

Weiterentwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems der klimaangepassten Baumartenwahl (BaEm)

Matthias Schmidt und Hans Hamkens

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17241197>

Der Klimawandel stellt für die Forstwirtschaft eine besondere Herausforderung dar, da abzusehen ist, dass die Anpassungsfähigkeit der heimischen Baumarten auf vielen Standorten nicht ausreichen wird, um leistungsfähige, multifunktionale Wälder zu erhalten. Die extremen Witterungsbedingungen der letzten Jahre haben dabei deutlich gemacht, dass die Widerstandsfähigkeit der Baumarten gegenüber klimawandelbedingten Risikofaktoren sehr unterschiedlich ist. Sowohl die insgesamt gestiegenen Mortalitätsraten als auch deren große baumartenspezifische Unterschiede lassen sich für die Hauptbaumarten anhand der Waldzustandserhebungen statistisch nachweisen (<https://www.nw-fva.de/veroeffentlichen/waldzustandsberichte>).

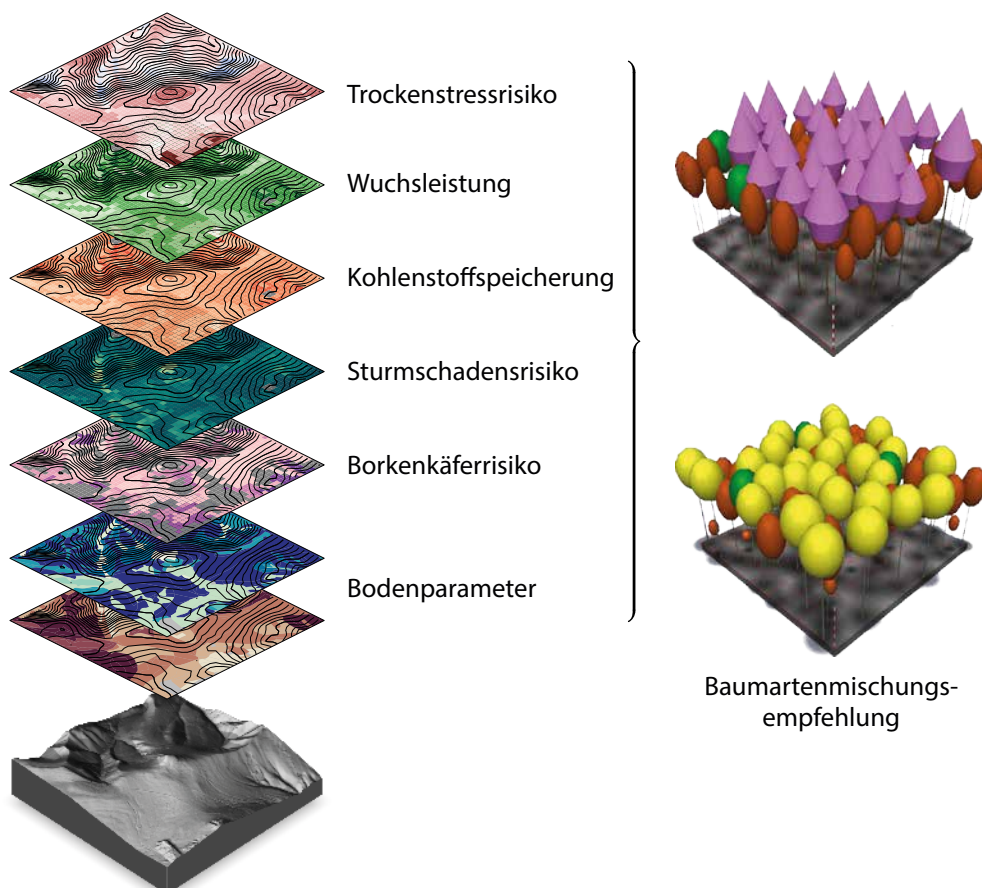
Die Widerstandsfähigkeit von Baumarten kann in unterschiedlichem Ausmaß durch waldbauliche Maßnahmen bspw. zur Förderung der Einzelbaumvitalität erhöht werden. Auch die Verkürzung der Produktionszeiträume über abgesenkte Zielstärken kann die Vulnerabilität von Einzelbäumen und Beständen reduzieren. Die mit Abstand wichtigste waldbauliche Handlungsoption zur Risikovorsorge aber ist die Wahl standortsgerechter Baumarten und ihrer Mischung. Fehler bei der Baumartenwahl sind besonders schwerwiegend, da sie aufgrund der langen Produktionszeiträume kurz-

fristig kaum oder nur mit kostenintensiven waldbaulichen Maßnahmen korrigiert werden können. Ein Schwerpunkt der Klimafolgenforschung an der NW-FVA liegt daher in der stetigen methodischen Weiterentwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems der Baumartenwahl (BaEm: <https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/software/baem>).

Das aktuelle System der NW-FVA für die Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl basiert auf der Standortwasserbilanz und Nährstoffversorgung der forstlichen Standorte. Die Standortwasserbilanz ist eine dynamische Größe zur Abschätzung des baumartenspezifischen Trockenstressrisikos, die auf der Grundlage von Klimaszenarien auch Projektionen des zukünftigen Risikos erlaubt. Das System der Baumartenempfehlungen hat sich seit seiner Einführung grundsätzlich bewährt. Allerdings schöpft der Ansatz die Anpassungsmöglichkeiten bei der Baumartenwahl bei weitem nicht aus. Vor diesem Hintergrund wird aktuell ein multikriterieller Bewertungsansatz im Rahmen des Projektes *Modellbetrieb für Klimaschutz-plus im Staatswald des Hessischen Forstamts Burgwald* (Burgwaldprojekt) erprobt. Der Ansatz berücksichtigt zusätzlich zur Trockenstressgefährdung das Risiko durch Winterstürme und Fichtenborkenkäfer und ermöglicht somit eine sehr viel differenziertere Analyse der Standortsgerechtigkeit einer Baumart. Als weitere Indikatoren werden die Wuchsleistung und die Kohlenstoffspeicherung standortssensitiv projiziert (Abb. links). Damit wird eine Unterscheidung zwischen dem Mortalitätsrisiko und dem Risiko von Zuwachsverlusten möglich.

Alle Indikatoren werden für den Zeitraum bis 2100 projiziert, wobei die Bedingungen verschiedener Klimäläufe unterstellt und die zugehörigen Klimaparameter in der Modellanwendung verwendet werden.

Die Verwendung eines Klimaensembles, d. h. mehrerer Klimaprojektionen, dient der Berücksichtigung der großen Unsicherheit von Klimaszenarien. Die verschiedenen Indikatoren basieren dabei in stärkerem Maße auf empirischen, d. h. datenbasierten Modellen als das aktuelle Expertensystem der Baumartenempfehlungen. Die Indikatoren sind überwiegend sensitiv gegenüber kleinräumigen, topographisch-bedingten Standortunterschieden. Daher werden die Indikatoren in einer räum-

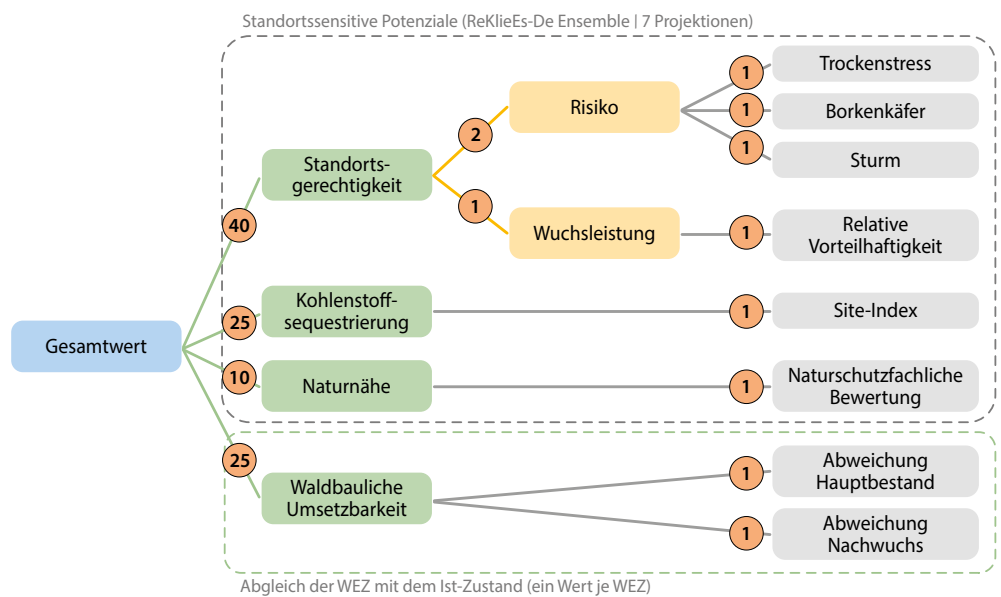


Datengrundlagen des multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems der klimaangepassten Baumartenwahl. Die abstrahierten Baumartenmischungen (rechts) stehen stellvertretend für die länderspezifischen Listen an möglichen Baumartenkombinationen.

lichen Auflösung von 50 x 50 m projiziert und erst anschließend für Standortpolygone gemittelt. Auf diese Weise können bspw. die Unterschiede zwischen Nord- und Südhängen bzgl. der Risiken durch Winterstürme, Fichtenborkenkäfer und Trockenstress berücksichtigt werden. Wie im aktuellen System der Baumartenempfehlung werden ergänzend Setzungen auf der Grundlage von Erfahrungswissen wie der Ausschluss von Fichte auf Kalk- und wechselfeuchten Standorten verwendet. Der multikriterielle Bewertungsansatz ist modular aufgebaut und kann prinzipiell für eine noch umfassendere Bewertung der Waldfunktionen um zusätzliche Indikatoren erweitert werden. So sind z. B. Indikatoren für die Grundwasserneubildung und die Nährstoffnachhaltigkeit denkbar. Das umfassend erweiterte, multikriterielle Entscheidungsunterstützungssystem der klimaangepassten Baumartenwahl wird derzeit intensiv evaluiert. Dabei werden die Ergebnisse der Baumartenempfehlungen in Zusammenarbeit mit den Landesforstbetrieben der Trägerländer der NW-FVA analysiert und bewertet. Darüber hinaus werden die Datengrundlagen, die verwendeten Methoden und die grundsätzliche Konzeption detailliert dokumentiert. Erste Ergebnisse aus dem Burgwaldprojekt zeigen bereits die deutlich verbesserten Planungsmöglichkeiten auf, die das multikriterielle Entscheidungsunterstützungssystem bietet.

Das multikriterielle Entscheidungsunterstützungssystem der klimaangepassten Baumartenwahl (BaEm) als Grundlage für die strategische Waldbauplanung im Staatswald des Hessischen Forstamtes Burgwald

Die standortssensitive, multikriterielle Bewertung von Baumartenmischungen (Abb. Seite 39) ist auch eine hervorragende Grundlage für die strategische Waldbauplanung unter zusätzlicher Berücksichtigung von Nebenbedingungen, wie sie aus Schutzgebietsauflagen, Zertifizierungsvorgaben, betrieblichen Zielen und übergeordneten forstpolitischen Vorgaben resultieren sowie der waldbaulichen Ausgangssituation, die im Rahmen der Forsteinrichtung erfasst wird. Die strategische Waldbauplanung gleicht somit die Potenzialbetrachtung der Bewertung von Baumartenmischungen in Abhängigkeit von baumarten- und standortssensitiven Risiken mit den spezifischen Nebenbedingungen und Zielen eines Forstbetriebes ab.



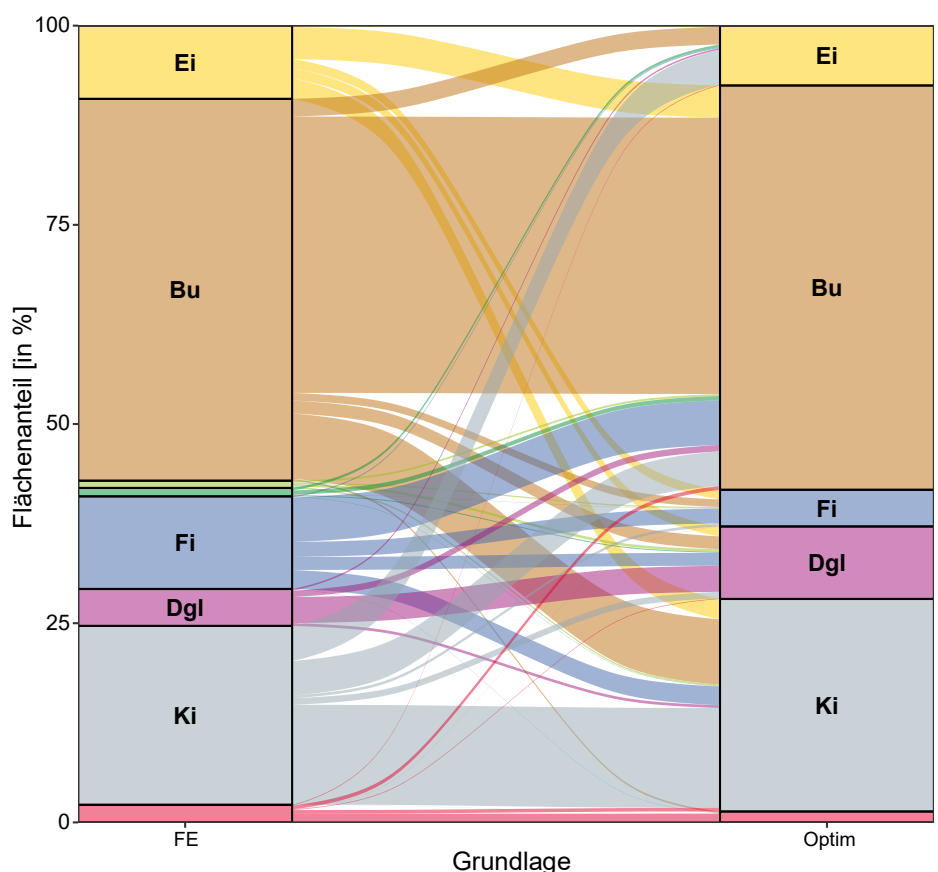
Spezifischer Wertbaum, der im Rahmen des Burgwaldprojektes entwickelt wurde. Der Gesamtwert (blau) einer Baumartenmischung (WEZ/WET/BZT) für einen spezifischen Bestand wird aus den unterschiedlichen Kriterien (grün; Subkriterien: gelb) berechnet, welche wiederum aus den Indikatoren (grau) abgeleitet werden. Die roten Kreise beschreiben die Gewichte der jeweiligen Kriterien/Indikatoren. Der Wertbaum teilt sich in standortssensitive Kriterien und den Abgleich mit dem Ist-Zustand, d. h. der waldbaulichen Ausgangssituation, auf.

Zentrales Instrument der multikriteriellen Bewertung sowohl in der Potenzialbetrachtung als auch unter zusätzlicher Berücksichtigung von Nebenbedingungen im Entscheidungsunterstützungssystem der NW-FVA ist ein Wertbaum. Der spezifische Wertbaum, der im Rahmen des Burgwaldprojektes mit Vertretern von HessenForst und dem Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU) entwickelt und abgestimmt wurde, beinhaltet verschiedene Kriterien (Abb. oben). Zum einen sind dies Kriterien, die sich aus standortssensitiven Indikatoren (Abb. Seite 39) ableiten und somit die Potenziale ohne Berücksichtigung der waldbaulichen Ausgangssituation abbilden. Zum anderen sind dies Kriterien auf Basis von Indikatoren zum Abgleich mit der waldbaulichen Ausgangssituation. Die waldbauliche Ausgangssituation wird über Daten der Forsteinrichtung zum Hauptbestand und Nachwuchs erfasst. Alle Indikatoren werden mit Hilfe von Wertfunktionen auf einen vergleichbaren Wertebereich im Intervall [0,1] transformiert und dann gewichtet zu einem Gesamtwert je Handlungsalternative und Planungseinheit (Bestand) aufsummiert. Die Gewichte spiegeln die Zielsetzungen des Forstbetriebes wider. Die Handlungsalternativen sind definierte Baumartenmischungen. Diese Baumartenmischungen werden in Hessen als Waldentwicklungsziele (WEZ), in Niedersachsen und Schleswig-Holstein als Waldentwicklungstypen (WET) und in Sachsen-Anhalt als Betriebszieltypen (BZT) bezeichnet. Mit Bezug zum Burgwaldprojekt wird hier die Abkürzung WEZ verwendet. Die Definition der WEZ beinhaltet neben den Baumartenanteilen eine zusätzliche Einordnung bzgl. der Waldfunktionen. So werden u. a. auch Produktionsziele in Form von Zielstärken definiert. Diese Aspekte spielen für die Bewertung allerdings nur eine untergeordnete Rolle.

Die spezifische Gewichtung der verschiedenen Indikatoren und Kriterien im Burgwaldprojekt war Ergebnis der Abstimmung mit dem Forstbetrieb HessenForst und dem HMLU. Nebenbedingungen resultierten u. a. aus den Wassereinzugsgebieten der Waldmoore. Auf diesen Flächen wurden Baumartenmischungen mit Nadelbäumen in Abhängigkeit einer Prioritätsstufe teilweise oder ganz ausgeschlossen, um die Grundwasserneubildung zu erhöhen. Auch die Vorgaben bezüglich Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie wurden in den entsprechenden Beständen berücksichtigt. Einschränkungen aufgrund von Zertifizierungen wurden dagegen nicht vorgenommen. Anhand der über den Wertbaum bestimmten Gesamtwerte resultiert eine Rangfolge der WEZ für jeden Bestand. Das WEZ mit dem höchsten Wert ist somit theoretisch die beste Wahl für diesen Bestand. Allerdings gibt es gesamtbetrieblich betrachtet – d. h. im Burgwaldprojekt auf den Staatswald im Forstamt Burgwald bezogen – weitere Nebenbedingungen, die bei der Wahl eines WEZ zu berücksichtigen sind. In diesem Fall wurde der Douglasienanteil auf maximal 15 % und der Lärchenanteil auf mindestens 5 % festgelegt. Die Berücksichtigung derartiger Nebenbedingungen ist deutlich komplexer, als lediglich die Liste der möglichen WEZ in bestimmten Beständen einzuschränken. Zur Problemlösung wurde hier die Methodik der Ganzzahligen Linearen Optimierung (ILP; Integer Linear Programming) verwendet, welche sehr recheneffizient die bestmögliche – und somit optimale – Lösung unter Berücksichtigung aller Nebenbedingungen ermittelt.

Ein Vergleich der Flächenanteile der WEZ, die über die klassische Forsteinrichtung geplant wurden, mit der hier beschriebenen modellgestützten Optimierung wird in Form eines "Wählerwanderdiagramms" dargestellt (Abb. rechts). Die Flächenanteile für Buche, Kiefer und Eiche sind ähnlich, während die Optimierung bei Fichte zu deutlich geringeren, bei Douglasie aber zu deutlich höheren Flächenanteilen führt. Betrachtet man, ausgehend von der klassischen Forsteinrichtungsplanung, für welche Bestände die gleiche Baumart geplant wird, so weisen hier Douglasie und Buche die geringsten "Baumartenwanderungen" auf. Für Kiefer, Eiche und Fichte zeigt sich ein abweichendes Bild. Obwohl die Gesamtfläche von Kiefer und Eiche in beiden Planungen ähnlich ist, treten bei der Zuweisung der Baumart zu den einzelnen Beständen deutliche (Kiefer) bzw. sehr starke (Eiche) Unterschiede auf. So gibt es bei Eiche so gut wie keine Übereinstimmung auf der

Ebene der Bestände. Bei der Fichte resultiert der geringe Anteil an übereinstimmenden Einzelbestandsplanungen aus der starken Reduktion der Gesamtfläche. Eine vertiefte Analyse, inwieweit bspw. die Berücksichtigung zusätzlicher Indikatoren in der Optimierung oder eine abweichende Gewichtung der waldbaulichen Ausgangssituation in den beiden Planungen zu den unterschiedlichen Ergebnissen geführt hat, steht noch aus. An dieser Stelle muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Forsteinrichtung noch unter anderen Rahmenbedingungen stattgefunden hat. Beispielsweise wurde die Douglasie wegen der noch geltenden FSC-Zertifizierung deutlich restriktiver behandelt. Um eine größere Praxisnähe in der nächsten Planungsperiode zu gewährleisten, wurde die Optimierung nach Wegfall der FSC-Zertifizierung ohne die entsprechenden Einschränkungen durchgeführt. Die hier dargestellten Ergebnisse sind daher nur begrenzt für Vergleiche geeignet. Außerdem können die Modellgrundlagen noch nicht die komplette Baumartenpalette abdecken, weshalb bspw. keine Edellaubholz-WEZ berücksichtigt werden können. Ein grundsätzlicher Vorteil der modellgestützten Waldbauplanung besteht darin, dass verschiedenste Varianten wie z. B. mit und ohne Berücksichtigung von Zertifizierungsaufgaben berechnet und analysiert werden können. Auch können nicht nur einzelne Forstämter, sondern ganze Waldbauregionen oder auch ganze Landesforstbetriebe sehr recheneffizient optimiert werden.



Vergleich der WEZ-Auswahl aus der Forsteinrichtung (FE) und der optimierten Lösung des ILP (Optim). WEZ sind gruppiert nach der führenden Baumart. WEZ-Gruppen mit sehr geringen Anteilen sind unbeschriftet (hellgrün = Edellaubbäume; dunkelgrün = Weichlaubabäume; rot = Lärche).