

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz	Heft 23 (2025)	S. 59–74	33 Fig. 15 Tab. + Anhang
urn:nbn:de:0041-2507141602056.368186821153			



Scopus Indexed Journal

**Waldökologie, Landschaftsforschung und
Naturschutz – *Forest Ecology, Landscape
Research and Nature Conservation***

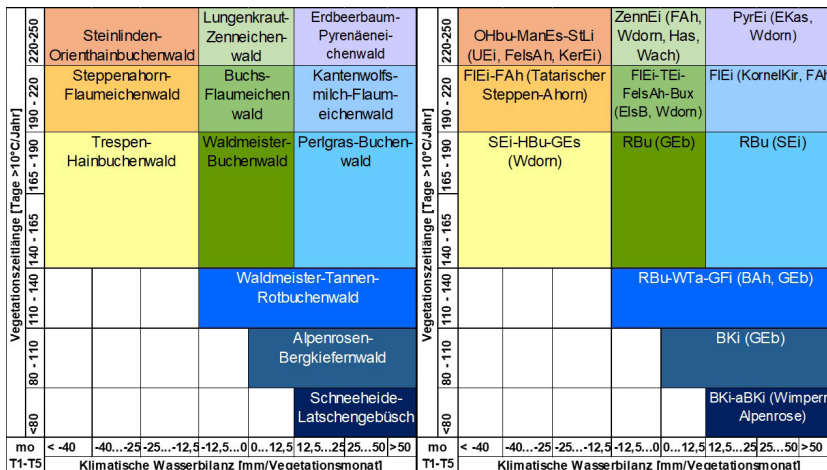
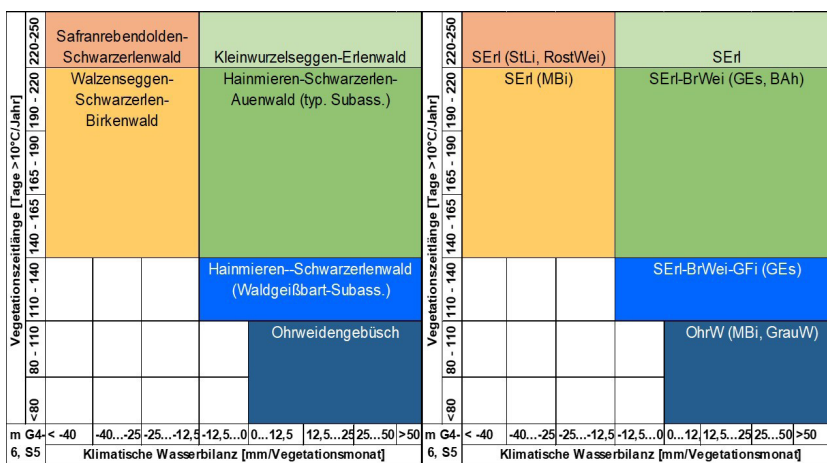
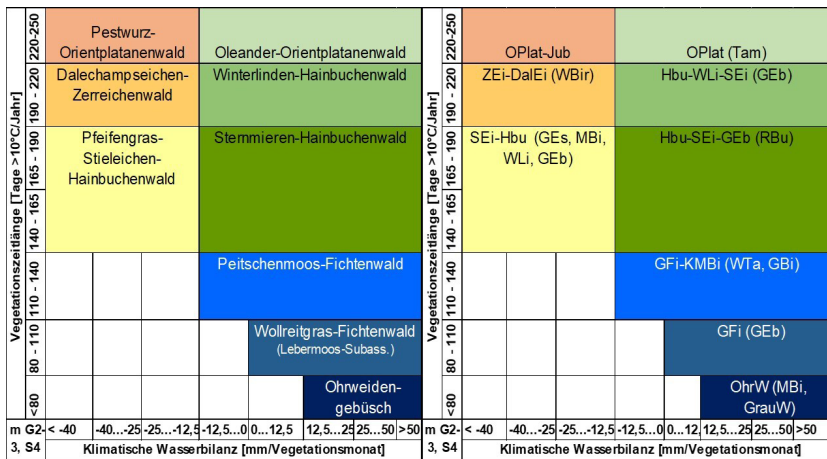
www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz

Leitwaldgesellschaften für den ökologischen Waldumbau in Deutschland unter den Bedingungen des Klimawandels

Target forest types for ecological forest conversion in Germany under the conditions of climate change

Angela Schlutow, Rainer Gemballa

Teil 2



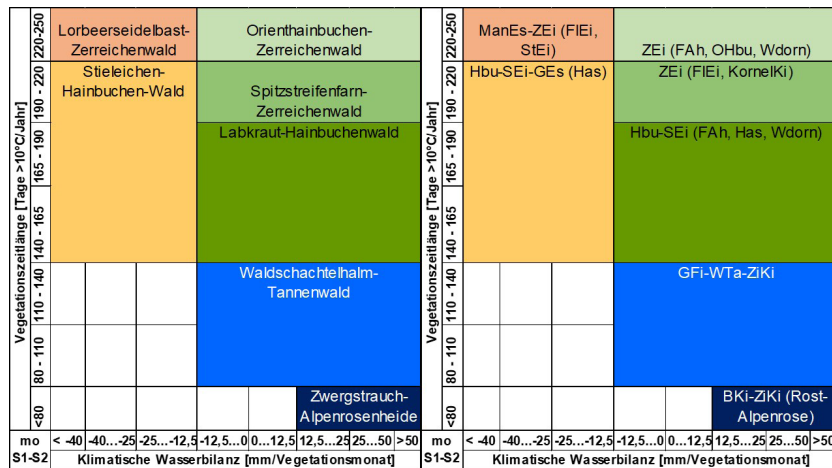


Abb. 20: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für meso-eutrophe Standorte, schwach staunass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 20: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for meso-eutrophic sites, slightly stagnant wet/alternately moist, more or less even.

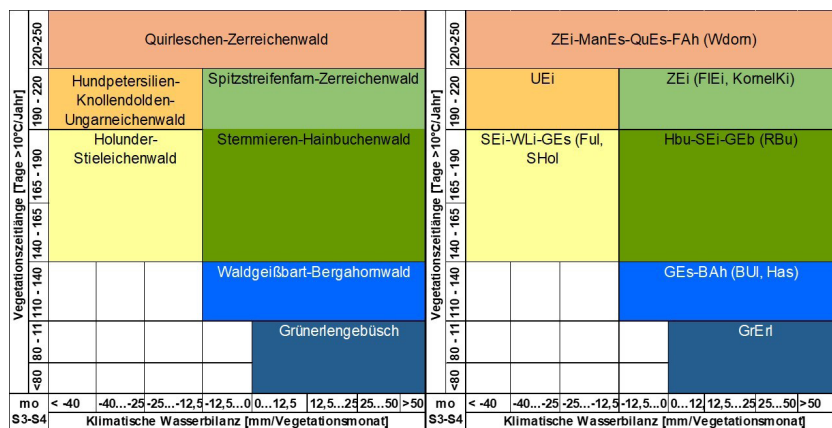


Abb. 21: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für meso-eutrophe Standorte, mittel bis stark staunass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 21: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for meso-eutrophic sites, moderately to heavily stagnant wet/alternately moist, more or less even.

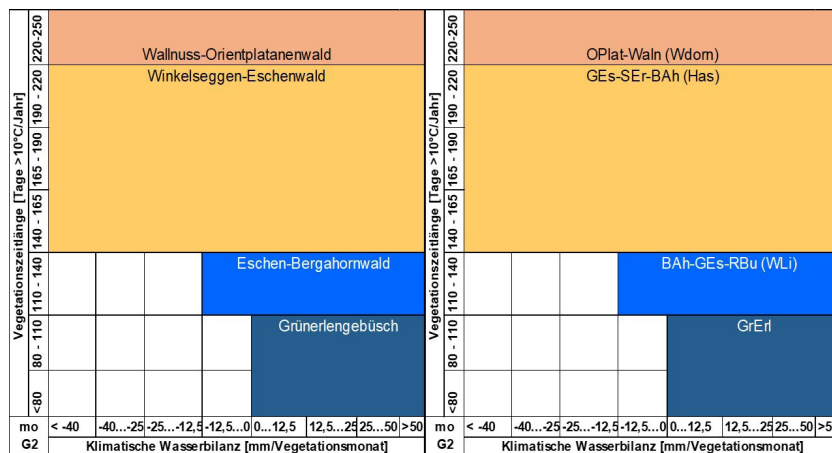


Abb. 22: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für meso-eutrophe Standorte mit sehr tiefem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 22: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for meso-eutrophic sites with very low groundwater levels, more or less even.

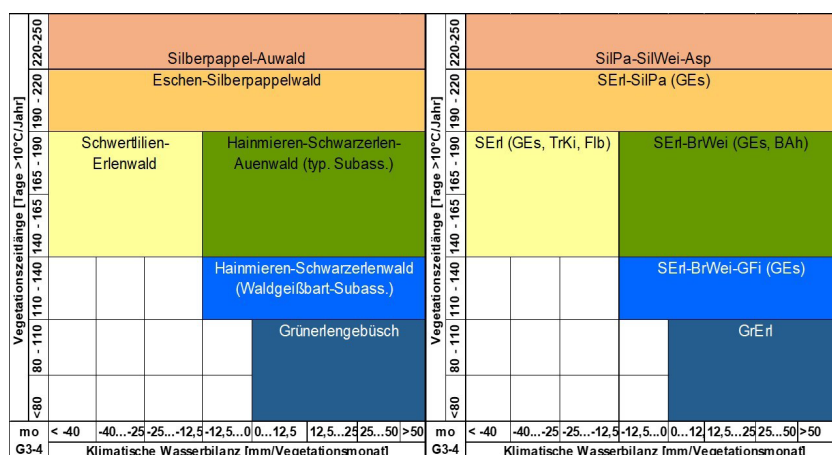


Abb. 23: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für meso-eutrophe Standorte mit mittlerem bis tiefem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 23: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for meso-eutrophic sites with medium to low groundwater levels, more or less even.

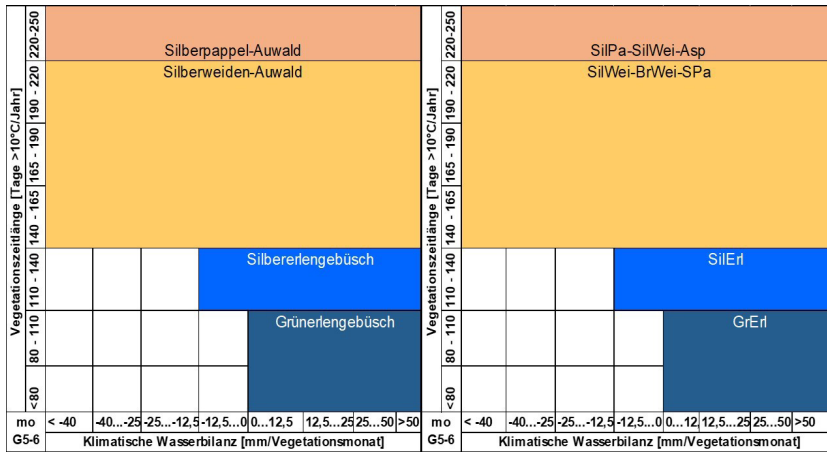


Abb. 24: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für meso-eutrophe Standorte mit flachem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 24: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for meso-eutrophic sites with shallow groundwater levels, more or less even.

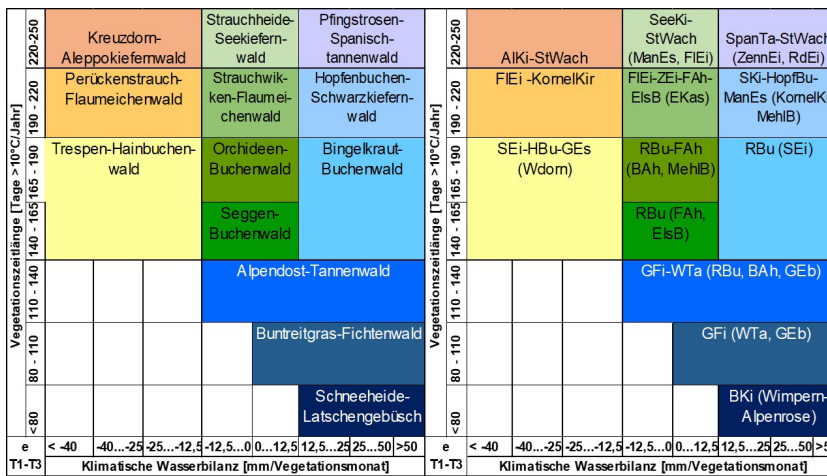


Abb. 25: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe terrestrische Standorte, trocken bis mäßig frisch, mehr oder weniger eben.

Fig. 25: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic terrestrial sites, dry to moderately fresh, more or less even.

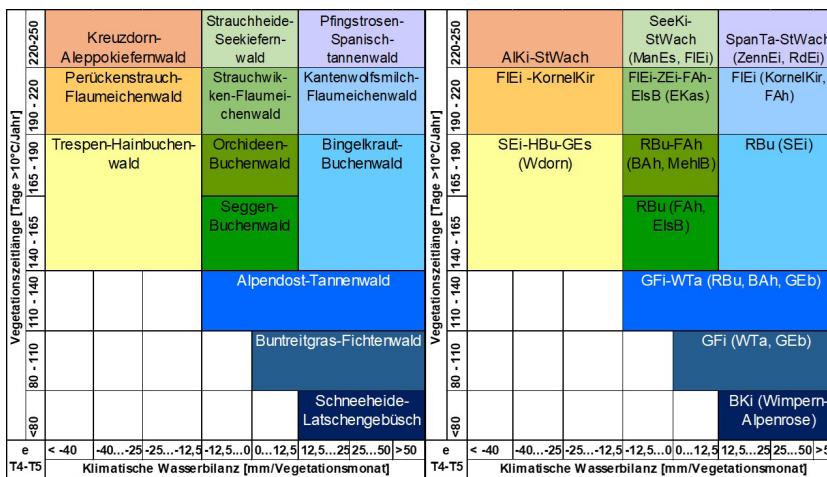


Abb. 26: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe terrestrische Standorte, frisch bis sehr frisch, mehr oder weniger eben.

Fig. 26: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic terrestrial sites, fresh to very fresh, more or less even.

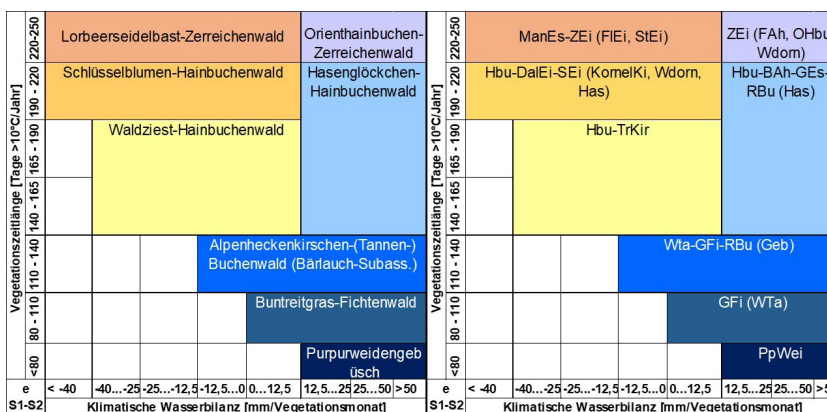


Abb. 27: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte, schwach stau-nass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 27: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites, slightly stagnant wet/alternately moist, more or less even.

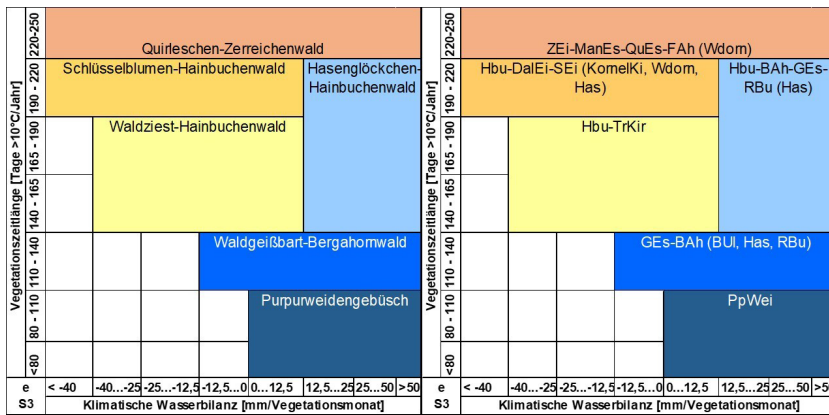


Abb. 28: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte, mäßig staunass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 28: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites, moderately stagnant wet/alternately moist, more or less even.

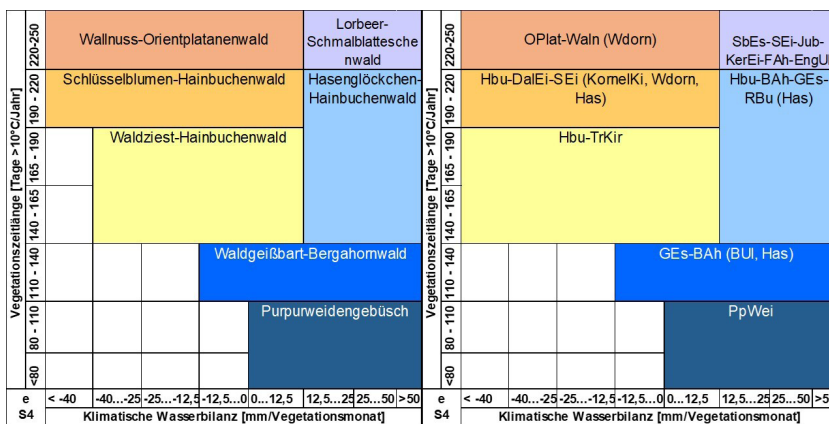


Abb. 29: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte, stark staunass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 29: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites, strongly stagnant wet/alternately moist, more or less even.

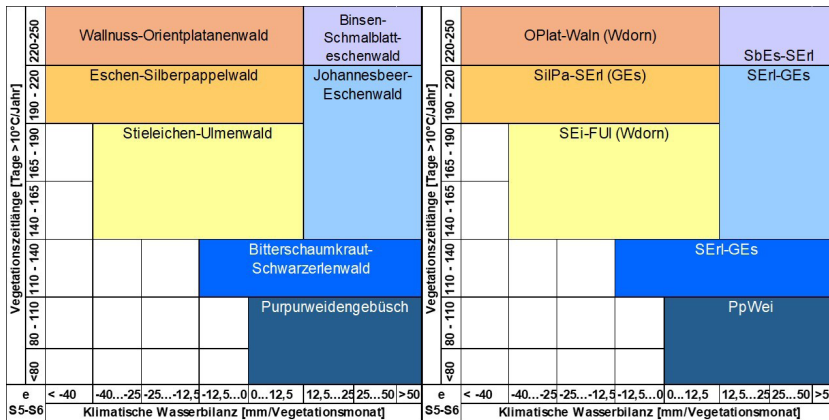


Abb. 30: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte, sehr stark bis äußerst stark staunass/wechselfeucht, mehr oder weniger eben.

Fig. 30: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites, very strongly to extremely strongly stagnant wet/alternately moist, more or less even.

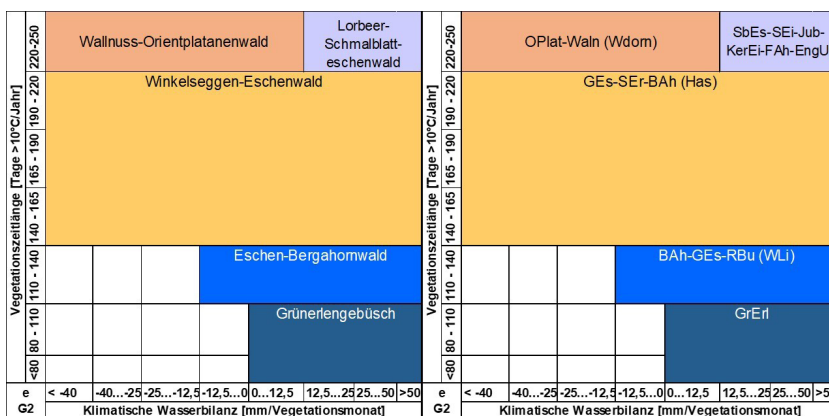


Abb. 31: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte mit sehr tiefem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 31: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites with very low groundwater levels, more or less even.

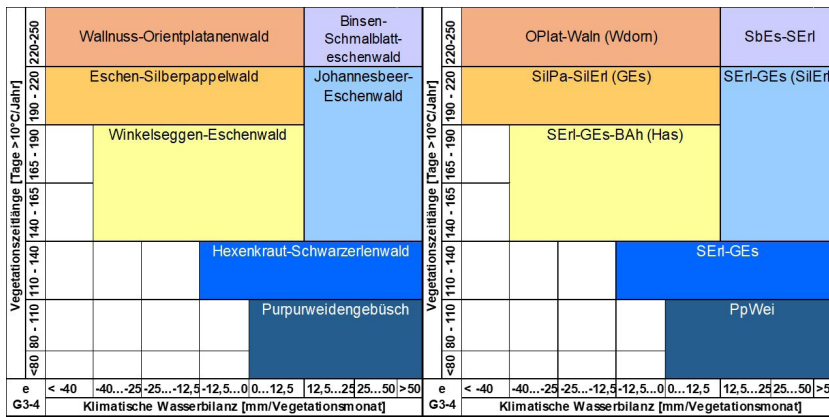


Abb. 32: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte mit tiefem bis mittlerem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 32: *Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites with low to medium groundwater levels, more or less even.*

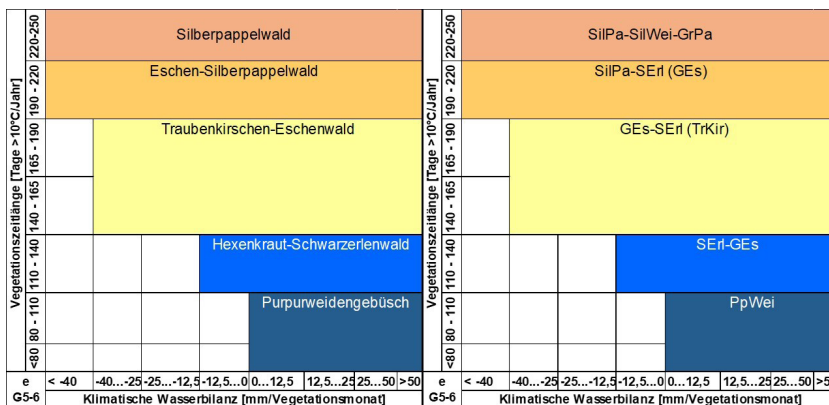


Abb. 33: Klimaklassen-Ökogramm der Leitwaldgesellschaften (links), der Haupt- und Mischbaumarten (sowie der Nebenbaumarten) (rechts) für eutrophe Standorte mit flachem Grundwasserstand, mehr oder weniger eben.

Fig. 33: Climate class ecogram of the target forest types (left), the main and mixed tree species (as well as the secondary tree species) (right) for eutrophic sites with shallow groundwater levels, more or less even.

4.5 Pionierbaumstrukturen für die Aufforstung von Nicht-Waldflächen

Für den Fall, dass eine Offenlandfläche aufgeforstet werden soll, ist die Aufforstung mit einigen Klimaxbaumarten meist nicht erfolgreich.

Hierbei handelt es sich i. d. R. um Flächen mit gestörter Bodenstruktur und verarmter Boden-Invertebratenfauna (SCHRADER 2016). Insbesondere Ackerflächen weisen nach Nutzungsaufgabe i. d. R. nur sehr geringe Humusgehalte auf. Der Pflughorizont ist meist arm an nützlichen Bodenorganismen, oft haben sich schwer durchwurzelbare Pflugsohlen gebildet. Die Oberbodenschicht ist untypisch hoch mit mineralischen Nährstoffen angereichert. Aber auch Waldflächen haben nach einem Waldbrand einen humusarmen Oberboden mit dezimierter Bodenfauna. Waldböden, bei denen das darüber befindliche Kronendach mehr oder weniger rasch durch Schadereignisse aufgelichtet wurde und die letztendlich völlig offen dem Sonnenlicht ausgesetzt waren, unterliegen oft einer schnellen Überschussdenitrifikation, so dass die Humusschicht zersetzt und die Nährstoffe schneller ausgewaschen als von der aufwachsenden Schlagflurvegetation aufgenommen werden können. Auch entsiegelte urbane Flächen, die bewaldet werden sollen, weisen zunächst keinen Humus und kein Bodenleben auf.

Eine Aufforstung dieser Flächen mit den Baumarten der Zielgesellschaft ist daher in vielen Fällen zunächst nicht sinnvoll. Es ist zu empfehlen, zuerst Pionierbaumarten anzupflanzen, die eine Revitalisierung und Humusanreicherung des Oberbodens befördern.

Diese Pionierbaumarten vertragen geringe Humusgehalte, erzeugen aber selbst schnell zersetzbare Blatt- bzw.

Nadelstreu. Sie bilden Wurzelgeflechte, die verdichtete Schichten durchdringen und aufbrechen. Sie bieten (vorübergehend) Schatten für lichtempfindliche Jungpflanzen der Zielbestockung in der Übergangsphase vom Vorwald zum Hauptwald.

Einige Pionierbaumarten sind aber auch gleichzeitig Haupt-, Misch- oder Nebenbaumarten der Zielgesellschaft. Allerdings ist ihr Anteil im Voranbau entsprechend höher und muss vor der späteren Unterpflanzung mit den noch fehlenden Baumarten der Zielbestockung entsprechend reduziert werden. Pionierbaumarten, die nicht Bestandteil der Zielbestockung sein sollen, werden in Abhängigkeit vom Lichtbedürfnis der nach ca. 25–30 Jahren nachzupflanzenden Zielbaumarten entweder sukzessive oder einmalig aus dem Bestand entfernt.

Einen Vorschlag für die Wahl einer Pionierbaumartenstruktur mit möglichst vielen Baumarten, die auch der Leitwaldgesellschaft im Klimax entsprechen und gleichzeitig an den Standort-/Klimatyp angepasst sind, enthält Tab. 15.

Tab. 15: Vorschlag für die Wahl einer Pionierbaumartenstruktur in Abhängigkeit von klimatischen und edaphischen Parameterklassen.

Tab. 15: Proposal for the selection of a pioneer tree species structure depending on climatic and edaphic parameter classes.

Nährkraft	Wasserhaushaltsstufe	Klimaklasse 6,7,15-17	Klimaklasse 23-27	Klimaklasse 31-32,41-42	Klimaklasse 33-37, 43-47	Klimaklasse 51-52	Klimaklasse 53-57	Klimaklasse 60-62	Klimaklasse 63-67
d	G4-G6	Berg-Kiefer (40 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Gem. Kiefer (60 %), Grau-Weide (10 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Gem. Kiefer (60 %), Grau-Weide (10 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)
e	G2	Grün-Erle (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Orient-Platane (70 %), Purpur-Weide (10 %)	Schmalblättr. Esche (70 %), Purpur-Weide (10 %)
e	G3, G4	Purpur-Weide (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (40 %), Hasel (10 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (40 %), Berg-Ahorn (20 %), Hasel (10 %)	Silber-Pappel (30 %), Gem. Esche (30 %), Hartriegel (25 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (40 %), Berg-Ahorn (20 %), Hasel (10 %)	Orient-Platane (70 %), Purpur-Weide (10 %)	Schmalblättr. Esche (70 %), Schwarz-Erle (10 %)
e	G5, G6	Purpur-Weide (70 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (30 %)	Schwarz-Erle (35 %), Gem. Esche (35 %), Traubenkirsche (10 %)	Schwarz-Erle (35 %), Gem. Esche (35 %), Traubenkirsche (10 %)	Silber-Pappel (30 %), Schwarz-Erle (30 %), Hartriegel (25 %)	Silber-Pappel (30 %), Schwarz-Erle (30 %), Hartriegel (25 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %), Aspe (5 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %), Aspe (5 %)
e	S1, S2	Purpur-Weide (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Stiel-Eiche (30 %), Aspe (30 %), Traubenkirsche (10 %), Hasel (10 %)	Aspe (30 %), Berg-Ahorn (30 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (20 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (5 %), Dalechamp-Eiche (30 %), Hasel (10 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (10 %), Berg-Ahorn (40 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (5 %)	Manna-Esche (40 %), Zerr-Eiche (20 %)	Zerr-Eiche (70 %), Feld-Ahorn (5 %)
e	S3	Purpur-Weide (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Stiel-Eiche (30 %), Aspe (30 %), Traubenkirsche (10 %), Hasel (10 %)	Aspe (30 %), Berg-Ahorn (30 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (20 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (5 %), Dalechamp-Eiche (30 %), Hasel (10 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (10 %), Berg-Ahorn (40 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (5 %)	Manna-Esche (40 %), Zerr-Eiche (20 %)	Zerr-Eiche (70 %), Feld-Ahorn (5 %)
e	S4	Purpur-Weide (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Stiel-Eiche (30 %), Aspe (30 %), Traubenkirsche (10 %), Hasel (10 %)	Aspe (30 %), Berg-Ahorn (30 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (20 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (5 %), Dalechamp-Eiche (30 %), Hasel (10 %)	Aspe (20 %), Stiel-Eiche (10 %), Berg-Ahorn (40 %), Gem. Esche (20 %), Hasel (5 %)	Zerr-Eiche (60 %), Manna-Esche (10 %), Quirl-Esche (5 %), Feld-Ahorn (5 %), Stein-Eiche (5 %)	Zerr-Eiche (60 %), Manna-Esche (10 %), Quirl-Esche (5 %), Feld-Ahorn (5 %), Stein-Eiche (5 %)
e	S5, S6	Purpur-Weide (70 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (30 %)	Stiel-Eiche (60 %), Gem. Esche (20 %), Hartriegel (25 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (40 %), Grau-Erle (5 %)	Silber-Pappel (30 %), Gem. Esche (30 %), Hartriegel (25 %)	Schwarz-Erle (40 %), Gem. Esche (40 %), Grau-Erle (5 %)	Orient-Platane (70 %), Purpur-Weide (10 %)	Schmalblättr. Esche (70 %), Schwarz-Erle (10 %)

Nährkraft	Wasserhaushaltsstufe	Klimaklasse 6,7,15-17	Klimaklasse 23-27	Klimaklasse 31-32,41-42	Klimaklasse 33-37, 43-47	Klimaklasse 51-52	Klimaklasse 53-57	Klimaklasse 60-62	Klimaklasse 63-67
e	T1-T3	Berg-Kiefer (40 %)	Eur. Lärche (70 %), Sal-Weide (20 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Berg-Ahorn (10 %), Eberesche (5 %)	Flaum-Eiche (60 %), Stiel-Eiche (20 %), Hasel (5 %)	Schwarz-Kiefer (70 %), Manna-Esche (10 %)	Aleppo-Kiefer (60 %)	See-Kiefer (60 %), Flaum-Eiche (5 %), Manna-Esche (5 %)
e	T4, T5	Berg-Kiefer (40 %)	Eur. Lärche (70 %), Sal-Weide (20 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %)	Aspe (30 %), Berg-Ahorn (30 %), Feld-Ahorn (20 %), Hasel (20 %)	Flaum-Eiche (60 %), Stiel-Eiche (20 %), Hasel (5 %)	Flaum-Eiche (60 %), Zerr-Eiche (20 %), Feld-Ahorn (5 %)	Aleppo-Kiefer (60 %)	See-Kiefer (60 %), Flaum-Eiche (5 %), Manna-Esche (5 %)
m	G2, G3, S4	Ohr-Weide (30 %), Grau-Weide (20 %), Moor-Birke (5 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Stiel-Eiche (40 %), Aspe (25 %), Gem. Esche (5 %), Eberesche (5 %)	Stiel-Eiche (65 %), Gem. Esche (5 %), Eberesche (5 %)	Zerr-Eiche (70 %), Dalechamp-Eiche (10 %), Hunds-Rose (5 %)	Aspe (80 %), Stiel-Eiche (15 %), Schwarz-Erle (5 %), Eberesche (5 %)	Orient-Platane (70 %), Purpur-Weide (10 %)	Orient-Platane (70 %), Tamariske (10 %)
m	G4-G6, S5	Ohr-Weide (30 %), Grau-Weide (20 %), Moor-Birke (5 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (30 %), Sal-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (80 %), Moor-Birke (5 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (30 %), Sal-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (80 %), Moor-Birke (5 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (30 %), Sal-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)
m	S1-S3	Ohr-Weide (30 %), Grau-Weide (20 %), Moor-Birke (5 %)	Zirbel-Kiefer (50 %), Sal-Weide (25 %)	Stiel-Eiche (65 %), Gem. Birke (15 %), Gem. Kiefer (5 %), Eberesche (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (35 %), Eberesche (5 %)	Zerr-Eiche (70 %), Dalechamp-Eiche (10 %), Hunds-Rose (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (35 %), Eberesche (5 %)	Ungarn-Eiche (55 %)	Gem. Kiefer (40 %), Flaum-Eiche (20 %)
m	T1-T4	Eur. Lärche (15 %), Zirbel-Kiefer (15 %), Berg-Kiefer (15 %)	Eur. Lärche (15 %), Zirbel-Kiefer (15 %), Berg-Kiefer (15 %), Sal-Weide (20 %)	Aspe (30 %), Gem. Kiefer (30 %), Stiel-Eiche (10 %), Gem. Birke (10 %), Gem. Birke (10 %), Eberesche (10 %)	Aspe (30 %), Stiel-Eiche (10 %), Gem. Birke (10 %), Feld-Ahorn (10 %), Eberesche (10 %)	Zerr-Eiche (70 %), Dalechamp-Eiche (10 %), Hunds-Rose (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Ungarn-Eiche (30 %), Feld-Ahorn (30 %)	Ungarn-Eiche (55 %)	Ungarn-Eiche (55 %)
mo	G2	Grün-Erle (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Orient-Platane (70 %), Purpur-Weide (10 %)	Schmalblättr. Esche (70 %), Purpur-Weide (10 %)
mo	G3, G4	Grün-Erle (70 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (30 %), Sal-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (70 %), Gem. Esche (10 %), Traubenkirsche (5 %), Grau-Weide (5 %)	Schwarz-Erle (60 %), Gem. Esche (20 %), Berg-Ahorn (5 %), Sal-Weide (5 %)	Silber-Pappel (30 %), Schwarz-Erle (30 %), Gem. Esche (20 %), Hartriegel (25 %)	Silber-Pappel (30 %), Schwarz-Erle (30 %), Gem. Esche (20 %), Hartriegel (25 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %)
mo	G5, G6	Grün-Erle (70 %)	Silber-Erle 30 %), Gem. Esche (30 %), Berg-Ahorn (5 %), Hartriegel (5 %)	Silber-Weide (30 %), Schwarz-Pappel (5 %), Bruch-Weide (20 %), Korb-Weide (5 %)	Silber-Weide (30 %), Schwarz-Pappel (5 %), Bruch-Weide (20 %), Korb-Weide (5 %)	Silber-Weide (30 %), Schwarz-Pappel (5 %), Bruch-Weide (20 %), Korb-Weide (5 %)	Silber-Weide (30 %), Schwarz-Pappel (5 %), Bruch-Weide (20 %), Korb-Weide (5 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %), Aspe (5 %)	Silber-Pappel (20 %), Silber-Weide (10 %), Grau-Pappel (10 %), Aspe (5 %)

Nährkraft	Wasserhaushaltsstufe	Klimaklasse 6,7,15-17	Klimaklasse 23-27	Klimaklasse 31-32,41-42	Klimaklasse 33-37, 43-47	Klimaklasse 51-52	Klimaklasse 53-57	Klimaklasse 60-62	Klimaklasse 63-67
mo	S0-S2	Berg-Kiefer (40 %), Zirbel-Kiefer (5 %), Eur. Lärche (25 %)	Zirbel-Kiefer (50 %), Sal-Weide (25 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Feld-Ahorn (10 %), Hasel (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %), Eberesche (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Flaum-Eiche (30 %), Vogelkirsche (30 %)	Manna-Esche (40 %), Zerr-Eiche (20 %)	Zerr-Eiche (70 %), Feld-Ahorn (5 %)
mo	S3, S4	Grün-Erle (70 %)	Gem. Esche (70 %), Berg-Ahorn (10 %), Hasel (10 %)	Stiel-Eiche (50 %), Gem. Esche (5 %), Feld-Ahorn (5 %), Traubenkirsche (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Feld-Ahorn (10 %), Hasel (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %), Eberesche (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Flaum-Eiche (30 %), Vogelkirsche (30 %)	Zerr-Eiche (60 %), Manna-Esche (10 %), Quirl-Esche (5 %), Feld-Ahorn (5 %), Stein-Eiche (5 %)	Zerr-Eiche (60 %), Manna-Esche (10 %), Quirl-Esche (5 %), Feld-Ahorn (5 %), Stein-Eiche (5 %)
mo	T1-T5	Berg-Kiefer (40 %), Eur. Lärche (25 %)	Berg-Kiefer (40 %), Eur. Lärche (25 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Esche (10 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Berg-Ahorn (10 %), Eberesche (5 %)	Flaum-Eiche (60 %), Feld-Ahorn (20 %), Steppen-Ahorn (5 %)	Flaum-Eiche (60 %), Feld-Ahorn (20 %), Felsen-Ahorn (5 %)	Manna-Esche (40 %), Ungarn-Eiche (20 %), Felsen-Ahorn (5 %), Kermes-Eiche (5 %), Stein-Eiche (5 %)	Zenn-Eiche (35 %), Pyrenäen-Eiche (40 %), Feld-Ahorn (5 %)
o	G3, G4	Ohr-Weide (30 %), Grau-Weide (20 %), Moor-Birke (5 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Gem. Kiefer (60 %), Grau-Weide (10 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Gem. Kiefer (60 %), Grau-Weide (10 %)	Moor-Birke (60 %), Grau-Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)	Schwarz-Erle (60 %), Rostrote Weide (10 %)
o	S1, S2	Berg-Kiefer (40 %), Zirbel-Kiefer (5 %), Eur. Lärche (25 %)	Zirbel-Kiefer (50 %), Sal-Weide (25 %)	Stiel-Eiche (50 %), Gem. Birke (10 %), Gem. Kiefer (5 %), Eberesche (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Kiefer (10 %)	Stiel-Eiche (50 %), Gem. Birke (10 %), Gem. Kiefer (5 %), Eberesche (5 %)	Aspe (50 %), Stiel-Eiche (30 %), Gem. Kiefer (10 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)
o	T3, T4	Berg-Kiefer (40 %), Zirbel-Kiefer (5 %), Eur. Lärche (25 %)	Zirbel-Kiefer (50 %), Sal-Weide (25 %)	Stiel-Eiche (50 %), Gem. Birke (5 %), Gem. Kiefer (15 %), Eberesche (5 %)	Aspe (25 %), Stiel-Eiche (40 %), Gem. Birke (5 %), Gem. Kiefer (5 %)	Stiel-Eiche (50 %), Gem. Birke (5 %), Gem. Kiefer (15 %), Eberesche (5 %)	Aspe (25 %), Stiel-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %), Gem. Kiefer (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)
o	T1, T2	Berg-Kiefer (40 %), Zirbel-Kiefer (5 %), Eur. Lärche (25 %)	Zirbel-Kiefer (50 %), Sal-Weide (25 %)	Gem. Kiefer (60 %), Gem. Birke (10 %)	Aspe (55 %), Gem. Birke (25 %), Gem. Kiefer (5 %)	Gem. Kiefer (60 %), Gem. Birke (10 %)	Aspe (55 %), Gem. Birke (25 %), Gem. Kiefer (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)	Zerr-Eiche (40 %), Gem. Birke (30 %)
om	T1-T4	Eur. Lärche (15 %), Zirbel-Kiefer (15 %), Berg-Kiefer (15 %)	Eur. Lärche (15 %), Zirbel-Kiefer (15 %), Berg-Kiefer (15 %), Sal-Weide (20 %)	Aspe (30 %), Gem. Kiefer (30 %), Stiel-Eiche (10 %), Gem. Birke (10 %), Gem. Birke (10 %), Eberesche (10 %)	Aspe (30 %), Stiel-Eiche (10 %), Gem. Birke (10 %), Feld-Ahorn (10 %), Eberesche (10 %)	Zerr-Eiche (70 %), Dalechamp-Eiche (10 %), Hunds-Rose (5 %)	Zerr-Eiche (40 %), Ungarn-Eiche (30 %), Feld-Ahorn (30 %)	Ungarn-Eiche (55 %)	Ungarn-Eiche (55 %)

5 Diskussion

5.1 Vergleich der BERN-Methodik

Die vorliegend angewandte Methode zur forstökologischen Klimagliederung lässt sich aus dem Zeigerwertkonzept für pflanzenökologische Klimafaktoren nach ELLENBERG et al. (2001) wie folgt herleiten und unter dem Aspekt des Klimawandels modifizieren:

ELLENBERG et al. (2001) definieren als vegetationsrelevante Klimafaktoren:

- die Temperaturzahl: Vorkommen im Wärmegefälle
- die Kontinentalitätszahl: Vorkommen im Kontinentalitätsgefälle
- die Lichtzahl: Vorkommen in Beziehung zur relativen Beleuchtungsstärke

Temperatur: Im Zuge des Klimawandels werden Pflanzen, die früher nach Ellenberg Zeigerpflanzen der warmen Tieflagen waren, in die kollinen und submontanen Regionen einwandern; submediterrane Arten werden in das temperate Tiefland vordringen usw. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Temperaturabhängigkeit der Pflanzen von der Ellenbergschen Definition mit Bezug auf Höhenstufen zu lösen. Der Einfluss der Temperatur ließ sich wie in den Abschnitten 2.2.2 und 3.1 erläutert dynamisieren anhand der Vegetationszeitlänge als Klassifizierungsparameter, da dieser Parameter mehr oder weniger alle Aspekte des Temperatureinflusses auf die phänologischen Entwicklungsphasen der Pflanzen abbildet und keinen starren regionalen Bezug mehr beinhaltet. Zugleich besteht eine hochsignifikante Korrelation zwischen jahresdurchschnittlicher Tagesmitteltemperatur und Vegetationszeitlänge.

Für 24 deutsche Level-II-Standorte sind sowohl Messwerte der Vegetationszeitlänge ($d(> 10\text{ °C})/a$) als auch die Tagesmitteltemperaturen im langjährigen Durchschnitt 1961–1990 (BMELF 1997) dokumentiert. Zieht man von der Vegetationszeit die Tage $> 30\text{ °C}$ (aus PIK 2025) aus derselben Zeitreihe ab, erhält man folgende empirische Funktion (SCHLUTOW et NIEBUHR, im Druck):

$$VZ = 15,851 \cdot T - 5,3915 \quad (r^2 = 0,8; p < 0,001).$$

Der statistische Vergleich von Ellenbergschen Temperaturzahlen und den Mittelwerten der Spannen der Vegetationszeitlänge von 1925 Pflanzenarten der BERN-Datenbank ergab einen Korrelationskoeffizienten von 0,74 ($p < 0,001$) mit einem Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,95$.

Kontinentalität: Im Zuge des Klimawandels werden sich auch die natürlichen Verbreitungsschwerpunkte von Pflanzen in Abhängigkeit von ihrer Resilienz gegenüber Lufttrockenheit verschieben, so dass die Ellenbergsche Nomenklatur für die Zuordnung von Zeigerwerten zu Regionen zwischen Atlantikküste und Inner-Eurasien in Zukunft immer schwieriger anwendbar sein wird. Als ein geographisch unabhängiger Prädiktor wird daher die Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit als Parameter zur Kennzeichnung der Präferenz von Arten und Gesellschaften hinsichtlich der Kontinentalität angewendet. Im Referenzzeitraum 1951–1980 bestand zudem eine enge Korrelation zwischen dem hygrischen Kontinentalitätsindex nach DeMartonne und

der Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit. Aus dem statistischen Vergleich von Kontinentalitätsindex nach DeMartonne und der Mittleren Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit (zur Zeit der Vegetationsaufnahmen) an 13.076 Standorten ergab einen Korrelationskoeffizienten von $r^2 = 0,98$ ($p < 0,001$). Die statistisch ermittelte Funktion zwischen Klimatischer Wasserbilanz pro Vegetationsmonat ($KWB_{veg-Mon}$) und DeMartonne-Index (DeM) ergab folgende empirische Regressionsgleichung (SCHLUTOW et NIEBUHR, im Druck): $KWB_{veg-Mon} = (58,104 \text{ DeM} - 910,318)/12$.

Lichtzahl: Die Lichtzahl nach ELLENBERG et al. (2001) bezieht sich auf die relative Beleuchtungsstärke auf der Blattfläche einer Pflanze in Abhängigkeit von der Übersattung durch größere Pflanzen, untergeordnet auch auf die Exposition und Inklination eines Standortes zur Sonne. Breitengrad, Sonnenscheinwahrscheinlichkeit und Vegetationszeitlänge spielen hierbei keine Rolle, so dass es keinen direkten Bezug zu den hier getroffenen Aussagen zur Strahlungsintensität gibt.

Das Projekt "Natürliche Vegetation im Klimawandel – Änderung der Potenziale" der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (HINZE et al. 2024) basiert auf demselben Modellansatz wie die hier vorgestellten Auswertungen und vorangegangene Untersuchungsergebnisse zur Ableitung von Klimagliederung und Leitwaldgesellschaften für den Freistaat Sachsen (SCHLUTOW et al. 2008, 2009 a, b, 2014, SCHLUTOW et GEMBALLA, im Druck). Somit wird die vorliegend angewandte Methodik anerkannt.

5.2 Unsicherheiten

Die mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Vorkommen von Pflanzengesellschaften und ihren Anforderungen an die Umweltbedingungen ist ein Hilfsmittel zum besseren Verständnis ökologischer Zusammenhänge. Doch die Ergebnisse sind mit Vorsicht zu bewerten. Die Modellierung möglicher zukünftiger Gesellschaften als Reaktion auf den Klimawandel kann nur so realistisch sein, wie die Klimaprognosen realistisch sind. Sobald neue Erkenntnisse oder veränderte Rahmenbedingungen zu verfeinerten Klimamodellen führen, muss auch die Modellierung mit BERN aktualisiert werden. Ebenso müssen auch zu den jeweiligen Klima-Standortskombinationen passende Referenz-Vegetationsaufnahmen verfügbar sein.

Die sich aus dem BERN-Modell ergebenden Bandbreiten der möglichen Existenz von Waldgesellschaften unter den Bedingungen des Klimawandels können den Förstern vor Ort, die das Ziel verfolgen, naturnahe Wälder zu etablieren, entsprechende Anhaltspunkte zur Baumartenwahl und deren Mischungsverhältnis geben. Wie und mit welchen forstlichen Methoden sie dies vor Ort erreichen, ist eine andere Frage, die nur sie beantworten können.

Natürlich kann das BERN-Modell eine kritische Interpretation der Ergebnisse nicht ersetzen, sondern nur den Entwicklungstrend für weitere Planungsansätze liefern. So ist es zum Beispiel manchmal notwendig, zwischen mehreren modellierten möglichen Gesellschaften zu wählen und hierfür Kriterien zu priorisieren, die ortskonkret eine Rolle spielen, aber nicht verallgemeinerungsrelevant sind.

Eine Schwierigkeit bei der Zuordnung von pannonischen und pontischen Waldgesellschaften auf Standorte in Deutschland, die zukünftig ein vergleichbares Klima aufweisen werden,

bestand darin, dass in Südosteuropa oligotrophe oder dystrophe Standorte weitestgehend fehlen. So ist es nicht gelungen, Referenz-Vegetationsaufnahmen für oligotrophe Moorwälder aus dem subkontinental-meridionalen Raum in der phytosoziologischen Literatur zu finden.

Des Weiteren ergab sich folgendes Problem bei der Zuordnung von forstlichen Standortsformen nach BENNING et al. (2015) zu den Referenzprofilen der BÜK1000N: Hätte man nur die Referenzprofile der Nutzungsart Wald für die Zuordnung in Betracht gezogen, wie es für die Aufgabenstellung eigentlich sinnvoll gewesen wäre, hätte man viele, insbesondere hydromorphe forstliche Standortsformen nicht zuordnen können. Deshalb wurden auch Referenzprofile anderer Nutzungsformen mit einbezogen, sofern sie keine nutzungsbedingten Besonderheiten (z. B. Ap-, Ae-Horizonte) aufwiesen.

5.3 Fazit

Die vorgestellten Leitwaldgesellschaften bieten eine fundierte Grundlage für den klimaresilienten Waldumbau. Methodische Einschränkungen ergeben sich aus Unsicherheiten in historischen Klimadaten sowie Modellannahmen zur Artenverbreitung. Die BERN-Datenbank liefert dennoch robuste ökologische Indikatoren. Für die Praxis empfiehlt sich eine flexible Anwendung unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen für die forstliche Praxis

Die Auswahl von Leitwaldgesellschaften für den klimaresilienten naturnahen Waldumbau in Deutschland orientierte sich in diesem Beitrag an den Standortbedingungen und ihrer Waldvegetation in europäischen Regionen südlich von Deutschland. Dabei haben sich als relevante Standortparameter für die Klassifizierung von forstlichen Standortsformen neben den üblichen Bodenparametern Nährkraft und Bodenwasserhaushalt die klimaökologischen Parameter Vegetationszeitlänge und Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode als zielführend bewährt (vgl. Kap. 3). Diese beiden Parameter bilden den Rahmen für eine dynamische Klimagliederung in Deutschland unter Berücksichtigung des Klimawandels.

Die Vorstellung von 147 Leitwaldgesellschaften mit den Standortparameter-Spannen im idealtypischen Referenzzustand (Anhang 1, siehe online) bietet eine Hilfestellung bei der Planung. Da in der Regel mehrere Leitwaldgesellschaften mehr oder weniger gut an eine forstliche Standortsform angepasst sind, kann die Auswahl anhand einer individuellen Alternativenprüfung verfeinert werden (s. Kap. 4.1.2).

Die abgebildeten Verteilungen von Leitwaldgruppen in Deutschland (Abb. 6 und 7) geben eine grobe regionale Orientierung. Insbesondere Abbildung 7 beruht jedoch auf einem Klimaszenarium (RCP 8.5), das zwar aktuell wahrscheinlich aussieht, jedoch nicht zwingend eintreffen muss. Auch können standörtliche Besonderheiten mehr oder weniger deutlich von der Regionalisierung im Maßstab der Bodenkarte 1:200.000 abweichen. Deshalb wird in Kap. 4.4 ein weiteres Hilfsmittel in Form von Ökogrammen für 25 verschiedene forstliche Standortsformen zur Verfügung gestellt.

Durch Voranbau von Pionierwaldgesellschaften, deren Baumarten extrem weite klimaökologische Nischen aufweisen und teilweise – soweit möglich – auch bereits der korrespondierenden Leitwaldgesellschaft angehören, können die Entwicklungs- und Reaktionsmöglichkeiten auf möglichen Standort- und Klimawandel geschaffen werden. Dann kann schrittweise der Einbau von Klimaxarten in der typischen Struktur einer naturnahen Waldgesellschaft aus Regionen erfolgen, in denen seit Jahrhunderten das Klima herrschte, das wir zukünftig in den entsprechenden Regionen Deutschlands zu erwarten haben.

Abkürzungsverzeichnis:

BERN	Bioindication for Ecosystem Regeneration towards Natural conditions (Bioindikative Ermittlung des Regenerierungspotenzials naturnaher Ökosysteme)
PAR	photosynthetically active radiation (photosynthetisch aktive Strahlung)
LWG	Leitwaldgesellschaft
BÜK1000N	nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte Deutschlands 1:1 Mio
GWFA	Grundwasser-Flur-Abstand (in dm unter Oberfläche)
uGOF	unter Geländeoberfläche
MiHü	Mittelgebirge/Hügelland der ostdeutschen Länder
Tiefl.	nordostdeutsche Tiefebene
Ggü.	Gegenüber

Glossar

Leitwaldgesellschaft	Idealtypische Klimaxwaldgesellschaft, die evolutionär an die gegebenen Standort- und Klimaverhältnisse angepasst ist. Sie hat ein dynamisch-stabiles Konkurrenz-Gleichgewicht der Populationen untereinander und zu ihrer vergesellschafteten Fauna ausgeprägt und kann dieses bei Störungen immer wieder selbst regenerieren.
Klimaxwald	Schlusswaldgesellschaft in einem relativ stabilen Endzustand im Artenspektrum der Vegetation, die sich im Laufe der Sukzession an einem Standort herausbildet.

Vorwald,
Pionierbaumart

Auf bisher baumfreien Flächen, insbesondere auf ehemaligen Ackerflächen, dient ein Vorwald aus Pionierbaumarten der Vorbereitung, insbesondere der Humusanreicherung, Tiefenlockerung und dem Nährstoffausgleich. Geeignete Pionierbaumarten haben eine breite ökologische Amplitude, sie vertragen Rohböden und volle Lichteinstrahlung.

Klimatische
Wasserbilanz

Die Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode bezeichnet den Anteil des Niederschlages, der nicht durch Verdunstung verloren geht, sondern für das Pflanzenwachstum potenziell zur Verfügung steht. Sie ergibt sich aus der Differenz von Niederschlagssumme minus Verdunstung in Abhängigkeit von Temperatur und Globalstrahlung in der Vegetationszeit.

Vegetationszeitlänge

Unter Vegetationszeit wird der Zeitraum verstanden, in dem Photosynthese und somit Biomasseproduktion stattfindet; in diesem Zeitraum wachsen, blühen und fruchten Pflanzen. Sie beginnt und endet mit den ersten und letzten Tagen im Jahr, die eine Tagesmitteltemperatur von mindestens 10 °C (verallgemeinerter Näherungswert) ausweisen.

PAR-Strahlung,
Solarstrahlung

Für Pflanzen nutzbare Sonnenenergie (photosynthetically active radiation - PAR), gemessen als Summe der Lichtenergie in der Vegetationszeit.

RCP 8.5

Repräsentativer Konzentrationspfad (Representative Concentration Pathways - RCPs) für die Entwicklung der Klimaparameter bei einer Erhöhung der Treibhausgaskonzentration auf 1.370 ppm CO₂-Äquivalente im Jahr 2100 und einem Strahlungsantrieb von 8,5 W/m².

Ökologische Nische
einer Art

Artsspezifischer mehrdimensionaler Raum von Umweltfaktoren, in der eine Art als Teil einer Lebensgemeinschaft existiert, funktioniert und sich fortpflanzen kann. Er setzt sich aus den Spannen der einzelnen relevanten Umweltparameter zusammen.

Literatur

- ACHERMANN, B., BOBBINK, R. (eds.) (2003): Empirical Critical Loads for Nitrogen. Proceedings of the Expert workshop in Berne 11-13 November 2002. SAEFL Environmental Documentation **164**: 305-314.
- AG BODEN – ARBEITSGRUPPE BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchh., Stuttgart: 438 S.
- ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG (Hsg.) (2016): Forstliche Standortaufnahme - Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen zur forstlichen Standortaufnahme. 7. Auflage. IHW-Verlag, Eching bei München: 400 S.
- BALLA, S., UHL, R., SCHLUTOW, A., LORENTZ, H., FÖRSTER, M., BECKER, C., SCHEUSCHNER, TH., KIEBEL, A., HERZOG, W., DÜRING, I., LÜTTMANN, J., MÜLLER-PFANNENSTIEL, K. (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Endbericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft **1099**, BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn: 362 S.
- BENNING, R., DANIGEL, J., PROFFT, I., PETZOLD, R. (2015): Dokumentation für die Ableitung von Bodendaten, „Waldproduktivität – Kohlenstoffspeicherung – Klimawandel“, Modul 1, „Zusammenstellung und Harmonisierung der Bodendaten“, Staatsbetrieb Sachsenforst Graupa und ThüringenForst AöR Gotha: 37 S. https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00022249/doku/doku_Bodenprofil_01_AnleitungDatenbereitstellung.pdf
- BGR (BUNDESANSTALT FÜR GEOLOGIE UND ROHSTOFFE) (Hrsg.) (2014): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BÜK1000N) für Deutschland (Wald, Grünland, Acker). https://www.bgrbund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUK1000/Nutz_BUEK_nutz_buek_nodehtml
- BGR (BUNDESANSTALT FÜR GEOLOGIE UND ROHSTOFFE) (Hrsg.) (2024): Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK200). <https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen-laufend/BUK200/BUK200.html>
- BIGLER, C., BUGMANN, H. (2018): Climate-induced shifts in leaf unfolding and frost risk of European trees and shrubs. *Sci Rep* 8, 9865. Springer Nature Berlin: 10 S. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27893-1>
- BMELF (Hrsg.) (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald – Level II – erste Ergebnisse. Schriftenreihe des BMELF Bonn: 148 S.
- BOLTE, A., EISENHÄUER, D.-R., EHRHART, H.-P., GROSS, J., HANEWINKE, M., KÖLLING, C., PROFFT, I., ROHDE, M., RÖHE, P., AMERELLER, K. (2009): Klimawandel und Forstwirtschaft – Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer. *Landbauforschung* **59**(4): 269-278.
- BORHIDI, A. (2003): Hungarian plant communities. Akadémiai Kiadó Budapest: 610S.
- BORHIDI, A. (1967): Die geobotanischen Verhältnisse der Eichen-Hainbuchenwälder Südosteuropas [The geobotanical conditions of the oak-hornbeam forests of south-eastern Europe]. *Feddes Repert.* **77**: 296-316.

- BRAUN-BLANQUET, J. (1928): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Berlin: 330 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl., Springer, Wien, New York: 865 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1979): Fitosociología. Blume, Madrid: 820 S.
- BRÉDA, N., GRANIER, A. (1996): Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Annals of Forest Science* **53** (2-3): 521-536.
- BRUNHOLD, C., RÜEGSEGER, A., BRÄNDLE, R. (1996): Stress bei Pflanzen. UTB, Stuttgart: 407 S.
- BUND (BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ) (Hrsg.) (2024): Waldsterben 2.0. Sonderausgabe der Umweltzeitung für Berlin und Brandenburg vom Mai 2024. <https://www.bund-brandenburg.de/service/meldungen/detail/news/waldsterben-20/>
- BURROWS, C.J. (1990): Processes of vegetation change. Unwin Hyman Press, London: 551 S.
- CAFFARRA, A., DONNELLY, A. (2010): The ecological significance of phenology in four different tree species: effects of light and temperature on bud burst. *International Journal of Biometeorology* **55**: 711-721.
- CALLAWAY, R.M. (1995): Positive interactions among plants. *Bot. Rev.* **61**: 306-349.
- CHMIELEWSKI, F.-M., RÖTZER, T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* **108**: 101-112.
- CHOUARD, P. (1924): Monographies phytosociologiques. I. La région de Brigueil l'Ainé (Confolentais). *Bull. Soc. Bot. Fra.* **71**: 1130-1158.
- CHRISTIANSEN, W. (1927): Die Aussendeichsvegetation von Schleswig-Holstein mit besonderer Berücksichtigung von Föhr. *Föhrer Heimatbücher* **16**: 1-29.
- CHUINE, I. (2000): A unified model for budburst of trees. *Journal of Theoretical Biology* **207**: 337-347.
- CHUINE, I., COUR, P. (1999): Climatic determinants of budburst seasonality in four temperate-zone tree species. *New Phytology* **143**: 339-349.
- CHYTRÝ, M. (ed.) (2007): Vegetace České republiky. 1. Travninná a keříčková vegetace. *Academiabooks*, Prag: 528 S.
- CHYTRÝ, M. (ed.) (2009): Vegetace České republiky. 2. Ruderální, plevelová, skalní a suťová vegetace. *Academiabooks*, Prag: 524 S.
- CHYTRÝ, M. (ed.) (2011): Vegetace České republiky. 3. Vodní a mokřadní vegetace. *Academiabooks*, Prag: 828 S.
- CHYTRÝ, M. (ed.) (2013): Vegetace České republiky. 4., Lesní a křovinná vegetace. *Academiabooks*, Prag: 551 S.
- DÄSSLER H.G. (1991): Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. *Gustav Fischer*, Jena: 266 S.
- DE VRIES, W., KROS, J., REINDS, G.J., WAMELINK, W., MOL, J., VAN DOBBEN, H., BOBBINK, R., EMMETT, B., SMART, S., EVANS, C., SCHLUTOW, A., KRAFT, P., BELYAZID, S., SVERDRUP, H.U., VAN HINSBERG, A., POSCH, M., HETTELINGH, J.-P. (2007): Developments in modelling critical nitrogen loads for terrestrial ecosystems in Europe. Wageningen, the Netherlands, Alterra Green World Research, Report 1382, Wageningen: 206 S.
- DEHNER, U., RENGGER, M., BRÄUNIG, A., LAMPARTER, A., BAURIEGEL, A., BURBAUM, B., HARTMANN, K.-J., HENNINGS, V., IDLER, F., KRONE, F., MARTIN, W., MEYER, K., WALDMANN, F. (2015): Neue Kennwerte für die Wasserbindung in Böden – Ergebnisse der Abstimmung zwischen dem Personenkreis Wasserhaushaltstabellen der Ad-hoc-AG Boden und dem DWA. – *Berichte der DBG. Kom. V*, München: 14 S. https://eprints.dbges.de/1160/1/Neue_Kennwerte_f%C3%BCr_die_Wasserbindung_in_Böden_DBG-Tagung_2015.pdf
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Ulmer Verlag, Stuttgart: 683 S.
- DIMPKE, P. (2015): Spätfrostschäden – erkennen und vermeiden. *Merkbl. Bayr. Landesanst. Wald und Forstw.* **31**. *Waldwissen.net LWF* https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb31_spaetfrostschaden.pdf
- DONITA, N., BANDIU, C., BIRIS, I.A., GANCZ, V., APOSTOL, J., MARCU, C. (2008): Harta forestieră a României pe unități ecosistemice, scara 1:500.000. – Editura Silvică, București: 1 Karte.
- ELLENBERG, H., KLÖTZLI, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Eidgenöss. Anst. f. d. forstl. Versuchsw.* **48** (4): 494-930.
- ELLENBERG, H., LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart: 1334 S.
- ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. (2001): Zeigerwerte der Pflanzen von Mitteleuropa. 3. Auflage. Verlag Erich Goltze, Göttingen: 262 S.
- EUROPEAN SOIL DATA CENTRE (ESDAC) (2020): JRC support to the European Joint Programme for soil (EJP SOIL) Panagos, P., Jones, A., Van Liedekerke, M., Orgiazzi, A., Lugato, E., Montanarella, L. 2020 EUR 30450 EN Datasets, technical advice and scientific guidance. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/u890/_Pubs/EUR30450.pdf
- FRANKE, J. (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2024a): Rasterdatensätze von Klimaparametern der Zeiträume 1961–2020 und 2051–2080. unveröffentlicht
- FRANKE, J. (2024b): Erläuterung zu den Datensätzen von Klimaparametern der Zeiträume 1961–2020 und 2051–2080 (per E-mail vom 6.6.2024)
- FRISCHBIER, N., PROFFT, I. (2010): Grundlagen zur Ausweisung klimawandelangepasster Bestandeszieltypen für Thüringen. *Mitteilungen der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Forst* **30**: 21-34.
- FVA (FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG) (2021): Alternative Baumarten im Klimawandel. Eine Stoffsammlung. Artensteckbriefe 2.0. https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/sonstiges/2021_fva_artensteckbriefe.pdf
- GAUER, J., FEGER, K.-H., SCHWÄRZEL, K. (2011): Erfassung und Bewertung des Wasserhaushaltes von Waldstandorten in der forstlichen Standortskartierung: Gegenwärtiger Stand und künftige Anforderungen. *Waldökol., Landschaftsforsch. und Natursch.* **12**: 7-16.
- GEMBALLA, R., SCHLUTOW, A. (2007): Überarbeitung der Forstlichen Klimagliederung Sachsens. *Klimawandel und Forstwirtschaft. AFZ/Der Wald* **62** (15): 822-826.
- GRANHUS, A., FLØGISTAD, I. S., SØGAARD, G. (2009): Bud burst timing in *Picea abies* as affected by temperature during dormancy induction and mild spells during chilling. *Tree Physiology* **29**: 497-503.
- HÄNNINEN, H. (1995): Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions: an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology (*Pinus sylvestris*). *Canadian Journal of Botany* **73** (2): 183-199.
- HARTMANN, F.-K., JAHN, G. (1967): Waldgesellschaften des mitteleuropäischen Gebirgsraumes nördlich der Alpen. *Gustav Fischer Verlag*, Jena: 636 S.

- HEINZE, W., SCHREIBER, D. (1984): Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft* **75**: 11-56.
- HINZE, J., ALBRECHT, A., MICHIELS, H.G. (2023). Climate-Adapted Potential Vegetation - A European Multiclass Model Estimating the Future Potential of Natural Vegetation. *Forests* **14** (2): 239.
- HLNUG (HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE) (2024): Klimaresiliente Baumarten finden. Online-Portal: <https://www.hlnug.de/stadtgruen-im-klimawandel/klimaresiliente-baumarten-finden>
- HOFMANN, G., POMMER, U. (2004): Der klimaplastische Wald – Waldbestandesstrukturen mit Freiheitsgraden auf dem Weg in die Waldzukunft. Eberswalde. Nur online: https://waldvegetationskunde.de/pdf/klimapl_wandel.pdf
- HORVAT, I., GLAVAC, V., ELLENBERG, H. (1974): *Vegetation Südosteuropas*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 768 S.
- ICP FORESTS (2014): Level II-Programm, part of the International Co-operative Programme on the Assessment of Air Pollution Effects on Forests under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). Online-Portal: <https://www.thuenende/en/fachinstitute/waldoekosysteme/projekte/waldoekologie/projekte-intensivmonitoring/level-ii>
- JOINT RESEARCH CENTRE (1999): Eurosoil Metadata: Soil Geographical Data Base of Europe v.3.2.8.0., Ispra, Italy. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soils-geographical-database-europe>
- JULVE, P. (1993): Synopsis phytosociologique de la France (communautés de plantes vasculaires). *Lejeunia*, N.S. **140**: 1-160.
- JULVE, P. (2024): eVeg - une base de données pour les végétations d'Europe. web interface URL. <https://e-veg.net/>
- KÖHN, D., WELPELO, C., GÜNTHER, A., JURASINSKI, G. (2021): Drainage ditches contribute considerably to the CH₄ budget of a drained and a rewetted temperate fen. *Wetlands* **41**: 1-15
- KONOPATSKY, A. (2012): Das Wasser macht's – Substratfeuchte in der Standortsgliederung. Erste Skalierungs- und Bewertungsansätze in Brandenburg. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) des Landes Brandenburg. Landesbetrieb Forst Brandenburg (Hrsg.): Wissenstransfer in die Praxis. Beiträge zum 7. Winterkolloquium am 23. Februar 2012 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe **49**: 73-82.
- KOPP, D. (2004): Vorschlag für eine Rahmenklassifikation der Waldstandorte Deutschlands nach Ökotoptypen. *Waldökologie online (AFSV)* **1**: 11-24.
- KÖSTLER, J.N., BRÜCKNER, E., BIBELRIETHER, H. (1968): *Die Wurzeln der Waldbäume*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 284 S.
- KRANENBURG, R., SCHAAP, M., COENEN, P., THÜRKOW, M., BANZHAF, S. (2024): PINETI-4: Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to terrestrial ecosystems. UBA-Texte 130/2024, Hrsg: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau: 128 S.
- LANDESFORST MECKLENBURG-VORPOMMERN (2014): Zukunft nachhaltig gestalten – Geschäftsbericht für die Jahre 2012 und 2013. Metronom, Malchin: S. 68.
- LANGE, B., LÜSCHER, P., GERMANN, P.F. (2012): Wurzeln erhöhen das Wasserspeichervermögen. *Wald Holz* **93** (10): 23-25. Unter <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/schutzfunktion/hochwasser/wasserspeichervermoegen-im-boden>
- LEINONEN, I. (1996): Dependence of dormancy release on temperature in different origins of *Pinus sylvestris* und *Betula pendula* seedlings. *Scandinav. Journ. of Forest Research* **11** (1-4): 122-128.
- LWF (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT) (2019): Praxishilfe Klima – Boden – Baumartenwahl. 109 S. https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/praxishilfe_baumarten_bf.pdf
- MAJUNKE, C., ALTENKIRCH, W., OHNESORGE, B. [Hrsg.] (2002): *Waldschutz auf ökologischer Grundlage*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 434 S.
- MENZEL, A., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N., KOCH, E., AASA, A., AHAS, R., ALM-KÜBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKÁ, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F.M., CREPINSEK, Z., CURNEL, Y., DAHL, A., DEFILA, C., DONNELLY, A., FILELLA, Y., JATCZAK, K., MAGE, F., MESTRE, A., NORDLI, O., PENUELAS, J., PIRINEN, P., REMISOVA, V., SCHEIFINGER, H., STRIZ, M., SUSNIK, A., VAN FLIET, A.J.H., WIELGOLASKI, F.-E., ZACH, S., ZUST, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* **12** (10): 1969-1976.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT MECKLENBURG-VORPOMMERN (2018): Forstliche Klimagliederung in Mecklenburg-Vorpommern auf der Grundlage der Klimawerte von 1981–2010. Heft A6. Schwerin: 20 S. https://www.wald-mv.de/static/Wald-mv/Dateien/Naturnahe%20Forstwirtschaft/Landesforst_A6%20Forstliche%20Klimagliederung_Endfassung.pdf
- MORIN, X., LECHOWICZ, M.-J., AUGSPURGER, C., O'KEEFE, J., VINER, D., CHUINE, I. (2009): Leaf phenology changes in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology* **15**: 961-975.
- MUNK, K. (2008): *Botanik*. Georg Thieme Verlag, Berlin: 592 S.
- MYKING, T., HEIDE, O.M. (1995): Dormancy release in beech buds (*Fagus sylvatica*) requires both chilling and long days. *Tree Physiology* **15**: 697-704.
- NAGEL, H.-D., SCHLUTOW, A., KRAFT, P., SCHEUSCHNER, T. WEIGELT-KIRCHNER, R. (2010): Modellierung und Kartierung räumlich differenzierter Wirkungen von Stickstoffeinträgen in Ökosysteme im Rahmen der UNECE-Luftreinhaltekonvention. Teilbericht II: Das BERN-Modell – ein Bewertungsmodell für die oberirdische Biodiversität. UBA-Texte 08/2010, Dessau: 136 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/modellierung-kartierung-raeumlich-differenzierter-0>
- OBERDORFER, E. (1957): *Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Pflanzensoziologie* **10**, Gustav Fischer, Jena: 567 S.
- OBERDORFER, E. (2001): *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete*. 8. Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 1051 S.
- OBERDORFER, E. (Ed.) (1992): *Süddeutsche Vegetationsgesellschaften. Wälder und Gebüsche – Teil IV in 2 Bänden*. Gustav-Fischer-Publisher, Jena, Stuttgart, New York: Bd. 1 (Text) 282 S., Bd. 2 (Tabellen) 580 S.
- OBERDORFER, E. (Ed.) (1993a): *Süddeutsche Vegetationsgesellschaften – Sand- und Trockenrasen, Heide- und Borstgrasgesellschaften, alpine Magerrasen, Saumgesellschaften, Schlag- und Hochstaudenfluren*. Teil II, 3. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart, New York: 355 S.
- OBERDORFER, E. (Ed.) (1993b): *Süddeutsche Vegetationsgesellschaften – Wirtschaftswiesen und Unkrautgesellschaften*. Teil III, 3. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart, New York: 455 S.

- OBERDORFER, E. (Ed.) (1998): Süddeutsche Vegetationsgesellschaften - Fels- und Mauergesellschaften, alpine Fluren, Wasser-, Verlandungs- und Moorgesellschaften. Teil I, 4. Aufl., Gustav-Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart, New York: 314 S.
- PASSARGE H., HOFMANN G. (1968): Vegetationsgesellschaften des nordostdeutschen Flachlandes II. Pflanzensoziologie **16** Jena: 298 S.
- PASSARGE, H. (1964): Vegetationsgesellschaften des nordostdeutschen Flachlandes I. Pflanzensoziologie **13** Jena: 324 S.
- PETZOLD, R., DANIGEL, J., BENNING, R., MAYER, S., BURSE, K., KARAS, F., ANDREAE, H., GEMBALLA, R. (2016): Aus Alt mach Neu – Altdaten der Standortkartierung für die räumlich differenzierte Ableitung der Bodenwasserspeicherung, Waldökol., Landsch.forsch. u. Natursch. AFSV (Waldökologie-online) Heft **16**: S.19-27. https://www.afsv.de/images/download/literatur/waldoeekologie-online/waldoeekologie-online_heft-16-3.pdf
- PIK (POTSDAM INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG) (2025): Beobachtungsdaten/interpolated DWD station data-Worst Case Szenario (RCP 8.5)/impact2c GCMxRCM ensemble. Online-Portal (zuletzt geprüft: 3.2.25): http://kfo.pik-potsdam.de/ger/index_de.html?language_id=de
- REKIS (HRSG.: LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE) (2023): Regionales Klimainformationssystem. Online-Portal: URL: www.ReKIS.org
- RIEK, W., RUSS, A. (2011): Pedotransferfunktionen zur Ableitung der nutzbaren Feldkapazität – Validierung für Waldböden des nordostdeutschen Tieflands. Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz **11**: 5-17.
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1987): Mapa de series geoseries y geopermaseries de la vegetación de España (Memoria del mapa de la vegetación potencial de España). Teil I. Itinera Geobot. León **17**: 5-435.
- ROLOFF, A., GRUNDMANN, B. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol. **42** (3):1-15
- RUNGE, M. (1973): Energieumsätze in den Biozönosen terrestrischer Ökosysteme. Scripta Geobotanica Göttingen **4**: 1-78.
- SCHAAP, M., BANZHAF, F., SCHEUSCHNER T., GEUPEL, M., HENDRIKS, C., KRANENBURG, R., NAGEL, H.-D., SEGERS, A.J., SCHLUTOW, A., KRUIT, R.W., BULTJES, P.J.H. (2017): Atmospheric nitrogen deposition to terrestrial ecosystems across Germany. Biogeosciences Discussions. DOI:[10.5194/bg-2017-491](https://doi.org/10.5194/bg-2017-491)
- SCHAMINÉE, J., HAVEMAN, R., HENNEKENS, S., HORSTHUIS, M., JANSSEN, J., RONDE, I. DE, SMITS, N., SYKORA, K. (2022): Veldgids Plantengemeenschappen van Nederland, 3. Aufl., KNNV, Zeist: 464 S.
- SCHAMINÉE, J., SYKORA, K., SMITS, N., HORSTHUIS, M. (2010): Veldgids Plantengemeenschappen van Nederland [Field guide to plant communities of the Netherlands], KNNV, Veldgids Nr. 25, Zeist: 440 S.
- SCHLUTOW, A., HÜBENER, P. (2004): The BERN model: Bioindication for Ecosystem Regeneration towards Natural conditions. UBA-Texte 22/04, Umweltbundesamt, Berlin. 50 S.
- SCHLUTOW, A. (2007): The BERN model. In: DE VRIES, W., KROS, H., REINDS, G.J., VAN DOBBEN, H., HINSBERG, A., SCHLUTOW, A., SVERDRUP, H., BUTTERBACH-BAHL, K., POSCH, M., HETTELINGH, J.P. (2007): Developments in deriving critical limits and modelling critical loads of nitrogen for terrestrial ecosystems in Europe. Alterra Report 1382 [Alterra-rapport 1382] Wageningen, The Netherlands, Wageningen University, Alterra: S. 64-73 und Annex 4.
- SCHLUTOW, A. (2013): Kapitel 8: Beurteilungsmaßstäbe für Stickstoffeinträge (Critical Loads und Critical Levels). In: BALLA, S., UHL, R., SCHLUTOW, A., LORENTZ, H., FÖRSTER, M., BECKER, C., SCHEUSCHNER, Th., KIEBEL, A., HERZOG, W., DÜRING, I., LÜTTMANN, J., MÜLLER-PFANNENSTIEL, K. (2013): Untersuchung und Bewertung von straßenverkehrsbedingten Nährstoffeinträgen in empfindliche Biotope. Endbericht zum FE-Vorhaben 84.0102/2009 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1099, BMVBS Abteilung Straßenbau, Bonn: 362 S.
- SCHLUTOW, A. (2022): Analyse und Bewertung regionalspezifischer Daten zum Landschaftswasserhaushalt der Planungsregion Uckermark-Barnim. Abschlussbericht im Auftrag der Regionalen Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim. Eigenverlag der Regionalen Planungsstelle Uckermark-Barnim, Eberswalde: 106 S. https://uckermark-barnim.de/wp-content/uploads/RPG_UmBar_Wasserhaushalt_2022_03_15.pdf
- SCHLUTOW, A., SCHEUSCHNER, T., HEINZEL, L., SCHLUTOW, M. (2014): Anpassung von Klimagliederung und Leitwaldgesellschaften an den Klimawandel in Mecklenburg-Vorpommern. Endbericht im Auftrag der Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. ÖKO-DATA Strausberg. In: MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT MECKLENBURG-VORPOMMERN (2018): Forstliche Klimagliederung in Mecklenburg-Vorpommern auf der Grundlage der Klimawerte von 1981 – 2010. Heft A6, Schwerin: 20 S.
- SCHLUTOW, A., BOUWER, Y., NAGEL, H.-D. (2018): Bereitstellung der Critical Load Daten für den Call for Data 2015–2017 des Coordination Centre for Effects im Rahmen der Berichtspflichten Deutschlands für die Konvention über weitreichende grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (CLRTAP). Im Auftrag des UBA, Abschlussbericht Projekt-Nr. UBA/43848. UBA-Texte 60/2018, Dessau-Roßlau: 156 S. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/critical-load-daten-fuer-die-berichterstattung-2015>
- SCHLUTOW, A., DIRNBÖCK, T., PECKA, T., SCHEUSCHNER, T. (2015): Use of an Empirical Model Approach for Modelling Trends of Ecological Sustainability. In: DE VRIES, W., HETTELINGH, J. P., POSCH, M. (ed) (2015): Critical Loads and Dynamic Risk Assessments, Environmental Pollution 25, Springer Dordrecht: S. 381-400. DOI: 10.1007/978-94-017-9508-1_14
- SCHLUTOW, A., GEMBALLA, R. (2008): Sachsens Leitwaldgesellschaften – Anpassung in Bezug auf den prognostizierten Klimawandel. AFZ/Der Wald **63** (1): 28-31.
- SCHLUTOW, A., GEMBALLA, R. (im Druck): Ableitung von klimawandelangepassten Leitwaldgesellschaften für die Wälder im Freistaat Sachsen. Hrsg: Staatsbetr. Sachsenforst.
- SCHLUTOW, A., HÜBENER, P. (2002): The BERN model: Bioindication for Ecosystem Regeneration within Natural conditions. In: ACHERMANN, B., BOBBINK, R. (eds) (2003): Empirical Critical Loads for Nitrogen. Proceedings of the Expert workshop in Berne, 11-13 November 2002. Environmental Documentation No. 164 - Air (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL) p: 305-311.
- SCHLUTOW, A., KRAFT, P., SCHEUSCHNER, T., SCHLUTOW, M., SCHRÖDER, W. (2024): Bioindication for Ecosystem Regeneration towards Natural conditions: the BERN data base and BERN model. Environmental Sciences Europe **36**(1). Springer Open. DOI: 10.1186/s12302-023-00826-0. https://www.researchgate.net/publication/377562509_Bioindication_for_Ecosystem_Regeneration_towards_Natural_conditions_the_BERN_data_base_and_BERN_model

- SCHLUTOW, A., KRAFT, P., WEIGELT-KIRCHNER, R. (2008): Veränderungen der potenziell natürlichen Vegetation im Zuge des Klimawandels im Freistaat Sachsen. Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 40200317 im Auftrag des Staatsbetriebes Sachsenforst. Graupa. Manuskriptdruck.
- SCHLUTOW, A., NAGEL, H.-D., SCHEUSCHNER, T., WEIGELT-KIRCHNER, R. (2010): Erfassung Kartierung von ökologischen Belastungsgrenzen und ihrer Überschreitungen im Freistaat Sachsen – Einfluss des Klimawandels. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft **12/2010**: 134 S.
- SCHLUTOW, A., NIEBUHR, J. (im Druck): Analyse der Critical-Load-Modellierung nach der einfachen Massenbilanzmethode hinsichtlich der Einbindung von klimaabhängigen Parametern. Im Auftrag des UBA, Abschlussbericht. UBA-Texte im Druck, Dessau-Roßlau: 162 S.
- SCHLUTOW, A., PROFFT, I., FRISCHBIER, N. (2009b): Das BERN-Modell als Instrument zur Einschätzung der Anpassbarkeit von Waldgesellschaften und Baumarten an den Klimawandel in Thüringen. Forst u. Holz **64** (4): 31-37.
- SCHLUTOW, A., SCHEUSCHNER, T. (2023): Determination of Critical Loads for Eutrophying and Acidifying Air Pollutant Inputs for the Protection of Near-Natural Ecosystems in Germany. *Atmosphere* **14**(2):1-51.
- SCHLUTOW, A., SCHEUSCHNER, T., WEIGELT-KIRCHNER, R. (2009a): Adaptation von Leitwaldgesellschaften und deren Hauptbaumarten an den Klimawandel im Freistaat Thüringen. Im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei. Abschlussbericht. unveröff.
- SCHLUTOW, A., SCHRÖDER, W. (2021): Rule-based classification and mapping of ecosystem services with data on the integrity of forest ecosystems. *Environmental Sciences Europe* **33** (1): 1-34. DOI:[10.1186/s12302-021-00481-3](https://doi.org/10.1186/s12302-021-00481-3)
- SCHLUTOW, A., SCHRÖDER, W. (2024a): Climate Change and Atmospheric Deposition as Drivers of Forest Ecosystem Integrity and Services – A Methodology for Assessing and Mapping Ecosystem Services across Time and Space. *Springer Nature Switz Cham. Briefs in Env. Sci.*: 172 S. Doi:[10.1007/978-3-031-67103-6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67103-6).
- SCHLUTOW, A., SCHRÖDER, W. (2024b): Data Basis and Mapping Results of Ecosystem Services at Different Levels. *Springer Nature Switz Cham. Briefs in Env. Sci.*: S. 29-148. Doi:[10.1007/978-3-031-67103-6_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-67103-6_3)
- SCHMIDT, C., KOŁODZIEJ, J., SEIDEL, A. (2011): Vulnerabilitätsanalyse Oberlausitz-Niederschlesien. TU Dresden, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsplanung, Dresden: 183 S.
- SCHRADER, S. (2016): Bodeninvertebraten sind entscheidende ökologische Leistungsträger. Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Schriftenreihe des Informations- und Koordinationszentrums für Biologische Vielfalt **39**: 1-15.
- SCHUBERT, R. (2001): Prodromus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. Mitteilungen zur floristischen Kartierung Sachsen-Anhalt, Sonderheft 2: 685 S.
- SCHULZE, G. (1998): Anleitung für die forstliche Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland (Standortserkundungsanleitung) - SEA 95 – Teil D. – Bodenformen-Katalog Merkmalsübersichten und -tabellen für Haupt- und Feinbodenformen, 4. Auflage, Schwerin: 574 S.
- SCHWANECKE, W., (1974): Standortserkundungs-Anweisung 1974 – C 2.II. (SEA 74 C 2.II.) Standortformen, VEB Forstprojektion Potsdam: 72 S.
- SCHWANECKE, W., (1981): Standortserkundungs-Anweisung 1981 – C 3.3 (SEA 81 C 3.3) Standortformengruppen und Gruppenzuordnung der Standortsformen für das Mittelgebirge und Hügelland, VEB Forstprojektion Potsdam: 26 S..
- SCHWANECKE, W., KOPP, D. (1971): Land- und Forstwirtschaftliche Klimagliederung. In: Planungsatlas Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft Deutsche Demokratische Republik. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin: 120 S. + 38 Karten.
- SMIDT, S. (2013): Lexikon für waldschädigende Luftverunreinigungen. Tabellenanhang. http://bfw.ac.at/400/smilex/Tabelle_010409.pdf
- SOÓ V., R. (1964b): A magyar flóra és vegetáció rendszertani növényföldrajzi kézikönyve I. Akadémiai Kiadó. Budapest: 589 S.
- SUCCOW, M., JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 622 S.
- TESCHE, M. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. In: LYR, H., FIEDLER, H.-J., TRANQUILLINI, W. (Hrsg.) Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart: S. 279 - 306.
- TSCHOPP, T., HOLDEREGGER, R., BOLLMANN, K. (2012): Die Douglasie in der Schweiz: Auswirkungen auf Biodiversität und Lebensräume im Wald. Eine Literaturstudie. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf: 53 S.
- TÜXEN, R. (1937): Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt. flor-soz. Arbgem.
- TÜXEN, R. (1957): Entwurf einer Definition der Pflanzengesellschaft (Lebensgemeinschaft). Mitt. flor-soz. Arbgem. Niedersachsen, Hannover: 151 S.
- WALENTOWSKI, H., EWALD, J., FISCHER, A., KÖLLING, C., TÜRK, W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Freising. Verlag Geobotanica, Freising: 441 S.
- WALTHER, G.-R., BERGER, S., SYKES, M.T. (2005): An ecological „footprint“ of climate change. *Proc. R. Soc. B*, **272**: 1427-1432.
- WALTER, H., WALTER, E. (1953): Einige allgemeine Ergebnisse unserer Reise nach Südwestafrika 1952/53: Das Gesetz der relativen Standortskonstanz; das Wesen der Pflanzengesellschaften. *Ber. Deutsch.Bot. Ges. Stuttgart* **66**: 228-236.
- WELLBROCK, N., BOLTE, A., FLESSA, H. (Hrsg.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Thünen-Institut, Braunschweig, Thünen Report 43, Braunschweig: 558 S.
- WENDLING, A. (1991): Grasreferenzverdunstung. In: ATV-DVWK Merkblatt 238 (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH Bonn: 5 S.
- WILLNER, W., GRABHERR, G. (Eds.) (2007): Die Wälder und Gebüsche Österreichs. Elsevier Spektrum Akademischer Publisher Heidelberg München: Textband 302 S. + Tabellen-Band 290 S.
- WILPERT, K. VON, HARTMANN, P., PUHLMANN, H., SCHMIDT-WALTER, P., MEESENBURG, H., MÜLER, J., EVERS, J. (2016): Bodenwasserhaushalt und Trockenstress. In: WELLBROCK, N., BOLTE, A., FLESSA, H. (Ed.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006–2008. Thünen-Report **43**: 343-386.

- WOLFF, B., ERHARD, M., HOLZHAUSEN KUHLOW, T. (2003): Das Klima in den forstlichen Wuchsgebieten und Wuchsbezirken Deutschlands. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg: 211 S.
- WOLFF, B., HÖLZER, W., FRÖMDING, D., BONK, S. (1998): Datenaufbereitung für Modellrechnungen aus der Bundeswaldinventur (BWI) und dem Datenspeicher Waldfonds (DSW). In: BENNING, R., DANIGEL, J., PROFFT, I., PETZOLD, R. (2015): Dokumentation für die Ableitung von Bodendaten, „Waldproduktivität – Kohlenstoffspeicherung – Klimawandel“, Modul 1 „Zusammenstellung und Harmonisierung der Bodendaten“, Staatsbetrieb Sachsenforst Graupa und ThüringenForst AöR, Gotha: 37 S.
- WOLFF, B., RIEK, W. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987–1993 (BZE). Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Eigenverlag, Eberswalde: 186 S. + 4 Anhänge
- ZADEH, L. A. (1978): Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy sets and fuzzy systems **1**: 3-28.
- ZIMMERMANN, L., RASPE, S., SCHULZ, C., GRIMMEISEN, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern. Z. Wald und Wasser **66**:16-20. <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a66-wasserverbrauch-von-waeldern.pdf>

submitted: 16.03.2025

reviewed: 11.04.2025

accepted: 17.04.2025

Autorenanschrift

PD Dr. Ing. habil. Angela Schlutow
Westring 19
15366 Neuenhagen
E-Mail: ASchlutow@web.de

Rainer Gemballa
Staatsbetrieb Sachsenforst
Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft
Bonnewitzer Str. 34
01796 Pirna, Ortsteil Graupa
E-Mail: Rainer.Gemballa@smekul.sachsen.de

Anhang

Alle Anhänge (Anhang 1, Anhang 2 und Anhang 3) finden sich als Supplementary Material auf der Website der Zeitschrift Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz unter: http://www.afsv.de/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft-23-4.pdf