

Entscheidungsunterstützung zur Priorisierung von Waldumbauflächen abgeleitet aus Fernerkundungsdaten

Maximilian Axer¹, Hans Hamkens¹, Ralf-Volker Nagel¹, Thomas Böckmann¹

Abstract

In der vorgestellten Studie wird ein multikriterieller Ansatz zur Priorisierung von Waldumbauflächen entwickelt, um mitteleuropäische Wälder an den Klimawandel anzupassen. Anhand von Daten des Standortübungsplatzes Marienberg in Thüringen-Erzgebirge werden Trockenstressrisiken aufgrund von Klimadaten, Klimaprojektionen und Standortinformationen bewertet. Dieses Risiko wird mit der Baumartenzusammensetzung im Bestand in Verbindung gebracht, um eine Priorisierung von Umbauflächen zu ermöglichen. Die Diversität auf Bestandesebene wird mithilfe von Fernerkundungsdaten beurteilt, um artenarme Bestände zu identifizieren, und die Rarität auf Landschaftsebene wird durch das Einbeziehen seltener Baumarten in der Umgebung bewertet. Die multikriterielle Bewertung basiert auf Trockenstressrisiko, Diversität und Rarität und ermöglicht die Priorisierung von Umbauflächen. Dieser Ansatz erleichtert die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in mitteleuropäischen Wäldern, indem ökologische und klimatische Faktoren berücksichtigt werden.

Keywords: Waldumbau; Entscheidungsmodelle; Fernerkundung

1 Einleitung

Derzeit herrscht Einigkeit darüber, dass mitteleuropäische Wälder im Zuge des Klimawandels sukzessiv umgebaut werden müssen, um klimangepasste, standortgerechte, strukturreiche und möglichst naturnahe Mischbestände zu erhalten bzw. zu entwickeln (O'Hara 2014, Bravo-Oviedo et al. 2018). Aufgrund des enormen Waldumbau-Bedarfs bei gleichzeitig begrenzten Kapazitäten ist eine weitere Priorisierung des Waldumbaus zwingend geboten. Diese Priorisierung soll neben der standörtlich-klimatischen Berücksichtigung unter Hinzunahme von Fernerkundungsdaten erfolgen. Als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen zu Waldumbauaktivitäten wurde daher ein multikriterieller Ansatz entwickelt.

2 Untersuchungsgebiet

Der Ansatz zur Priorisierung von Waldumbauflächen wurde anhand des Standortübungsplatzes Marienberg im Bundesforstbetrieb Thüringen-Erzgebirge dargestellt. Die Liegenschaft umfasst 1.485 ha und liegt im Wuchsbezirk Mittleres Oberes Erzgebirge. Mit fast 80 % stellt die Fichte die

dominierende Baumart dar (Abbildung 1). Weiterhin gibt es im Süden sowie im Norden des Un-

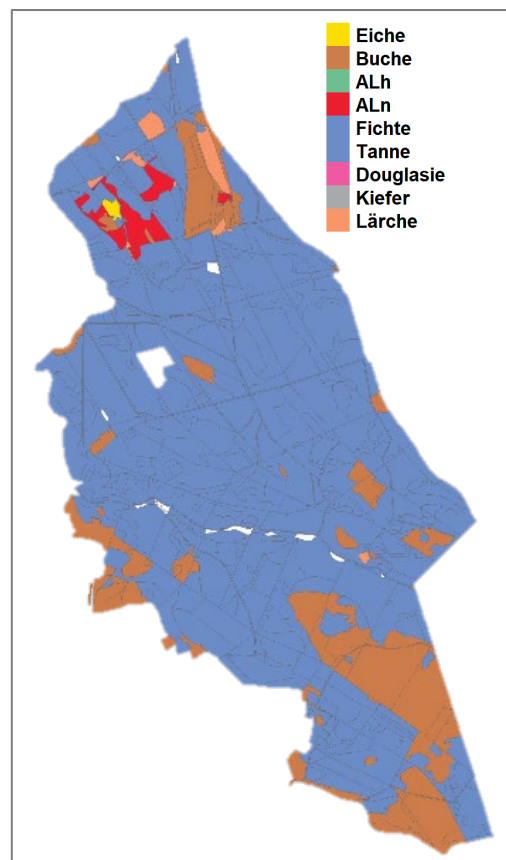


Abbildung 1: Baumartenkarte zur Darstellung der Hauptbaumarten für den Standortübungsplatz Marienberg

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Göttingen
maximilian.axer@nw-fva.de

tersuchungsgebiets einige Buchenbestände. Neben den Buchenbeständen befinden sich ebenfalls Lärchen- und ALn-Bestände im Norden.

3 Normalisierung des Trockenstressrisikos

Grundlage aller Klimaanpassungsmaßnahmen ist die Überprüfung, ob auf gegebenem Standort die derzeit dort wachsenden oder dort noch zu verjüngenden Baumarten nach heutigem Stand des Wissens geeignet sind, sowohl mit dem herrschenden, als auch mit dem künftigen Klima zurechtzukommen. Datengrundlage hierfür bilden die beobachteten Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, Klimaprojektionen für das gewählte Szenario RCP 8.5 sowie Standortinformationen aus Bodenübersichtskarten.

Die Klimaprojektionen für die Periode von 2071 bis 2100 stammen aus dem Projekt ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland; Hübener et al. 2017). Für das Szenario RCP 8.5 steht ein Gesamtensemble von 37 Projektionen zur Verfügung (Modellkombination verschiedener Global- und Regionalmodelle). Aus diesem Gesamtensemble wurden innerhalb des ReKliEs-De-Projekts nach vorgegebenen Qualitätskriterien sieben ausgewählte Projektionen für ein sogenanntes Kernensemble ausgewählt. Für die Projektionen der sieben Klimäläufe wurde die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (Verhältnis zwischen potenzieller Verdunstung und zur Verfügung stehenden Niederschlägen) für die 30-jährige Klimaperiode berechnet (Allen et al. 1998). Zusätzlich zur klimatischen Wasserbilanz wurde die nutzbare Feldkapazität eines Standorts herangezogen, um die Standortwasserbilanz zu bestimmen. Hierzu

wurde die Pedotransferfunktion von Puhlmann & Wilpert (2011) herangezogen.

Auf der Basis der Standortwasserbilanz für die sieben Klimäläufe des ReKliEs-DE-Kernensembles wird die Trockenstressgefährdung der Ist-Bestockung abgeschätzt. Die Trockenstress-Risikoklassifizierung erfolgt anhand von baumartenspezifischen Standortwasserbilanzschwellenwerten, die von der NW-FVA hergeleitet wurden (Böckmann et al. 2019). Um das Trockenstressrisiko mit den anderen Größen zu vergleichen, wurde das Trockenstressrisiko der Baumarten auf einem Standort normalisiert. Hierzu wurden Ausgleichsfunktionen Nutzenfunktionen bestimmt, die den Verlauf der Standortwasserbilanz-Schwellenwerte für die Baumartengruppen abbilden (Abbildung 2). Das normalisierte Trockenstressrisiko kann dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je niedriger der normalisierte Wert ist, desto höher ist das Trockenstressrisiko.

4 Baumartenzusammensetzung auf Bestandesebene

Unter Hinzunahme von Fernerkundungsdaten wurden weiterhin Informationen über die Baumartenzusammensetzung auf Bestandesebene bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Auf Bestandesebene wurden Diversitätsindices aus Fernerkundungsdaten hergeleitet (Moore 2013), um artenarme Bestände zu identifizieren. Hierzu wurde ein Fernerkundungsdatensatz mit einer Baumartendetektion des Oberstands verwendet (Blickensdörfer et al. 2022). Anhand von Sentinel-Daten wurden 11 Baumarten bzw. Baumartengruppen in einer 10 m x 10 m Auflö-

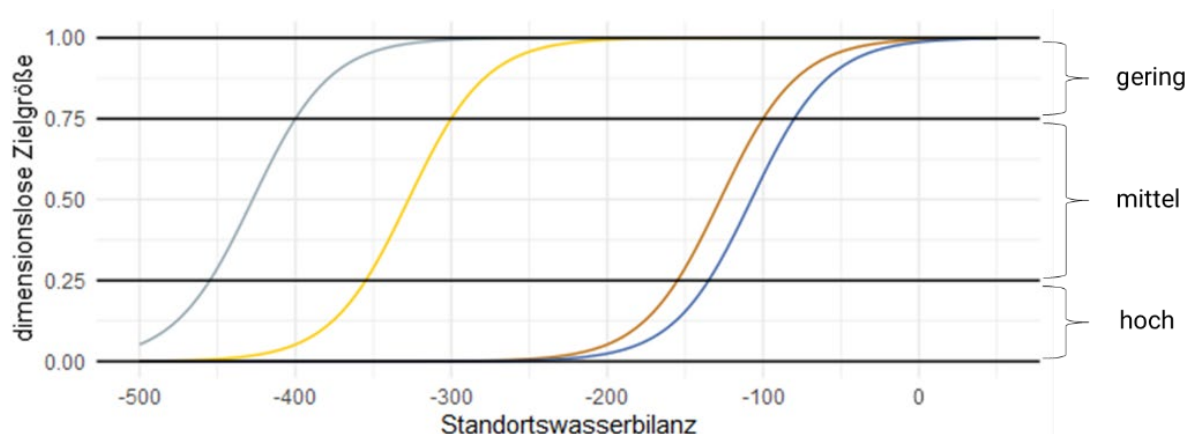


Abbildung 2: Normalisierung des Trockenstressrisikos in Abhängigkeit der Standortwasserbilanz für die verschiedenen Baumartengruppen

sung in diesem Datensatz detektiert. Die Satelliten-Aufnahmen stammen aus den Jahren 2017 bis 2018.

In einen ersten Schritt wird hieraus die Artanzahl (S) innerhalb des Bestandes bestimmt. Nachfolgend werden aus der Artanzahl und den jeweiligen Baumartenanteilen (p_i) der Shannon-Index (H) bestandesweise nach folgender Formel hergeleitet:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i \quad (1)$$

Im nächsten Schritt wurde die Evenness (E_H) berechnet. Die Evenness dient als Maß, wie ähnlich die Häufigkeiten verschiedener Arten innerhalb des Bestandes sind. Der Wert für die Evenness liegt dabei zwischen 0 (völlig ungleiche Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten) und 1 (totale Gleichverteilung). Die Evenness ergibt sich nach folgender Formel:

$$E_H = \frac{H}{\ln S} \quad (2)$$

Abbildung 4 zeigt die berechnete Evenness für das Untersuchungsgebiet. Es wird ersichtlich, dass es viele besonders artenarme Reinbestände gibt, die fast überwiegend aus Fichte bestehen. Gleichsam gibt es allerdings auch Bestände bspw. im Norden des Untersuchungsgebietes, die eine große Baumartenpalette und eine hohe Durchmischung aufweisen.

Durch die Berechnung der Evenness kann für jeden Bestand eine Bewertung anhand der Baumartenzusammensetzung erfolgen. So können besonders artenarme Bestände identifiziert und aus Gründen der Risikoversorge diversifiziert werden.

5 Baumartenzusammensetzung auf Landschaftsebene

Auf Landschaftsebene wird im Hinblick auf die Umbauwürdigkeit die regionale Stellung der jeweiligen Baumarten bewertet. Es wird angenommen, dass seltene Baumarten einen besonders hohen Wert für die Artdiversität auf Landschaftsebene haben, während häufige Baumarten einen

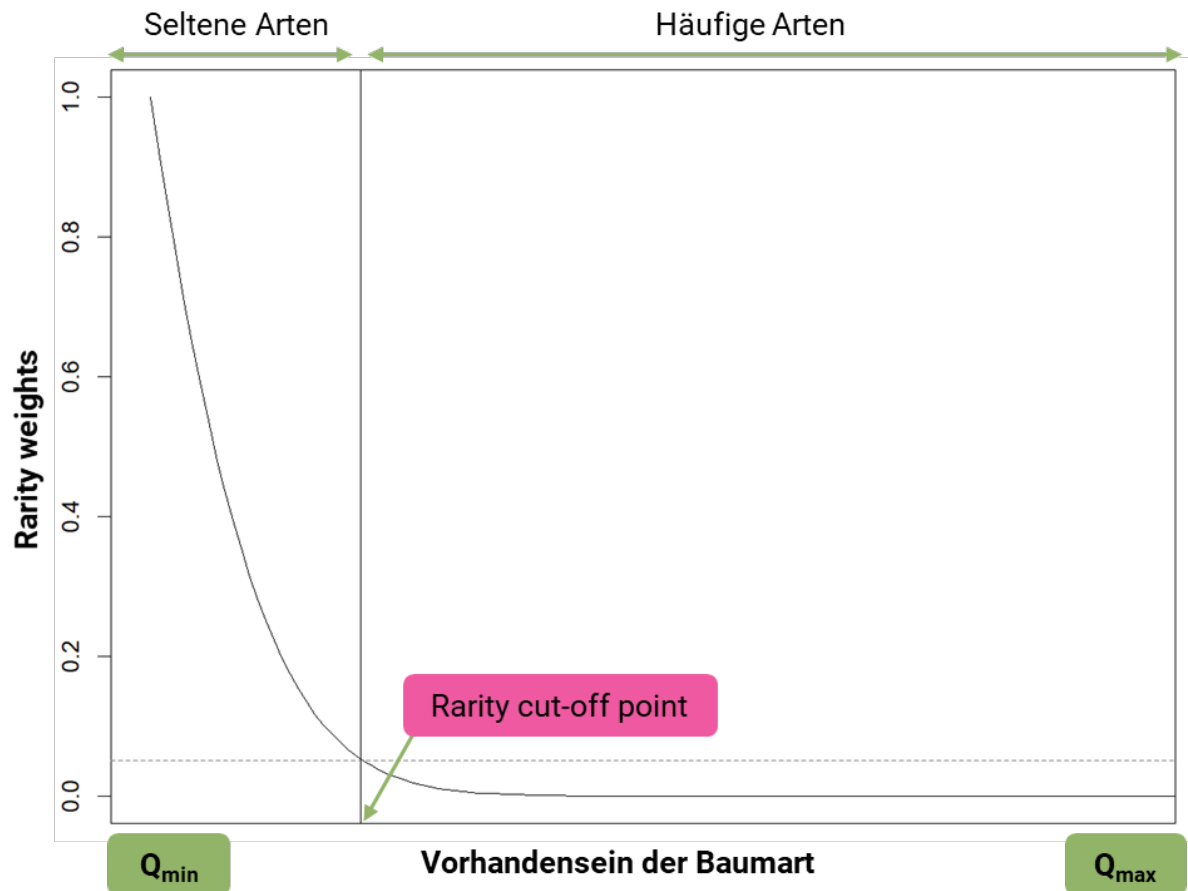


Abbildung 3: Seltenheitsgewichtungsfunktion in Abhängigkeit der Baumartenanteile sowie Darstellung des Seltenheits-Cut-off-Punkts

geringeren Wert haben. Zur Bestimmung der Seltenheit einer Baumart wurden in einem Umkreis von 500 m die Baumartenanteile aus den Fernerkundungsdaten herangezogen. Aus den Baumartenanteilen wird ein Raritätsindex (w_i) nach Leroy et al. (2012) für jeden Bestand berechnet, der die relative Seltenheit der jeweiligen Baumart im Bestand auf Landschaftsebene untersucht:

$$w_i = \frac{1}{e^{(r \cdot \frac{Q_i - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} * 0.97 + 1.05)^2}} \quad (3)$$

Dabei gibt Q_i den jeweiligen Baumartenanteil der zu untersuchenden Baumart an. Q_{min} und Q_{max} geben die Anteile der häufigsten und seltensten Baumart an. Der Seltenheits-Cut-off-Punkt (r) wird als Schwellenwert für das Vorkommen definiert, unterhalb dessen eine Art als selten gilt. Nach Sensitivitätsanalysen wurde ein Wert von 0,4 als Cut-off gewählt. Die Seltenheitsgewichtungsfunktion ist so angepasst, dass seltene Arten ein Seltenheitsgewicht (w) haben, das unterhalb des Cut-off exponentiell ansteigt. Umgekehrt nimmt die Gewichtung oberhalb des Cut-off-Punktes ab, bis sie 0 erreicht.

Der Raritätswert für den Bestand ergibt sich aus den Seltenheitsgewichten der Baumarten des Polygons bezogen auf ihre Umgebung. Abbildung 4 zeigt die Seltenheit der Baumarten auf Landschaftsebene. Es wird erkennbar, dass vor

allem einzeln eingemischte Buchen- oder Lärchenbestände in Fichten-dominierten Bereichen bspw. im Norden des Untersuchungsgebietes eine hohe Seltenheit aufweisen und entsprechend hohe Seltenheitsgewichte erhalten. Fichtenbestände umgeben von Fichte weisen hingegen besonders geringe Seltenheitsgewichte auf. Ebenso wird die Seltenheit von Buche umgeben von benachbarten Buchenbeständen als gering gewichtet (Abbildung 4).

6 Multikriterielle Bewertung

Anhand der abgeleiteten Trockenstressrisikoeinschätzung, der Diversität auf Bestandesebene sowie der Rarität auf Landschaftsebene erfolgt im letzten Schritt eine Priorisierung der Waldumbauf Flächen anhand einer multikriteriellen Bewertung. Für die multikriterielle Entscheidungsfindung wurden die einzelnen Größen bereits normalisiert. Zunächst erfolgt keine Gleichgewichtung der einzelnen Kriterien:

$$x_{multi} = \frac{Trockenstress + Evenness + Rarität}{3} \quad (4)$$

Eine angepasste Gewichtung könnte je nach Zielstellung jedoch sinnvoll sein, um die Waldumbauaktivität weiter zu präzisieren. Als Ergebnis erhält man einen Wert, der die Umbaudringlichkeit beschreibt. Je höher der Wert ist, desto geringer ist die Umbaudringlichkeit. Je niedriger

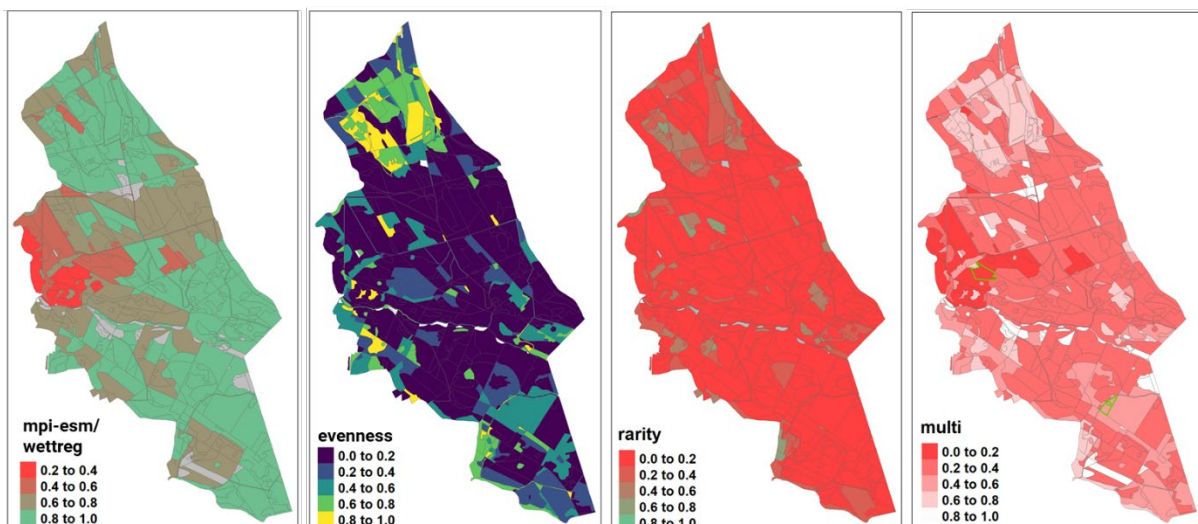


Abbildung 4: Normalisierung des Trockenstressrisikos in Abhängigkeit der Standortwasserbilanz für den MPI-ESM/WETTREG-Klimalauf unter Berücksichtigung der Baumartenzusammensetzung (links), aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Evenness und Rarität zur Bestimmung der Diversität auf Bestandes- bzw. Landschaftsebene (Mitte) sowie multikriterielle Entscheidungsfindung zur Priorisierung von Waldumbau anhand von Trockenstress, Diversität auf Bestandesebene und Rarität auf Landschaftsebene (rechts).

der Wert ist, desto höher ist die Umbaudringlichkeit.

Abbildung 4 zeigt die aggregierten gewichteten Werte für das Untersuchungsgebiet. Es wird ersichtlich, dass es insbesondere im Westen des Untersuchungsgebiets eine hohe Umbauwürdigkeit ergibt, die sich aus einem erhöhten zukünftigen Trockenstressrisiko, geringer Diversität auf Bestandes- und Landschaftsebene. Gleichzeitig gibt es bspw. im Norden des Untersuchungsgebiets Bestände, die ein geringes Trockenstressrisiko aufweisen und gleichzeitig eine hohe Diversität auf Bestandes- und Landschaftsebene aufweisen.

7 Ausblick

Auf die gezeigte Weise können räumliche Schwerpunkte für einen Waldumbau abgeleitet und notwendige Kunstverjüngungen, einschließlich des damit verbundenen Bedarfs an Forstvermehrungsgut, Finanzmitteln und Personal abgeschätzt werden. Insbesondere auch für Einheiten, für die keine Forsteinrichtungsinformationen vorliegen, kann so eine Einschätzung des Waldumbaubedarfs erfolgen. So kann auf große Einheiten hochskaliert aber auch lokal der Waldumbaubedarf bestandesweise abgeschätzt werden. Entsprechend der Gewichtung der verschiedenen Einflussgrößen kann eine Priorisierung von besonders umbauwürdigen Beständen durchgeführt werden.

Zukünftig kann der multikriterielle Ansatz erweitert werden, indem weitere Einflussgrößen bei der Bewertung der Umbauwürdigkeit einbezogen werden. Neben Verjüngungspotenzialen könnten bspw. aus LIDAR-Daten abgeleitete Oberhöhen Berücksichtigung finden. Darüber hinaus kann eine unterschiedliche Gewichtung der verschiedenen Einflussgrößen je nach betrieblicher Zielstellung geeignet sein. Hiermit verbunden sollte sich eine Sensitivitätsanalyse der multikriteriellen Bewertung anschließen.

8 Literatur

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 327 S.
- Blickensdörfer, L.; Oehmichen, K.; Pflugmacher, D.; Kleinschmit, B.; Hostert, P. (2022): Dominant Tree Species for Germany (2017/2018). <https://doi.org/10.3220/DATA20221214084846>
- Böckmann, T.; Hansen, J.; Hauskeller-Bullerjahn, K.; Jensen, T.; Nagel, J.; Nagel, R.-V.; Overbeck, M.; Pampe, A.; Peterleit-Bitter, A.; Schmidt, M.; Schröder, M.; Schulz, C.; Spellmann, H.; Stüber, V.; Suttmöller, J.; Wollborn, P. (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde – Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen, Band 61, 170 S.
- Bravo-Oviedo, A.; Pretzsch, H.; Del Río, M. (Hrsg.) (2018): Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests. Managing Forest Ecosystems, Band 31. Springer International Publishing <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91953-9>
- Hübener, H.; Bülow, K.; Fooker, C.; Früh, B.; Hoffmann, P.; Höpp, S.; Keuler, K.; Menz, C.; Mohr, V.; Radtke, K.; Ramthun, H.; Spekat, A.; Steger, C.; Toussaint, F.; Warrach-Sagi, K.; Woldt, M. (2017): ReKliEs-De Ergebnisbericht, 76 S. https://doi.org/10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Ergebnisbericht
- Leroy, B.; Petillon, J.; Gallon, R.; Canard, A.; Ysnel, F. (2012): Improving occurrence-based rarity metrics in conservation studies by including multiple rarity cut-off points. *Insect Conservation and Diversity* 5(2): 159–168. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2011.00148.x>
- Moore, J. C. (2013): Diversity, Taxonomic versus Functional. In: Levin, S. A. (Hrsg.): *Encyclopedia of Biodiversity* Second Edition: 648–656. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00036-8>
- O'Hara, K. L. (2014): *Multiaged Silviculture: Managing for Complex Forest Stand Structures*. Oxford University Press, 213 S.
- Puhlmann, H.; von Wilpert, K. (2011): Test und Entwicklung von Pedotransferfunktionen für Wasserretention und hydraulische Leitfähigkeit von Waldböden. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 12: 61–71