem

Das Vorgehen besteht aus folgenden Schritten.

- In einem ersten Schritt wurden aus Daten der Stichprobeninventuren (Betriebsinventuren) im Waldwachstumssimulator «Waldplaner» virtuelle Bestände erzeugt. Ausgehend von den virtuellen Beständen wurde die Waldentwicklung (Mortalität, Wachstum und waldbauliche Eingriffe) unter verschiedenen definierten waldbaulichen Behandlungsstrategien (NO, BC, BAU, INT, PLT, siehe Tabelle 2) über einen Zeitraum von 50 Jahren simuliert.
- In einem zweiten Schritt wurden basierend auf den Simulationsergebnissen Indikator- und Nutzwerte für die verschiedenen Ökosystemleistungen auf Stichprobenebene berechnet. Der Bewertungsrahmen ist in Abbildung 3 abgebildet und besteht aus 21 Indikatoren, die sich in die fünf Indikatorgruppen Kohlenstoffspeicherung (1 Indikator), Biodiversität (4), Erholung (8), Holzproduktion (5) und Schutz vor Naturgefahren (3) unterteilen lassen.

- Im folgenden Optimierungsschritt wurde für jeden Inventurpunkt die bestmögliche Bewirtschaftungsstrategie hinsichtlich des Gesamtnutzens ermittelt. Die daraus abgeleitete räumliche Zuordnung wurde als optimale Zuweisung der Bewirtschaftungsstrategien («OPT») definiert.
- Zuletzt wurde der Gesamtnutzen je Bewirtschaftungsstrategie und für die optimale Strategiemischung über das gesamte Untersuchungsgebiet berechnet.

Tabelle 2: Untersuchte Bewirtschaftungsstrategien.

Behandlungsstrategie	Beschreibung
BAU (Business As Usual):	Aktuelle Bewirtschaftungsintensität, Einzelbaumweise Durchforstung, Schützen von Habitatbäumen.
BC (Biodiversity Conservation):	Förderung der Biodiversität, Einzelbaumweise Durchforstung, höhere Zielstärken, Schützen von Habitatbäumen.
INT (Intensive Management):	Intensives Management, geringere Zielstärken.
NO (No Management):	Keine Eingriffe.
PLT (Plenterstrategie)	Eingriffe orientieren sich an der Stammzahlkurve

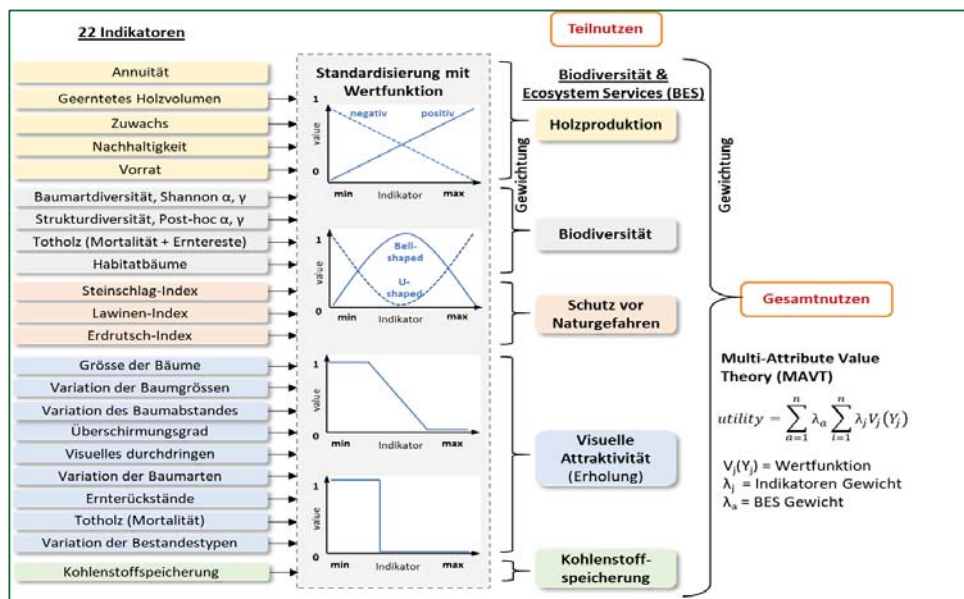


Abbildung 3. Übersicht der verwendeten Indikatoren. Die (Shannon- & PostHoc-Index-) Gamma-Diversitäten und der Indikator "Variation der Bestandestypen" wurden nicht berechnet. Für den Kanton Zug wurde ausserdem die Indikatorgruppe «Auerhuhn», bestehend aus 6 Einzelindikatoren neu hinzugefügt und berechnet © C. Blattter.

Ergebnisse

Bei Anwendung des DSS auf einen Betrieb erhält man unter anderem:

- eine Karte der optimalen räumlichen Verteilung der Bewirtschaftungsstrategien (Abbildung 4);
- den Gesamtnutzen, der aus der Umsetzung dieser Verteilung resultiert (Abbildung 5);
- sowie den Nutzen je Ökosystemleistung, also den Teilnutzen, der aus der flächigen Anwendung der einzelnen Bewirtschaftungsstrategien resultieren würde (Abbildung 6).

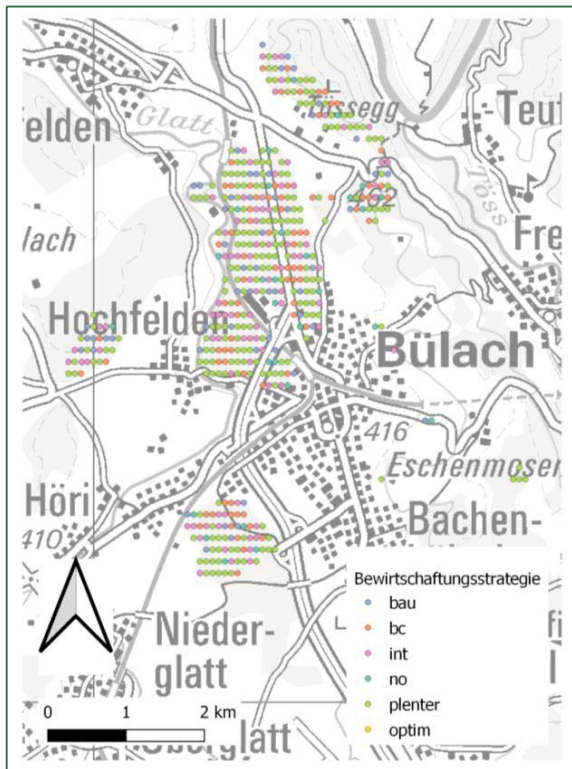


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der zugeordneten Bewirtschaftungsstrategien für die Fallstudie Bülach.

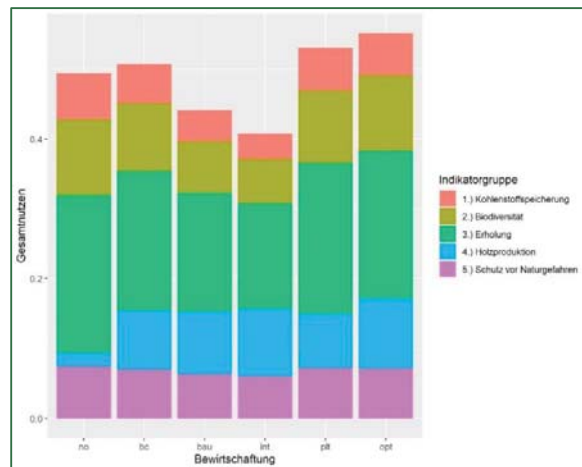


Abbildung 5: Aufsummierter Gesamtnutzen bei flächiger Anwendung der jeweiligen Bewirtschaftungsstrategie (NO, BC, BAU, INT oder

PLT, siehe Tabelle 2), sowie unter der optimalen Strategiemischung (OPT) am Beispiel Bülach (NO=No Management; BC= Biodiversity Conservation; BAU= Business As Usual; INT= Intensive Management; PLT= Plenterstrategie; OPT= optimale Strategiemischung).

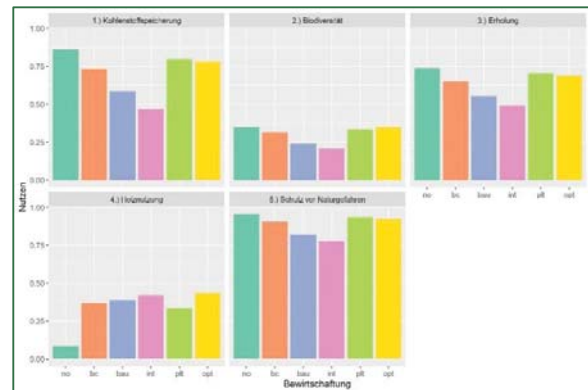


Abbildung 6: Darstellung der berechneten Teilnutzen pro Indikatorgruppe bei flächiger Anwendung der jeweiligen Bewirtschaftungsstrategie (NO, BC, BAU, INT oder PLT) sowie für die optimale Strategiemischung (OPT) am Beispiel Bülach (NO=No Management; BC= Biodiversity Conservation; BAU= Business As Usual; INT= Intensive Management; PLT= Plenterstrategie; OPT= optimale Strategiemischung).

In beiden Forstbetrieben war auffällig, wie gut die Bewirtschaftungsstrategien ohne Räumungen, also keine Bewirtschaftung (NO) und Plenterung/Dauerwald (PLT) im Vergleich zu den klassischen Bewirtschaftungsstrategien im schlagweisen Hochwald (BC, BAU, INT) abschnitten. Dieser Effekt kann zum Teil auch modellbedingt erklärt werden, da nach einer Räumung die Probeflächen bis zum Einwuchs der Verjüngung in die Kluppschwelle als komplett leere, vegetationslose Flächen betrachtet werden und dadurch bspw. die Biodiversitätsindikatoren sehr niedrige Werte liefern. Höhere Biodiversitätswerte für schlagweisen Hochwald könnten durch den Einsatz von Waldwachstumsmodellen erreicht werden, welche mit einer kleineren Kluppschwelle arbeiten.

Des Weiteren ergab sich ein Trade-Off zwischen der Indikatorengruppe Holzproduktion einerseits und den Indikatorengruppen Erholung, Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung andererseits. Generell schnitten also bei einer Strategie, bei welcher die Holzproduktion gut abschnitt, die anderen Indikatoren schlechter ab. Dieser Trade-Off ist jedoch abhängig vom Simulationszeitraum: so wirkt sich beispielsweise bei längeren Zeiträumen (ab 100 Jahren) die Holzproduktion nicht negativ auf die Kohlenstoffspeicherung sowie die anderen Ökosystemleistungen aus.

Bei der räumlichen Optimierung wurde jeder Stichprobenfläche eine Bewirtschaftungsstrategie zugewiesen, um über die ganze Fallstudienfläche den Gesamtnutzen zu maximieren. Das führte dazu, dass 0.2ha kleine Bestände simuliert wurden, welche zu detailliert für die Umsetzung einer sinnvollen Bewirtschaftungsstrategie sind. Zielführender wäre eine Aggregation zu grösseren Beständen oder Bewirtschaftungseinheiten. Im laufenden Projekt «Planstufig» wird dieser Aspekt aufgegriffen und an der Ausscheidung von geeigneten Bewirtschaftungseinheiten gearbeitet, die für die Optimierung verwendet werden können.

Fazit

Die Methode der räumlichen Optimierung ist vielversprechend. Auf Betriebsebene können so die Waldbewirtschaftung simuliert und optimale Bewirtschaftungsstrategien räumlich zugeteilt werden. Mit dem erweiterten DSS erhalten Forstplaner und Entscheidungsträgerinnen die Möglichkeit, auch gemischte Waldbaustrategien (z.B. schlagweiser Hochwald auf einer Teilfläche und Plenterwald/Dauerwald in einer anderen Teilfläche) hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bereitstellung von Biodiversität und Ökosystemleistungen zu beurteilen. Diese Möglichkeit, neben dem klassischen Hiebssatz noch weitere Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit heranziehen zu können, wurde von den Praxispartnern sehr geschätzt. Die Resultate können den Wert des Waldes bereits grafisch aufzeigen, werden jedoch nicht finanziell in Wert gesetzt.

Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes wurde noch kein operationell einsetzbares Optimierungsinstrument für die Praxis entwickelt, sondern zunächst ein Prototyp. Aufgrund der Rückmeldungen aus der Praxis war es jedoch möglich, für die Praxis relevante Faktoren zu identifizieren und einzugrenzen, welche in weiteren Projekten (Planstufig: <https://www.wsl.ch/de/projekte/planstufig.html>, OneForest: <https://www.wsl.ch/de/projekte/oneforest.html>) aufgegriffen und weiterentwickelt werden.

Dank

Unser Dank gilt zunächst dem Bundesamt für Umwelt BAFU, dem Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung Schweiz (WHFF-CH) für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes (WHFF-CH: 2020.12) sowie den Projektpartnern (Raphaella Tinner (SFV AG WaPlaMa), Raphaella Tinner und Sabrina Mauerer, AFW Kanton Zug und Denise Lüthy, Anja Bader und Stephan Rechberger (ALN Abteilung Wald Kanton Zürich) für die zur Verfügung gestellten Inventur- und Geodaten und die erkenntnisreichen Diskussionen. Dem Forstbetrieb Bülach, namentlich Thomas Kuhn (Leiter Forst/Stadtförster, Bülach) und dem Staatswald Gotschalkenberg, namentlich Hanspeter Nussbaumer (Revierförster Staatswald Gotschalkenberg), für die Auskünfte zu den Betrieben und die Unterstützung durch Betriebsdaten. Schliesslich danken wir Dr. Clemens Blattert (University of Jyväskylä), Dr. Timothy Thrippleton (WSL), Dr. Stefan Holm (WSL), Lioba Rath (WSL), Rolf Meile (WSL) und Dr. Kurt Bollmann (WSL) für wertvolle Inputs und Unterstützungen, die zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.