

## Entwurf

### Grundlagenstudie

# Baseline-Tool - Wissenschaftlich fundierte Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf Kalamitätsflächen in Deutschland

#### Hinweise

-

#### Entwicklung

Nachfolgende Inhalte wurden von Forliance GmbH in enger Kollaboration mit dem Wald-Klimastandard erarbeitet. Fragen und Anregungen können an das Sekretariat des Wald-Klima-standards gerichtet werden: [sekretariat@waldklimastandard.de](mailto:sekretariat@waldklimastandard.de)

#### Autoren

M. Kunze (Forliance), M. Vohrer (EVA), F. Hildebrand (EVA)

#### Version

Versions-Nr.	Datum	Dokumentname	WKS-Version
<b>0.3.00</b>	16.05.2021	04-0102-REP-0.3.00	0.2 ff.

Änderungen der Versionen können durch das Document-Centre nachvollzogen werden.

#### Haftung & Copyright

Dieses Dokument kann Aussagen, Annahmen und Prognosen enthalten, die auf Informationen basieren, wie sie den Autoren zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokumentes zur Verfügung stehen. Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen keine Verpflichtung, diese Aussagen angesichts neuer Informationen oder künftiger Ereignisse zu aktualisieren. Zukunftsgerichtete Aussagen sind naturgemäß mit Risiken und Ungewissheiten verbunden.

Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen trotz sorgfältiger Ausgestaltung des Dokumentes keine Gewähr für deren Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität. Die in dem Dokument dargestellten Sachverhalte dienen ausschließlich der Illustration und lassen keine Aussagen über zukünftige Entwicklungen zu. Die Autoren und die EVA Service GmbH übernehmen keine Verantwortung für Maßnahmen und Entscheidungen, die auf der Grundlage der bereitgestellten Informationen ergriffen werden.

Eine Vervielfältigung, Verbreitung, Veröffentlichung oder Bearbeitung des Dokumentes, insbesondere in elektronischen oder anderen gedruckten Publikationen, auch auszugsweise, ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung der EVA Service GmbH nicht gestattet.

Die EVA Service GmbH ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Ecosystem Value Association (EVA) e.V. - mit dem Vereinszweck der Förderung von Ökosystemleistungen zur Wiederherstellung und Erhalt natürlicher Ressourcen und zum Erhalt und Ausbau der Leistungsfähigkeit und Klimaresilienz von Ökosystemen.

#### Bildrechte

N/A

# BASELINE TOOL

Wissenschaftlich fundierte Modellierung  
der natürlichen Wiederbewaldung  
auf Kalamitätsflächen

Hintergrundstudie  
für den Wald-Klimastandard  
für den Scope "Wald-Wiederaufbau"

**waldklima**  
**standard** 



# BASELINE TOOL

Wissenschaftlich fundierte Modellierung  
der natürlichen Wiederbewaldung  
auf Kalamitätsflächen

Hintergrundstudie  
für den Wald-Klimastandard  
für den Scope "Wald-Wiederaufbau"

Erstellt von  
FORLIANCE GmbH

Im Auftrag von  
Ecosystem Value Association (EVA) e.V.

Datum der Veröffentlichung  
15. Dezember 2021

Kontakt  
Marisa Kunze  
FORLIANCE GmbH  
Eifelstraße 20  
D-53119 Bonn  
Tel. +49 (0) 228 – 969119 –21  
Email: [Marisa.Kunze@forliance.com](mailto:Marisa.Kunze@forliance.com)  
[www.forliance.com](http://www.forliance.com)

# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	7
1.1 Definition	7
1.2 Methodik	7
1.3 Anwendbarkeit	8
2 Schritt 1: Samenpotenzial	9
2.1 Pionierbaumarten	9
2.2 Nachbarbestände	10
2.3 Vorbestand	12
3 Schritt 2: Konkurrenzbedingte Mortalität	13
3.1 Konkurrenz durch Bodenvegetation	13
3.2 Konkurrenz durch Wild	14
3.3 Konkurrenz durch andere Baumarten	17
4 Schritt 3: Standortbedingte Mortalität	20
4.1 Basensättigung (Trophie)	20
4.2 Stauwassereinfluss	23
4.3 Grundwassereinfluss	25
5 Schritt 4: Klimabedingte Mortalität	28
5.1 Trockenstressrisiko	28
5.2 Waldbrandrisiko	33
6 Kohlenstoffspeicherung	37
6.1 Finale Baumartenzusammensetzung	37
6.2 Waldwachstum	37
6.3 Berechnung der Kohlenstoffspeicherung	37
7 Schlussfolgerung und Empfehlungen	38
Literaturverzeichnis	XXXIX

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Samenverbreitungspotenziale verschiedener Baumarten (FORLIANCE, 2021)	10
Tabelle 2: Reduktion der Baumartenanteile anhand des Deckungsgrades (FORLIANCE, 2021)	14
Tabelle 3: Einordnung der Verbisskategorisierung durch Baumann et al. (2010) (FORLIANCE, 2021)	15
Tabelle 4: Baumartenspezifisches Risiko für Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen (FORLIANCE, 2021)	16
Tabelle 5: Durchsetzungsvermögen gegenüber anderen Baumarten (FORLIANCE, 2021)	18
Tabelle 6: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund des Durchsetzungsvermögens (FORLIANCE, 2021)	19
Tabelle 7: Einstufung der Basensättigung (Trophie) (FORLIANCE, 2021)	20
Tabelle 8: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Basensättigung (FORLIANCE, 2021)	21
Tabelle 9: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund der Basensättigung (FORLIANCE, 2021)	23
Tabelle 10: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Stauwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)	23
Tabelle 11: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Stauwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)	25
Tabelle 12: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Grundwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)	25
Tabelle 13: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Grundwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)	27
Tabelle 14: Einstufung der Wasserspeicherkapazität (FORLIANCE, 2021)	29
Tabelle 15: Baumartenspezifisches Trockenstressrisiko (FORLIANCE, 2021)	30
Tabelle 16: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Trockenstress (FORLIANCE, 2021)	31
Tabelle 17: Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch	32
Tabelle 18: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Waldbrandrisiko (FORLIANCE, 2021)	33
Tabelle 19: Einstufung des standortspezifischen Waldbrandrisikos (FORLIANCE, 2021)	34
Tabelle 20: Resistenz gegen Waldbrände (FORLIANCE, 2021)	34
Tabelle 21: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Waldbrandrisiko (FORLIANCE, 2021)	36

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodik (FORLIANCE, 2021)	8
Abbildung 2: Bestimmung des Samenpotenzials (FORLIANCE, 2021)	9
Abbildung 3: Unterteilung der Projektfläche in Rand- und Kernflächen (FORLIANCE, 2021)	11
Abbildung 4: Bestimmung der konkurrenzbedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)	13
Abbildung 5: Bestimmung der standortbedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)	20
Abbildung 6: Bestimmung der klimabedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)	28

# 1 Einleitung

Die FORLIANCE GmbH wurde von der Ecosystem Value Association e.V. beauftragt, ein Konzept und ein darauf aufbauendes Modell für ein wissenschaftlich fundiertes Baseline Tool zu entwickeln, mit dem Ziel, dieses im Rahmen des deutschen Waldklimastandard für den Scope „Wald-Wiederaufbau“ zu verwenden. Das Tool dient der wissenschaftlich fundierten Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf den Kalamitätsflächen und damit der Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes im Baseline Szenario.

## 1.1 Definition

Baseline bedeutet übersetzt „Startlinie“ und bezeichnet in internationalen Klimaschutzprojekten die Ausgangslage auf der Projektfläche. Entsprechend stellt das Baseline-Szenario ein virtuelles Referenzszenario dar, welches beschreibt, was während der Projektlaufzeit auf der Projektfläche passieren würde, wenn das Klimaschutzprojekt nicht stattfinden würde. Der für das Baseline-Szenario modellierte Kohlenstoffgehalt wird vom Kohlenstoffgehalt des Projektszenarios abgezogen, um den netto Kohlenstoffgehalt zu ermitteln. Im Sinne der Additionalität (Zusätzlichkeit) darf nur dieser als CO<sub>2</sub>-Zertifikate verkauft werden.

In bestehenden Klimaschutzprojekten, die im Rahmen des freiwilligen Kohlenstoffmarktes entwickelt wurden, werden häufig degradierte Acker- oder Weideflächen aufgeforstet. In diesen Projekten geht man also von gleichbleibenden oder sinkenden Kohlenstoffgehalten im Baseline-Szenario aus. Der konservative Ansatz des Weltklimarates (IPCC) verlangt es, sinkende Kohlenstoffgehalten im Baseline-Szenario auf null zu setzen. Somit gibt es aktuell keine methodischen Ansätze, um sinkende oder steigende Kohlenstoffgehalten im Baseline-Szenario zu modellieren.

Für Wiederaufforstungsprojekte auf den vom Klimawandel entwaldeten Flächen in Deutschland muss man im Baseline-Szenario von einer natürlichen Wiederbewaldung und somit von einem steigenden Kohlenstoffgehalt ausgehen<sup>1</sup>. Dafür benötigt es einen neuen Berechnungsansatz.

Das hier konzeptionell vorgestellte Baseline Tool erlaubt es, die natürliche Wiederbewaldung auf den durch den Klimawandel entwaldeten Flächen zu modellieren und so den Kohlenstoffgehalt im Baseline-Szenario zu berechnen.

---

<sup>1</sup> Die Bestimmung des Baseline-Szenarios ist nicht Teil dieser Studie und wird separat im Rahmen der Additionalitätsstudie behandelt.



## 1.2 Methodik

Für die Erstellung der hier vorgestellten Hintergrundstudie wurden zunächst zahlreiche wissenschaftliche Artikel von verschiedenen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalten zu Rate gezogen<sup>2</sup>. Darauf aufbauend wurde ein Konzept entwickelt, wie man die natürliche Wiederbewaldung der Kahlfleichen wissenschaftlich fundiert, realitätsnah und skalierbar modellieren kann. Dieses Konzept wurde renommierten Wissenschaftler:innen und anderen Fachexpert:innen zur Durchsicht vorgelegt<sup>3</sup> und entsprechend der Rückmeldungen angepasst<sup>4</sup>.

Für die Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung der Kahlfleichen wird zunächst bestimmt, welches Samenpotenzial (Schritt 1) auf der Fläche zu finden ist. Anschließend wird der Blick auf die konkurrenzbedingte Mortalität (Schritt 2) gerichtet. Schritt 3 betrachtet die standortbedingte Mortalität. Im letzten Schritt (Schritt 4) wird die jeweilige klimabedingte Mortalität der einzelnen Baumarten bestimmt. Als Resultat erhält man die finale Baumartenzusammensetzung.

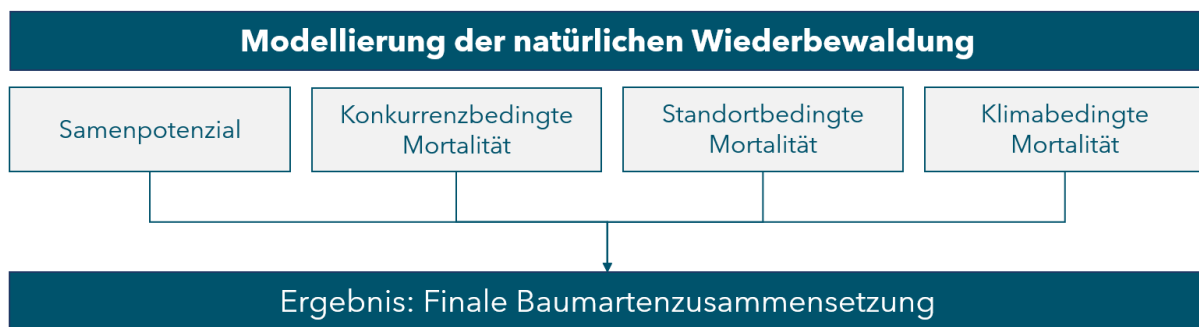


Abbildung 1: Methodik (FORLIANCE, 2021)

Auf Basis der Baumartenzusammensetzung und den baumartenspezifischen Zuwachsraten aus der dritten Bundeswaldinventur (Thünen-Institut, 2012) kann die CO<sub>2</sub>-Speicherleistung im Baseline-Szenario berechnet werden.

## 1.3 Anwendbarkeit

Die Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf Kalamitätsflächen erfolgt für eine durchschnittliche Umtriebszeit von 100 Jahren. Die Berechnung des Kohlenstoffgehaltes erfolgt allerdings analog zur Crediting Period (Anrechnungszeitraum) des Projektes.

<sup>2</sup> Die herangezogenen Studien können alle am Ende des Dokumentes im Literaturverzeichnis eingesehen werden.

<sup>3</sup> Die Studie wurde sowohl im Rahmen der ersten Waldklimaratsitzung am 30. September 2021 als auch im Nachgang mit renommierten Wissenschaftler:innen und Fachexpert:innen besprochen

<sup>4</sup> Die Rückmeldungen können unter diesem [Link](#) eingesehen werden.

## 2 Schritt 1: Samenpotenzial

Der erste Schritt zur Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf den Freiflächen ist die Bestimmung des Samenpotenzials. Dafür sollen Pionierbaumarten, die Nachbarbestände und der Vorbestand berücksichtigt werden<sup>5</sup>. Diese Annahme beruht auf einer Studie der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA BW, 2000). Für die Erstellung der Baumartenzusammensetzung I wird davon ausgegangen, dass Pionierbaumarten mit einem Drittel an der Naturverjüngung beteiligt sind (FVA BW, 2000). Für den Vorbestand und die Nachbarbestände gibt es keine wissenschaftlichen Angaben zu den prozentualen Anteilen an der natürlichen Wiederbewaldung. Entsprechend wurden auch hier die Anteile mit je einem Drittel angenommen.

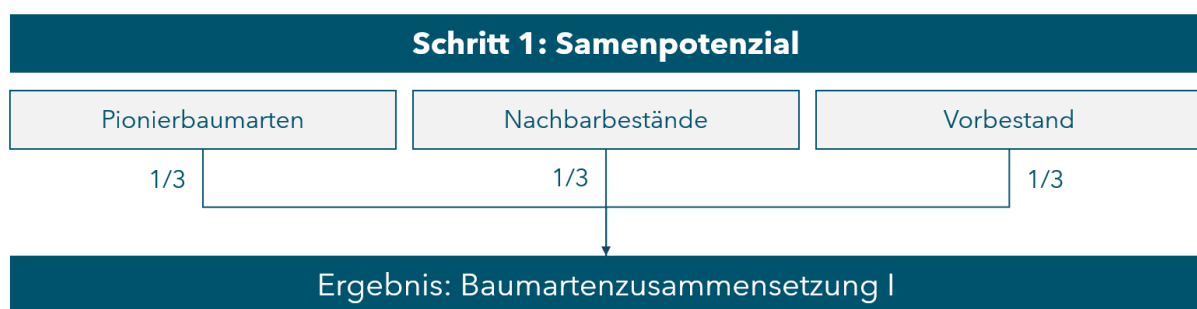


Abbildung 2: Bestimmung des Samenpotenzials (FORLIANCE, 2021)

### 2.1 Pionierbaumarten

Pionierbaumarten sind Baumarten mit einer häufigen und reichen Samenproduktion verbunden mit einer weiten Samenverbreitung und geringen Standortansprüchen. Auch zeigen sie eine außergewöhnliche Härte gegenüber Extremwetterbedingungen auf Freiflächen, wie beispielsweise Frost, starke Sonneneinstrahlung und Wind. Dank dieser Eigenschaften siedeln sich diese Baumarten häufig als Erste, als „Pioniere“, auf Sturm- und anderen Kahlflächen an und tragen somit einen großen und wichtigen Teil zur natürlichen Sukzession bei. Allerdings haben sie eine geringe Schattentoleranz, bauen wenig Biomasse auf und haben nur eine kurze Lebensdauer. Die bekanntesten kurzlebigen Pionierbaumarten sind Birke, Aspe, Erle, Weiden und Vogelbeere. Als langlebige Pionierbaumarten gelten außerdem die Lärche und die Kiefer (Rothkegel, Ruppert, & Klemmt, 2020).

<sup>5</sup> Samenbanken aus historischer Landnutzung nach Bossuyt und Hermy (2001) werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt, da die betroffenen Flächen seit mehreren Jahrzehnten als Wald genutzt wurden und alte Samenarten aus vorherigen Landnutzungen als insignifikant zu betrachten sind.

## 2.2 Nachbarbestände

Um den Einfluss der Baumarten aus den Nachbarbeständen auf die Freifläche zu untersuchen, ist es wichtig zu bestimmen wie weit sich die Samen verschiedener Baumarten verbreiten können. Dies ist hauptsächlich abhängig von dem Gewicht der Samen sowie der Verbreitungsart<sup>6</sup>. Manche Baumarten haben sehr schwere Samen und weisen trotzdem einen großen Verbreitungsradius auf, da die Samen von Vögeln oder Nagetieren aufgelesen und an anderer Stelle ausgeschieden werden.

Entsprechend wurde auf Grundlage des Samengewichtes nach Martens und Wiegel (2012) und der Verbreitungsart nach Benayas und Bullock (2015) eine Kategorisierung der Baumarten vorgenommen und der Verbreitungsraum anhand von Benayas und Bullock (2015) und Klett (2016) festgelegt.

*Tabelle 1: Samenverbreitungspotenziale verschiedener Baumarten (FORLIANCE, 2021)*

Kat.	Exemplarische Baumarten	Samengewicht nach Martens & Wiegel (2012)	Verbreitungsart nach Benayas & Bullock (2015)	Verbreitungsraum nach Benayas & Bullock (2015) und Klett (2016)
1	Pappel, Weide, Birke	Sehr leicht (0,06 – 0,15 mg)	Windverbreitung	> 2 km
2	Kiefer, Ulme	Leicht (4,3 – 11 mg)	Windverbreitung	bis zu 2 km
2	Kirsche, Vogelbeere, Elsbeere, Mehlbeere	Mittelschwer	Tierverbreitung	bis zu 2 km
2	Eiche, Buche	Schwer	Tierverbreitung	bis zu 2 km
3	Ahorn, Fichte, Tanne, Douglasie, Lärche	Mittelschwer (14,7 – 16,7 mg)	Windverbreitung	bis zu 150 m
4	Linde, Hainbuche	Mittelschwer (36,9 – 52,2 mg)	Windverbreitung	bis zu 50 m
4	Esche	Schwer (64,5 – 148,5)	Windverbreitung	bis zu 50 m

Kategorie 1 entspricht dabei den zuvor genannten Pionierbaumarten, wie beispielsweise Pappel, Weide oder Birke. Die Samen dieser Baumarten sind sehr leicht und werden vom Wind über 2 Kilometer hinweg verteilt. Die Windrichtung wird aufgrund mangelnder wissenschaftlicher Grundlagen hierbei nicht berücksichtigt.

<sup>6</sup> Das Mastverhalten der verschiedenen Baumarten nach (Nussbaumer et al., 2016) wird aus Gründen der Ungenauigkeit für zukünftige Szenarien in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Kategorie 2 enthält sowohl Baumarten, deren Samen leicht sind und damit ebenfalls vom Wind relativ weit getragen werden können als auch Arten, die mittelschwere bis schwere Samen haben, welche jedoch von Vögeln und Nagetieren weit verbreitet werden.

Kategorie 3 bezieht sich auf Baumarten, die mittelschwere Samen tragen und vom Wind daher maximal bis zu 150 Meter verbreitet werden können. Dazu zählen vor allem bekannte Nadelbaumarten wie die Fichte, Tanne, Douglasie und die Lärche.

Kategorie 4 enthält mittelschwer- bis schwersamige Laubbaumarten, wie die Linde, die Hainbuche und die Esche, welche ihre Samen maximal 50 Meter weit verteilen können.

Um diesen baumartenspezifischen Unterschieden bei der Modellierung der Naturverjüngung auf den Kahlfleichen gerecht zu werden, sollen die zu betrachtenden Projektflächen in drei Randflächen und eine Kernfläche unterteilt werden.

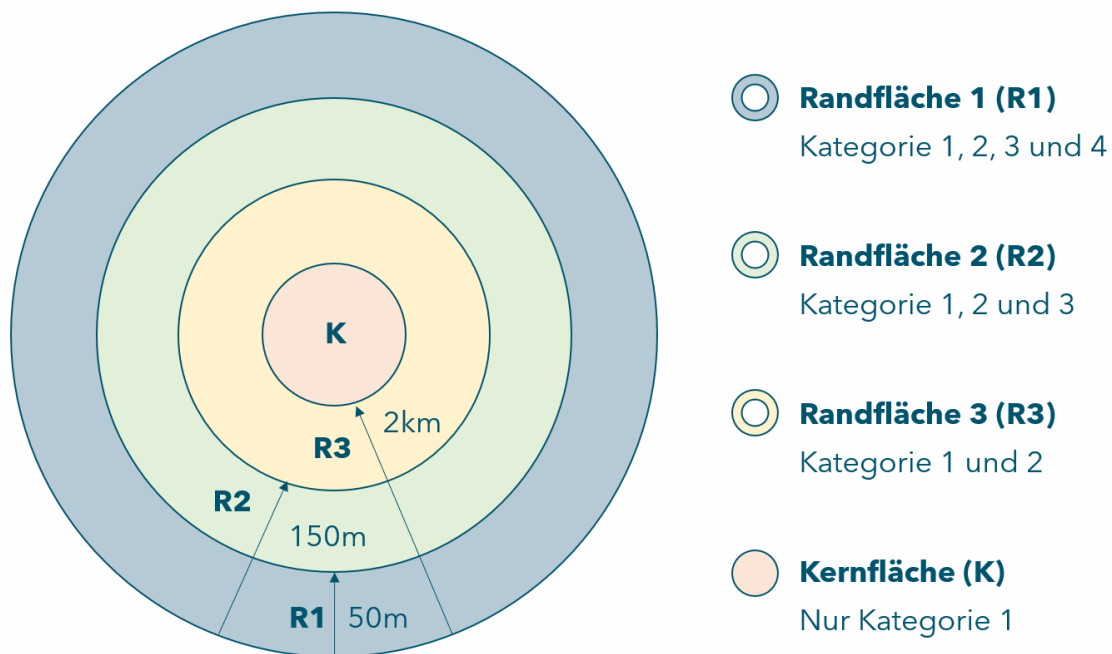


Abbildung 3: Unterteilung der Projektfläche in Rand- und Kernflächen (FORLIANCE, 2021)

Entsprechend der Baumartenkategorisierung in Tabelle 1 ist die Randfläche 1 (R1) 50 Meter breit und schließt direkt an die Nachbarbestände an. Dort können sich alle Baumarten ansiedeln. Die Randfläche 2 (R2) ist 100 Meter breit und reicht damit 150 Meter vom Bestandesrand in die Projektfläche. Diese Fläche wird nur noch von Baumarten der Kategorie 1, 2 und 3 besiedelt. Die Randfläche 3 (R3) reicht 2 Kilometer in die Projektfläche und beinhaltet ausschließlich Baumarten aus den Kategorien 1 und 2. Die Kernfläche (K) ergibt sich aus der übrigen Fläche und hat somit immer einen Abstand von 2 Kilometern zum äußersten Rand der Projektfläche. Auf dieser Fläche sind nur noch Baumarten der Kategorie 1 zu finden.

## 2.3 Vorbestand

Der Vorbestand bezeichnet die Baumartenzusammensetzung, welche vor den Kalamitäten auf der Fläche zu finden war. Wie zu Beginn des Kapitels dargestellt, wird davon ausgegangen, dass der Vorbestand wie die Pionierbaumarten (vgl. FVA BW, 2000) mit einem Drittel an der natürlichen Verjüngung der Kalamitätsflächen beteiligt ist. Die Fortpflanzungsfähigkeit der Baumarten aus dem Vorbestand wird aus Gründen der Konservativität nicht berücksichtigt. Entsprechend werden die angegebenen Baumarten aus dem Vorbestand anteilig zu einem Drittel für die Modellierung des Baseline-Szenarios übernommen.

## 3 Schritt 2: Konkurrenzbedingte Mortalität

Im nächsten Schritt wird die konkurrenzbedingte Mortalität analysiert. Dabei wird untersucht, inwieweit die aufkommenden Baumarten, die in Schritt 1 durch das vorhandene Samenpotenzial bestimmt worden waren (Baumartenzusammensetzung I), durch Konkurrenz auf der Fläche beeinträchtigt werden könnten. Es werden drei Arten der Konkurrenz berücksichtigt:

Zunächst wird die Konkurrenz durch Bodenvegetation auf Grundlage des Deckungsgrades betrachtet. Anschließend wird die Konkurrenz durch Wild durch Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen untersucht. Im letzten Schritt wird die Schattentoleranz und das Höhenwachstum der einzelnen Baumarten betrachtet, um so die Konkurrenz durch andere Baumarten zu bestimmen. Diese Faktoren können die Vegetationsdichte verringern (Brang et al., 2013) und damit die Baumartenzusammensetzung I reduzierend beeinflussen. Das Resultat ist die Baumartenzusammensetzung II.

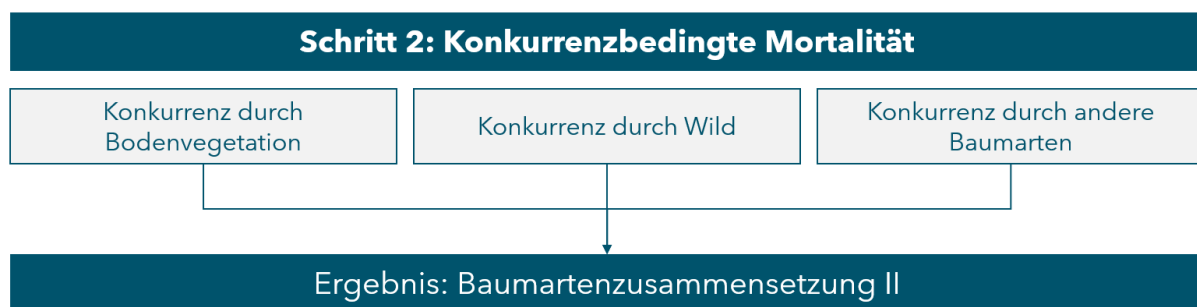


Abbildung 4: Bestimmung der konkurrenzbedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)

### 3.1 Konkurrenz durch Bodenvegetation

Konkurrierende Bodenvegetation kann die Dichte und das Wachstum der aufkommenden Naturverjüngung erheblich beeinflussen (Nobis & Bürgi, 2004; Koch & Brang, 2005; Brang, et al., 2013). In Deutschland gilt insbesondere die Brombeere als Konkurrenzvegetation in der natürlichen forstlichen Verjüngung.

Bei einem hohen Deckungsgrad durch Brombeeren erreichen zunächst einmal weniger Samen den Boden (Schreiner, 2001; Brang, et al., 2013). Die Samen, die den Boden erreichen oder die sich bereits vor der Konkurrenzvegetation auf der Fläche eingefunden haben, werden häufig von Mäusen gefressen. In einer Studie von Schreiner (2001) wiesen die verbleibenden Samen zwar eine höhere Keimrate auf als auf brombeerlosen Vergleichsflächen, jedoch sank die Überlebensrate der Sämlinge nachweislich mit zunehmender Brombeerdichte. Dies ist laut Schreiner darauf zurückzuführen, dass die Sämlinge unter dem Vegetationsteppich einem veränderten Licht- und Wasserangebot ausgesetzt sind. In seiner Studie stellte Schreiner fest, dass der dichte Brombeerteppich eine

Reduzierung des Strahlangebotes vom Freiland um 98,7% bewirkt und zeitweise zu einer Bodenfeuchte im Oberboden unterhalb des permanenten Welkepunktes führt.

Für die Bestimmung der Baumartenzusammensetzung II wird der Deckungsgrad der Bodenvegetation in drei Kategorien eingeteilt: gering (0-33%), mittel (34-66%), hoch (67-100%)<sup>7</sup>. Bei einem geringen Deckungsgrad (0-33%) werden die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem mittleren Deckungsgrad (34-66%) werden die Anteile um 34% verringert, während sie bei einem hohen Deckungsgrad (67-100%) um 67% reduziert werden. Da es unzureichend wissenschaftliche Studien für den negativen Zusammenhang zwischen Deckungsgrad und Naturverjüngungspotenzial gibt, wurden im Gegensatz zum Faktor Trockenstress, die Reduktionszahlen auf Grundlage des Prinzips der Konservativität aus dem internationalen Kohlenstoffmarkt<sup>8</sup> bestimmt. Entsprechend werden die Untergrenzen der drei Klassen dem Reduktionsumfang gleichgesetzt, weil man davon ausgehen muss, dass beispielsweise bei der Angabe „Gering (0-33%)“ der Deckungsgrad der Bodenvegetation 0% beträgt und somit keinen negativen Einfluss auf das Naturverjüngungspotenzial hat.

Tabelle 2: Reduktion der Baumartenanteile anhand des Deckungsgrades (FORLIANCE, 2021)

Deckungsgrad der Bodenvegetation	Reduktion der Baumartenanteile
Gering (0-33%)	-0%
Mittel (34-66%)	-34%
Hoch (67-100%)	-67%

## 3.2 Konkurrenz durch Wild

Die Konkurrenz durch Wild wird anhand des baumartenspezifischen Risikos durch Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen festgestellt.

### **Verbiss**

*Als Verbiss bezeichnet man das Abfressen von Knospen, Trieben und Blättern durch Schalenwild. Dies geschieht hauptsächlich zur Nahrungsaufnahme, kann aber in Einzelfällen auch der Markierung von Rehbock-Territorien dienen. Am häufigsten werden Bäume zwischen 10 und 130 cm verbissen. Kleinere Bäume werden vom Schalenwild meist ganz abgeäst, während an größeren Bäumen meist nur die leichter erreichbaren Seitentriebe verbissen werden. Verbiss sorgt oftmals für reduziertes Höhe und langsames Wachstum. In extremen Fällen kann Verbiss auch zum vollständigen Absterben des Baumes führen (Baumann et al., 2010).*

<sup>7</sup> Die Bestimmung erfolgt anhand eines Leitfadens, welcher vom Standard zur Verfügung gestellt wird.

<sup>8</sup> Das Prinzip der Konservativität erfordert keine Überschätzungen des Kohlenstoffgehaltes im Projektszenario und keine Unterschätzungen des Kohlenstoffgehaltes im Baseline-Szenario.

### **Schälen**

Als Schälen bezeichnet man das Abnagen oder Abziehen der Baumrinde, vor allem durch Hirsche. Es wird davon ausgegangen, dass das Schälverhalten sowohl durch übermäßigen Stress ausgelöst werden kann, häufig aber auch zur Nahrungsaufnahme in strengen Wintern dient (Baumann et al., 2010). Schäl Schäden führen oftmals zu Pilzinfektionen, können jedoch bei einer vollständigen Entfernung der Rinde rings um den Stamm auch zum Absterben des Baumes führen (Baumann et al. 2021; Muntendorf, 2021).

### **Fegen**

Als Fegen bezeichnet man das Reiben der Geweihe von Hirschen und Rehen an Gehölzen. Dabei wird der Bast an den Geweihen entfernt und das Revier in der Brunftzeit sichtbar und geruchlich markiert. Folgen des Fegens sind klein- und großflächige Rindenverletzungen, die zu Wuchshemmungen und im Falle von Verletzungen rund um den Stamm auch zum Absterben des Baumes führen können (Baumann et al., 2010).

### **Schlagen**

Auch beim Schlagen wird das Geweih am Baum gerieben, jedoch geschieht dies mit dem bereits verfestigten, vom Bast befreiten Geweih. Das Schlagen dient wie das Fegen zur Reviermarkierung als auch zum Abreagieren der Erregung während der Brunft. Beim Schlagen entstehen oftmals ähnliche Rindenverletzungen wie beim Fegen, es kann jedoch auch zu Ast- oder Stammbrüchen führen (Baumann et al., 2010).

Um die Konkurrenz durch Wild im Baseline-Szenario zu bestimmen, wird die baumartenspezifische Anfälligkeit für Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen nach Baumann et al. (2010) betrachtet. Baumann et al. haben die selektive Baumartenwahl durch Wild folgendermaßen kategorisiert:

+ symbolisiert Baumarten, die immer bevorzugt gefressen werden

= symbolisiert Baumarten, die manchmal bevorzugt werden

– symbolisiert wenig beliebte Baumarten

Dabei wurden diese Symbole teilweise miteinander verknüpft, so dass es am Ende fünf Kategorien gibt. Um diese Einordnung von Baumann et al. in das Baseline-Tool zu übernehmen, wurde den verschiedenen Symbolen Prozentangaben zugeordnet.

Tabelle 3: Einordnung der Verbisskategorisierung durch Baumann et al. (2010) (FORLIANCE, 2021)

Einordnung durch Baumann et al. (2010)	Prozentangaben im Baseline-Tool
--	---------------------------------



-	0%
-/=	5%
=	10%
=/+	15%
+	20%

Entsprechend ergibt sich das in Tabelle 4 dargestellte baumartenspezifische Risiko durch Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen<sup>9</sup>. Dieses wurde anhand weiterer wissenschaftlicher Studien von Meier et al. (2014) und Hagen et al. (2020) gegengeprüft und im Sinne der Konservativität für diese Studie übernommen.

Tabelle 4: Baumartenspezifisches Risiko für Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Verbiss nach Baumann et al. (2010)	Schälen nach Baumann et al. (2010)	Fegen/Schlagen nach Baumann et al. (2010)	Ergebnis
Arve	5%	20%	20%	45%
Aspe	15%	20%	10%	45%
Bergahorn	20%	5%	10%	35%
Birke	5%	0%	0%	5%
Buche	5%	15%	5%	25%
Douglasie	5%	15%	20%	40%
Edelkastanie	0%	10%	0%	10%
Eibe	20%	20%	20%	60%
Eichen	15%	5%	0%	20%
Erlen	5%	5%	0%	10%
Esche	20%	20%	10%	50%
Fichte	0%	20%	10%	30%
Hagebuche	20%	0%	0%	20%
Lärche	10%	10%	20%	40%
Linden	10%	5%	0%	15%
Nussbaum	0%	0%	15%	15%

<sup>9</sup> Das Risiko durch Verbiss, Schälen, Fegen und Schlagen soll im Folgenden aus Gründen der Lesbarkeit ausschließlich als Verbissrisiko bezeichnet werden.

Robinie	20%	0%	0%	20%
Ulmen	20%	20%	20%	60%
Vogelbeere	20%	20%	15%	55%
Wachholder	5%	0%	20%	25%
Waldföhre	5%	20%	20%	45%
Waldkirschbaum	15%	0%	20%	35%
Weiden	20%	20%	15%	55%
Weisstanne	20%	5%	5%	30%

Ein projektspezifisches Verbissrisiko wird für die Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf Kalamitätsflächen nicht berücksichtigt. Dies liegt darin begründet, dass das Verbissrisiko von zahlreichen ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren abhängig ist, welche mit zu geringer Sicherheit realitätsnah, skalierbar und projektierbar abgebildet werden können.

### 3.3 Konkurrenz durch andere Baumarten

Eine weitere Art der Konkurrenz in der natürlichen Waldverjüngung stellen die Baumarten untereinander dar. Auf Grundlage der Definitionen von Kunz et al. (2020) und der untersuchten Faktoren in der Kategorie „Konkurrenzstärke“ der Baumartensteckbriefe von Avila et al. (2021), wird das Durchsetzungsvermögen der einzelnen Baumarten anhand der Faktoren Schattentoleranz und des Höhenwachstums bestimmt.

#### **Schattentoleranz**

*Pflanzen benötigen Licht, um zu wachsen. Die Schattentoleranz drückt aus, wie viel Schatten eine Pflanze aushält, um sich dennoch gegen die Konkurrenz durchzusetzen. Da es im dichten Wald oftmals an Licht mangeln kann, wird Schattentoleranz als essenzieller Schlüsselfaktor zur Durchsetzung der Art betrachtet (Kunz et al., 2020).*

#### **Höhenwachstum**

*Neben der Schattentoleranz bietet ein ausgeprägtes Höhenwachstum den Bäumen die Chance, eine Stress verursachende Beschattungssituation zu vermeiden. Eine hochwachsende Art hat somit ein höheres Durchsetzungsvermögen als mattwüchsige (Kunz et al., 2020).*

Die Klassifizierung der beiden Faktoren wurde von Otto (1994) vorgenommen und von Kunz et al. (2020) anhand aktueller Daten angepasst. Da man davon ausgehen kann, dass die beiden Faktoren sich jeweils ausgleichen können, wird das baumartenspezifische

Durchsetzungsvermögen bestimmt in dem der Mittelwert der beiden Faktoren berechnet wird. Aus Gründen der Konservativität wird das Ergebnis jeweils aufgerundet.

Tabelle 5: Durchsetzungsvermögen gegenüber anderen Baumarten (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Schattentoleranz nach Otto (1994) und Kunz et al. (2020)	Höhenwachstum nach Otto (1994) und Kunz et al. (2020)	Durchsetzungs- vermögen
Aspe	Gering (2)	Mittel (3)	Mittel (2,5)
Bergahorn	Mittel (3)	Hoch (4)	Hoch (3,5)
Bergkiefer	Gering (2)	Mittel (3)	Mittel (2,5)
Bergulme	Mittel (3)	Hoch (4)	Hoch (3,5)
Buche	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)
Eibe	Hoch (4)	Sehr gering (1)	Mittel (2,5)
Elsbeere	Mittel (3)	Mittel (3)	Mittel (3)
Esche	Gering (2)	Sehr hoch (5)	Hoch (3,5)
Europ. Lärche	Sehr gering (1)	Sehr hoch (5)	Mittel (3)
Feldahorn	Mittel (3)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Fichte	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)
Flatterulme	Gering (2)	Sehr gering (1)	Gering (1,5)
Grauerle	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Hainbuche	Hoch (4)	Mittel (3)	Hoch (3,5)
Mehlbeere	Mittel (3)	Gering (2)	Gering (2,5)
Moorbirke	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (1,5)
Roterle	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Gering (2)
Sandbirke	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (1,5)
Silberweide	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Gering (2)
Sommerlinde	Sehr hoch (5)	Hoch (4)	Sehr hoch (4,5)
Speierling	Hoch (4)	Gering (2)	Mittel (3)
Spitzahorn	Mittel (3)	Hoch (4)	Hoch (3,5)
Stieleiche	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Mittel (2,5)
Traubeneiche	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Mittel (2,5)
Vogelbeere	Mittel (3)	Sehr gering (1)	Gering (2)

Waldkiefer	Mittel (3)	Mittel (3)	Mittel (3)
Walnuss	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Gering (2)
Weißtanne	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)
Wildapfel	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (1,5)
Wildbirne	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (1,5)
Wildkirsche	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Gering (2)
Winterlinde	Sehr hoch (5)	Hoch (4)	Sehr hoch (4,5)
Zirbelkiefer	Gering (2)	Mittel (3)	Mittel (2,5)

Abgeleitet von Tabelle 5 werden bei einem sehr hohen Durchsetzungsvermögen die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem hohen Durchsetzungsvermögen wird der Anteil um 20% verringert; bei einem mittleren Durchsetzungsvermögen um 40%, bei einem geringen Durchsetzungsvermögen um 60% und bei einem sehr geringen Durchsetzungsvermögen um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen baumartenspezifischem Durchsetzungsvermögen und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

Tabelle 6: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund des Durchsetzungsvermögens (FORLIANCE, 2021)

Durchsetzungsvermögen	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-80%
Gering	-60%
Mittel	-40%
Hoch	-20%
Sehr hoch	0%

## 4 Schritt 3: Standortbedingte Mortalität

Der dritte Schritt widmet sich der standortbedingten Mortalität. Um diese für die unterschiedlichen Baumarten aus der Baumartenzusammensetzung II zu bestimmen, wird die Basensättigung und die Feuchtestufe des Bodens untersucht. Diese Parameter dienen auch als Grundlage für die Baumarten-Ökogramme von Ellenberg und Leuschner (2010) und werden daher in der Literatur häufig als entscheidende Standortfaktoren für das Wachstum der einzelnen Baumarten betrachtet (vgl. Kunz et al., 2020).

Um die Basensättigung des Bodens zu bestimmen und die dadurch bedingte Mortalität abzuleiten, wird die Basensättigung oder Trophie des Bodens mit dem baumartenspezifischen Nährstoffbedarf verrechnet. Gleichmaßen wird der Stauwassereinfluss und der Grundwassereinfluss untersucht und mit den baumartenspezifischen Ansprüchen an die Bodendurchlüftung abgeglichen.

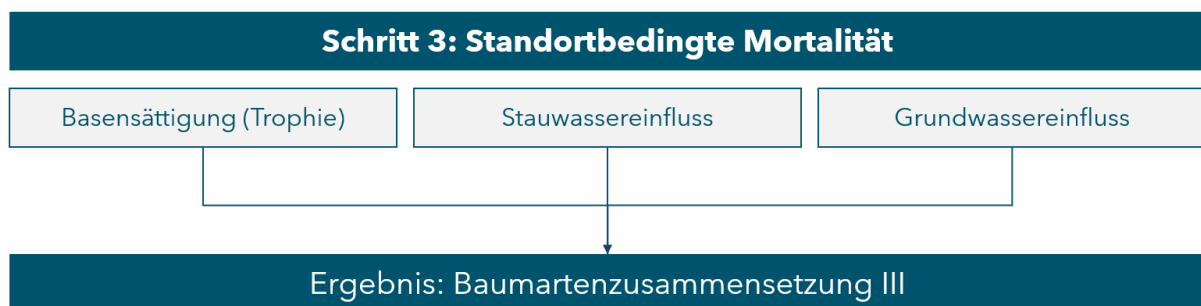


Abbildung 5: Bestimmung der standortbedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)

### 4.1 Basensättigung (Trophie)

Die Basensättigung des Bodens soll anhand der verfügbaren forstlichen Standortkartierungen ermittelt werden. Da der positive Zusammenhang zwischen Basensättigung und Trophie (Nährstoffverfügbarkeit) wissenschaftlich bewiesen ist (vgl. Evers & Paar, 2013; Kunz et al., 2020), kann alternativ auch die Trophie des Bodens angegeben werden. Die Einstufung erfolgt in fünf Kategorien:

Tabelle 7: Einstufung der Basensättigung (Trophie) (FORLIANCE, 2021)

Basensättigung nach Kunz et al. (2020)	Trophie nach Evers & Paar (2013)	Beschreibung nach Kunz et al. (2020)
Sehr basenreich	Eutroph	Gleichmäßig hohe Basensättigung von über 80% im gesamten Wurzelraum und hohe Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräte. Es tritt keine Bodenversauerung auf.
Basenreich	Gut mesotroph	Hohe Basensättigung mit hohen Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräten. Der

		oberste Mineralboden ist deutlich basenarm und versauert. Darunter steigt die Basensättigung rasch auf hohe Werte an.
Mittelbasisch	Mesotroph	Mittlere Basensättigung und mittlere Basenvorräte. Im Oberboden tiefreichend versauert und basenverarmt. Erst im Unterboden findet sich eine hohe Basensättigung mit hohen Basenvorräten.
Basenarm	Schwach mesotroph	Geringe Basensättigung mit geringen Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräten. Die Bodenversauerung reicht tief in den Wurzelraum. Erst in über einem Meter Tiefe steigt die Basensättigung auf über 20% an.
Sehr basenarm	Oligotroph	Die Basensättigung mit <20% und die Basenvorräte sind über das gesamte Profil gleichmäßig gering. Die Bodenversauerung ist tiefreichend.

Anschließend wird die standortspezifische Basensättigung mit den von Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020) definierten baumartenspezifischen Ansprüchen abgeglichen. Ergebnis ist das Anbaurisiko pro Baumart, welches ebenfalls in fünf Kategorien eingeteilt ist.

Tabelle 8: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Basensättigung (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Anbaurisiko nach Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020)				
	Sehr basenreich (eutroph)	Basenreich (gut mesotroph)	Mittelbasisch (mesotroph)	Basenarm (schwach mesotroph)	Sehr basenarm (oligotroph)
Fichte	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Tanne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Kiefer	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Lärche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Douglasie	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Buche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Stieleiche	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Traubeneiche	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Bergahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)

Spitzahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)
Feldahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)
Esche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)	Sehr hoch (5)
Winterlinde	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)	Hoch (4)
Sommerlinde	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Bergulme	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Hainbuche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (2)	Mittel (3)
Schwarzerle	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Sandbirke	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Elsbeere	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Speierling	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Vogelbeere	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Küstentanne	Mittel (3)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Schwarzkiefer	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Japanische Lärche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Roteiche	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Zerreiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Flaumeiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Französischer Ahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Wildbirne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Vogelkirsche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Edelkastanie	Gering (2)	Gering (2)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Robinie	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)

Abgeleitet von Tabelle 8 werden bei einem sehr geringen Anbaurisiko die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem geringen Anbaurisiko wird der Anteil um 20% verringert; bei einem mittleren Anbaurisiko um 40%, bei einem hohen Anbaurisiko um 60% und bei einem sehr hohen Anbaurisiko um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen dem Anbaurisiko aufgrund der Basensättigung und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

Tabelle 9: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund der Basensättigung (FORLIANCE, 2021)

Anbaurisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-0%
Gering	-20%
Mittel	-40%
Hoch	-60%
Sehr hoch	-80%

## 4.2 Stauwassereinfluss

Im Rahmen des zweiten Parameters wird untersucht, zu welchem Grad der Boden durch Stauwasser beeinflusst wird. Diese Information soll anschließend mit dem baumartenspezifischen Anbaurisiko, welches durch Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020) definiert ist, verglichen werden. Dazu muss zunächst mithilfe der verfügbaren forstlichen Standortkartierung angegeben werden, ob der Boden gering, mäßig oder stark durch Stauwasser beeinflusst ist. Tabelle 10 zeigt das davon abgeleitete Anbaurisiko pro Baumart.

Tabelle 10: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Stauwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Anbaurisiko nach Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020)		
	Anbaurisiko bei geringem Stauwassereinfluss	Anbaurisiko bei mäßigem Stauwassereinfluss	Anbaurisiko bei starkem Stauwassereinfluss
Fichte	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)
Tanne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Kiefer	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Lärche	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)
Douglasie	Sehr gering (1)	Gering (2)	Sehr hoch (5)
Buche	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Stieleiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Traubeneiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Bergahorn	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)



Spitzahorn	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Feldahorn	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Esche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Winterlinde	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)
Sommerlinde	Sehr gering (1)	Gering (2)	Sehr hoch (5)
Bergulme	Sehr gering (1)	Gering (2)	Hoch (4)
Hainbuche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Schwarzerle	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Gering (2)
Sandbirke	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Elsbeere	Sehr gering (1)	Gering (2)	Hoch (4)
Speierling	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Hoch (4)
Vogelbeere	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Küstentanne	Sehr gering (1)	Gering (2)	Gering (2)
Schwarzkiefer	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Japanische Lärche	Sehr gering (1)	Gering (2)	Hoch (4)
Roteiche	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Zerreiche	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Flaumeiche	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Französischer Ahorn	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Wildbirne	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Vogelkirsche	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Edelkastanie	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Robinie	Sehr gering (1)	Gering (2)	Sehr hoch (5)

Abgeleitet von Tabelle 10 werden bei einem sehr geringen Anbaurisiko die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem geringen Anbaurisiko wird der Anteil um 20% verringert; bei einem mittleren Anbaurisiko um 40%, bei einem hohen Anbaurisiko um 60% und bei einem sehr hohen Anbaurisiko um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen Anbaurisiko aufgrund des Stauwassereinflusses und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

Tabelle 11: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Stauwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)

Anbaurisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-0%
Gering	-20%
Mittel	-40%
Hoch	-60%
Sehr hoch	-80%

### 4.3 Grundwassereinfluss

Wie zuvor muss zunächst mithilfe der verfügbaren forstlichen Standortkartierungen angegeben werden, ob der Boden gering, mäßig oder stark durch Grundwasser beeinflusst ist. Bei starkem Grundwassereinfluss muss zusätzlich eingetragen werden, ob die betrachtete Projektfläche eben (weniger als 5 Grad) oder geneigt (mehr als fünf Grad) ist, da Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020) das baumartenspezifische Anbaurisiko entsprechend unterscheiden. Die abgeleiteten Anbaurisiken pro Baumart werden in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Baumartenspezifisches Anbaurisiko durch Grundwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Anbaurisiko nach Forster et al. (2019) und Kunz et al. (2020)			
	Geringer Grundwasser-einflus s	Mäßiger Grundwasser-einflus s	Starker Grundwasser-einflus s (Geneigt)	Starker Grundwasser-einflus s (Eben)
Fichte	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Tanne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Kiefer	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Lärche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Douglasie	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Buche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Stieleiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Traubeneiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Bergahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)

Spitzahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Feldahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Esche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Winterlinde	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Sommerlinde	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Bergulme	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Hainbuche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Schwarzerle	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)
Sandbirke	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Elsbeere	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Speierling	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Vogelbeere	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Küstentanne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Schwarzkiefer	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Japanische Lärche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Roteiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Hoch (4)
Zerreiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)
Flaumeiche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Französischer Ahorn	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Sehr hoch (5)
Wildbirne	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)
Vogelkirsche	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Mittel (3)	Hoch (4)
Edelkastanie	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Hoch (4)	Sehr hoch (5)
Robinie	Sehr gering (1)	Sehr gering (1)	Gering (2)	Mittel (3)

Abgeleitet von Tabelle 12 werden bei einem sehr geringen Anbaurisiko die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem geringen Anbaurisiko wird der Anteil um 20% verringert; bei einem mittleren Anbaurisiko um 40%, bei einem hohen Anbaurisiko um 60% und bei einem sehr hohen Anbaurisiko um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen Anbaurisiko aufgrund des Grundwassereinflusses und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die

Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

*Tabelle 13: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Grundwassereinfluss (FORLIANCE, 2021)*

Anbaurisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-0%
Gering	-20%
Mittel	-40%
Hoch	-60%
Sehr hoch	-80%

## 5 Schritt 4: Klimabedingte Mortalität

Im letzten Schritt zur finalen Bestimmung der Baumartenzusammensetzung im Baseline-Szenario wird die klimabedingte Mortalität der Baumarten aus der Baumartenzusammensetzung III bestimmt. In diesem Zuge soll zum einen das Trockenstressrisiko und zum anderen das Waldbrandrisiko untersucht werden. Andere mögliche Extremwetterereignisse wie Überflutungen oder Stürme konnten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden, da die wissenschaftliche Grundlage für standortspezifische Daten fehlt.

Für die Bestimmung des Trockenstressrisikos wird die Klimatische Wasserbilanz (KWB) mit der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum verrechnet, um die Standortwasserbilanz (SWB) zu erhalten. Dieses wird anschließend mit dem baumartenspezifischen Trockenstressrisiko nach Spellmann et al. (2020) abgeglichen. Gleichmaßen erfolgt die Bestimmung des projektspezifischen Waldbrandrisikos durch den Abgleich des standortspezifischen Waldbrandrisikos mit der baumartenspezifischen Resistenz gegen Waldbrand nach Kunz et al. (2020).

Resultat ist die finale Baumartenzusammensetzung.

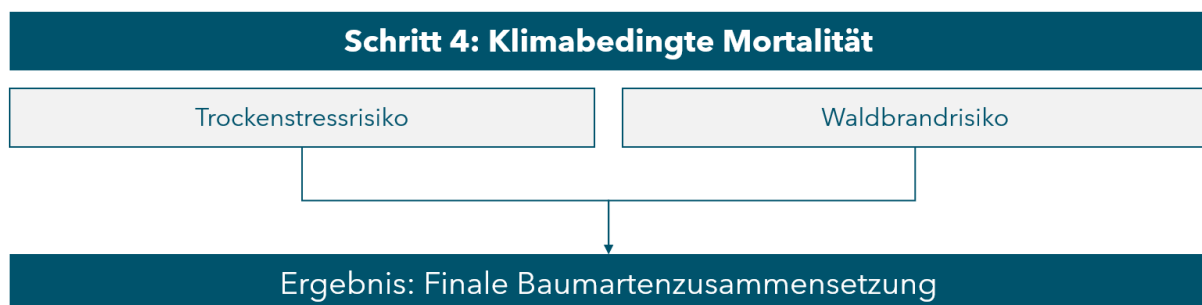


Abbildung 6: Bestimmung der klimabedingten Mortalität (FORLIANCE, 2021)

### 5.1 Trockenstressrisiko

Laut Augustin und Braun (2016) gibt es viele verschiedene Ansätze, um das Trockenstressrisiko zu bestimmen, die jedoch alle auf der Bilanzierung des Wasserhaushaltes basieren. Die wichtigsten Größen sind dabei der Niederschlag, die Verdunstung und der Bodenwasserspeicher. Durch die Verrechnung des Niederschlags mit der potenziellen Verdunstung erhält man die klimatische Wasserbilanz (KWB), welche das Wasserangebot eines Standorts oder einer Region definiert.

$$\text{Klimatische Wasserbilanz (KWB)} = \text{Niederschlag} - \text{potenzielle Verdunstung}$$

Die Klimatische Wasserbilanz kann bei Bedarf in einem [Online-Tool](#) für Klimafolgen des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung PIK e.V. und der WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH abgerufen werden.

Um eine genauere Beschreibung des Wasserangebotes eines Standorts oder einer Region zu erhalten, muss die klimatische Wasserbilanz um den Bodenwasserspeicher erweitert werden. Das Wasserangebot im Boden beeinflusst nachweislich das Wachstum und die Vitalität der Bäume. Dies trifft besonders auf die Fichte zu. Studien haben bewiesen, dass ein geringeres Wasserangebot über den Boden eine geringere Benadelung, eine stärkere Kronenverlichtung und ein reduziertes Triebwachstum zur Folge hat (Augustin & Braun, 2016).

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens hängt von verschiedenen Faktoren ab. Der entscheidende ist dabei die Bodenart, also die Zusammensetzung des Bodens aus Sand, Schluff und Ton. Je nach Zusammensetzung wird das Wasser im Boden fester oder weniger fest gebunden. Die Menge an Wasser, die gegen die Schwerkraft im Boden gehalten werden kann und den Pflanzen zur Verfügung steht, wird auch nutzbare Feldkapazität genannt. Diese ist bei sandigen Böden besonders gering, da die Poren weit sind und nur wenig Wasser gehalten werden kann. Tonige Böden hingegen sind sehr feinporig und binden das Wasser so fest, dass eine Aufnahme durch die Wurzeln nur geringfügig möglich ist. Die höchste Wasserspeicherkapazität wird daher schluffigen Böden zugeschrieben (Augustin & Braun, 2016).

Um die zuvor aufgeführte klimatische Wasserbilanz um den Bodenwasserspeicher zu erweitern, soll daher die Bodenart auf der betrachteten Projektfläche anhand verfügbarer forstlicher Standortkartierungen festgestellt werden. Bei Bedarf kann die Bodenart durch Proben und anhand eines [Tools](#) bestimmt werden (nach der AK Standortkartierung in der AG Forsteinrichtung, 2003).

Tabelle 14 zeigt die nutzbare Feldkapazität der einzelnen Bodenarten nach Blume (2010).

*Tabelle 14: Einstufung der Wasserspeicherkapazität (FORLIANCE, 2021)*

Bodenart nach Blume (2010)	Nutzbare Feldkapazität (mm) nach Blume (2010)
Grobsand	25
Mittelsand	55
Feinsand	65
Lehmiger Sand	120
Ton	120
Schluffiger Sand	135
Toniger Lehm	140
Sandiger Lehm	160

Schluffiger Lehm	170
Toniger Schluff	200
Sandiger Schluff	220
Schluff	240

Erweitert man die Klimatische Wasserbilanz (KWB) durch den Bodenwasserspeicher in Form der nutzbaren Feldkapazität (nFK) erhält man die Standortwasserbilanz (SWB), welche eine genauere Beschreibung des Wasserangebots eines Standorts oder einer Region ermöglicht.

$$\text{Standortwasserbilanz (SWB)} = \text{Klimatische Wasserbilanz} + \text{nutzbare Feldkapazität}$$

Die Standortwasserbilanz kann anschließend mit dem baumartenspezifischen Trockenstressrisiko nach Spellmann et al. (2020) abgeglichen werden, wie in Tabelle 15 abgebildet.

Tabelle 15: Baumartenspezifisches Trockenstressrisiko (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Trockenstressrisiko nach Spellmann et al. (2020)		
	Gering	Mittel	Hoch
Bergahorn	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Bergkiefer	> -200 mm	-200 bis -450 mm	< -450 mm
Bergulme	> -50 mm	-50 bis -100 mm	< -100 mm
Buche	> -50 mm	-50 bis -100 mm	< -100 mm
Douglasie	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Esche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Europäische Lärche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Feldahorn	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Fichte	> 0 mm	0 bis -80 mm	< -80 mm
Hainbuche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Japanische Lärche	> -50 mm	-50 bis -100 mm	< -100 mm
Küstentanne	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Moorbirke	> 0 mm	0 bis -80 mm	< -80 mm

Roteiche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Roterle	> 0 mm	0 bis -80 mm	< -80 mm
Sandbirke	> -200 mm	-200 bis -450 mm	< -450 mm
Schwarzkiefer	> -200 mm	-200 bis -450 mm	< -450 mm
Schwarznuß	> -50 mm	-50 bis -100 mm	< -100 mm
Sommerlinde	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Spitzahorn	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Stieleiche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Traubeneiche	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Waldkiefer	> -200 mm	-200 bis -450 mm	< -450 mm
Weißtanne	> -50 mm	-50 bis -100 mm	< -100 mm
Winterlinde	> -150 mm	-150 bis -350 mm	< -350 mm
Zirbelkiefer	> -200 mm	-200 bis -450 mm	< -450 mm

Abgeleitet von Tabelle 15 werden bei einem geringen Trockenstressrisiko die Baumartenanteile um 16,6% verändert. Bei einem mittleren Trockenstressrisiko wird der Anteil um 50,0% verringert und bei einem hohen Trockenstressrisiko um 83,3%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen Trockenstressrisiko und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aufgrund der erhöhten Empfindlichkeit der Verjüngung gegenüber Trockenstress im Vergleich zu ausgewachsenen Beständen wurden die Klassenmitten der drei Kategorien als Reduktionsfaktoren gewählt. Erst eine Standortwasserbilanz von über 0 mm zieht einen Reduktionsfaktor von 0% nach sich.

Tabelle 16: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Trockenstress (FORLIANCE, 2021)

Trockenstressrisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Gering (0-33%)	-16,6%
Mittel (33-66%)	-50,0%
Hoch (66-100%)	-83,3%

Laut Spellmann et al. (2020) ist eine solche baumartenspezifische Trockenstressrisikoanalyse für hydromorphe Standorte (Grund- und Stauwasser beeinflusste Böden) nicht geeignet. Stattdessen empfiehlt sich für solche Standorte die baumartenspezifische Eignung auf Grundlage der Nährstoffversorgung (Basensättigung) und Feuchtestufen festzustellen (Spellmann et al., 2020), wie sie in Schritt 3.2 und 3.3. untersucht



werden. Entsprechend soll der hier vorgestellte Analyseschritt übersprungen werden, wenn in Schritt 3.2 oder 3.3 festgestellt wurde, dass es sich um einen hydromorphen Standort handelt.

## 5.2 Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch

Die *Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch* berücksichtigt baumartenspezifisch die Tendenz zur tiefen und festen Durchwurzelung, die Kronenform und ob die betroffene Baumart im Winter belaubt oder unbelaubt ist (Kunz et al., 2020). Die Klassifizierung der Faktoren pro Baumart wie sie in Tabelle 10 zu sehen ist, wurde auf Basis von Otto (1994) erstellt und von Kunz et al. (2020) anhand aktueller Daten angepasst.

Tabelle 17: Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch

Baumart	Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch nach Otto (1994) und Forster et al. (2019)
Aspe	Gering (2)
Bergahorn	Hoch (4)
Bergkiefer	Sehr hoch (5)
Bergulme	Sehr hoch (5)
Buche	Hoch (4)
Eibe	Hoch (4)
Elsbeere	Sehr hoch (5)
Esche	Hoch (4)
Europ. Lärche	Hoch (4)
Feldahorn	Hoch (4)
Fichte	Sehr gering (1)
Flatterulme	Sehr hoch (5)
Grauerle	Mittel (3)
Hainbuche	Hoch (4)
Mehlbeere	Sehr hoch (5)
Moorbirke	Gering (2)
Roterle	Mittel (3)
Sandbirke	Gering (2)

Silberweide	Mittel (3)
Sommerlinde	Hoch (4)
Speierling	Sehr hoch (5)
Spitzahorn	Hoch (4)
Stieleiche	Sehr hoch (5)
Traubeneiche	Sehr hoch (5)
Vogelbeere	Sehr hoch (5)
Waldkiefer	Gering (2)
Walnuss	Hoch (4)
Weißtanne	Sehr hoch (5)
Wildapfel	Hoch (4)
Wildbirne	Hoch (4)
Wildkirsche	Hoch (4)
Winterlinde	Hoch (4)
Zirbelkiefer	Sehr hoch (5)

Bei einer sehr hohen Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch werden die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einer hohen Resistenz wird der Anteil um 20% verringert; bei einer mittleren Resistenz um 40%, bei einer geringen Resistenz um 60% und bei einer sehr geringen Resistenz um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen Resistenz gegen Windwurf und Schneebruch und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

Tabelle 18: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Waldbrandrisiko (FORLIANCE, 2021)

Waldbrandrisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-0%
Gering	-20%
Mittel	-40%
Hoch	-60%
Sehr hoch	-80%

### 5.3 Waldbrandrisiko

Für die Bestimmung des Waldbrandrisikos soll das standortspezifische Waldbrandrisiko mit der baumartenspezifischen Resistenz gegen Waldbrände abgeglichen werden.

Das standortspezifische Waldbrandrisiko kann im [Online-Tool](#) für Klimafolgen des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung PIK e.V. und der WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH abgerufen werden. Die Risikounterteilung erfolgt in fünf Klassen, wie in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 19: Einstufung des standortspezifischen Waldbrandrisikos (FORLIANCE, 2021)

Standortspezifisches Waldbrandrisiko	Bedeutung nach PIK und WetterOnline (2021)
1	Sehr geringe Gefahr
2	Gering Gefahr
3	Mittlere Gefahr
4	Hohe Gefahr
5	Sehr hohe Gefahr

Die Einordnung der baumartenspezifischen Resistenz gegen Waldbrände durch Kunz et al. (2020) erfolgt auf Basis der Entzündungstemperaturen und der Kalorienentwicklung bei Brand in lebenden und toten Pflanzen. Die Klassifizierung pro Baumart wurde auf Basis von Otto (1994) erstellt und von Kunz et al. (2020) anhand aktueller Daten angepasst. Das in Tabelle 18 dargestellte baumartenspezifische Waldbrandrisiko entspricht dem Umkehrwert der baumartenspezifischen Resistenz gegen Waldbrände nach Otto (1994) und Kunz et al. (2020), um eine Verrechnung mit dem standortspezifischen Waldbrandrisiko zu ermöglichen.

Tabelle 20: Resistenz gegen Waldbrände (FORLIANCE, 2021)

Baumart	Baumartenspezifisches Waldbrandrisiko nach Otto (1994) und Kunz et al. (2020)
Aspe	Gering (2)
Bergahorn	Sehr gering (1)
Bergkiefer	Sehr hoch (5)
Bergulme	Sehr gering (1)
Buche	Sehr gering (1)
Eibe	Hoch (4)

Elsbeere	Sehr gering (1)
Esche	Sehr gering (1)
Europ. Lärche	Gering (2)
Feldahorn	Sehr gering (1)
Fichte	Hoch (4)
Flatterulme	Sehr gering (1)
Grauerle	Sehr gering (1)
Hainbuche	Sehr gering (1)
Mehlbeere	Sehr gering (1)
Moorbirke	Hoch (4)
Roterle	Sehr gering (1)
Sandbirke	Hoch (4)
Silberweide	Gering (2)
Sommerlinde	Sehr gering (1)
Speierling	Sehr gering (1)
Spitzahorn	Sehr gering (1)
Stieleiche	Sehr gering (1)
Traubeneiche	Sehr gering (1)
Vogelbeere	Sehr gering (1)
Waldkiefer	Sehr hoch (5)
Walnuss	Sehr gering (1)
Weißtanne	Hoch (4)
Wildapfel	Sehr gering (1)
Wildbirne	Sehr gering (1)
Wildkirsche	Sehr gering (1)
Winterlinde	Sehr gering (1)
Zirbelkiefer	Hoch (4)

Aus dem standortspezifischen Waldbrandrisiko und der baumartenspezifischen Resistenz gegen Waldbrände soll anschließend der Mittelwert gebildet werden, um so das Waldbrandrisiko pro Baumart festzustellen.

Bei einem sehr geringen Waldbrandrisiko die Baumartenanteile nicht verändert. Bei einem geringen Waldbrandrisiko wird der Anteil um 20% verringert; bei einem mittleren Waldbrandrisiko um 40%, bei einem hohen Waldbrandrisiko um 60% und bei einem sehr hohen Waldbrandrisiko um 80%. Wie bereits in den vorherigen Analyseschritten dargestellt, fehlen auch hier wissenschaftliche Grundlagen, um den direkten Zusammenhang zwischen Waldbrandrisiko und Reduktionsumfang zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch hier die Klassenuntergrenzen der fünf Kategorien als Reduktionszahlen gewählt, um dem Prinzip der Konservativität gerecht zu werden.

*Tabelle 21: Reduktion der Baumartenanteile aufgrund von Waldbrandrisiko (FORLIANCE, 2021)*

Waldbrandrisiko	Reduktion der Baumartenanteile
Sehr gering	-0%
Gering	-20%
Mittel	-40%
Hoch	-60%
Sehr hoch	-80%

## 6 Kohlenstoffspeicherung

### 6.1 Finale Baumartenzusammensetzung

Als Ergebnis der vier vorangegangenen Analyseschritte erhält man die finale Baumartenzusammensetzung. Aufgrund der verschiedenen Reduktionsfaktoren addiert diese mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr auf 100%, wie es zu Beginn der Fall war. Dies ist aus wissenschaftlicher Sicht akzeptabel, da auf Sturmflächen ein Naturverjüngungspotenzial von 33 bis 83 Prozent (Brang, 2005) festgestellt wurde.

### 6.2 Waldwachstum

Aufbauend auf dieser finalen Baumartenzusammensetzung wird der durchschnittliche jährliche Biomassezuwachs des modellierten naturverjüngten Bestandes im Baseline-Szenario berechnet. Dafür werden zunächst die jährlichen Zuwachsraten des Vorrates der dritten Bundeswaldinventur (Thünen-Institut, 2012) entnommen und anhand der Baumartengruppierung (BLE, 2021) den verschiedenen Baumarten zugeordnet. Anschließend werden diese Zuwachsraten durch Multiplikation mit den baumartenspezifischen Biomasseexpansionsfaktoren, Holzdichten und Wurzel-Spross-Verhältnissen in ober- und unterirdischen Biomassezuwachs umgerechnet. Im Baseline Tool wurden dafür zunächst die Werte des Weltklimarates (IPCC, 2003) verwendet. Durch Gewichtung der Baumartenanteile erhält man so den durchschnittlichen jährlichen Biomassezuwachs des modellierten naturverjüngten Bestandes im Baseline-Szenario.

### 6.3 Berechnung der Kohlenstoffspeicherung

Da die Hälfte des Holzkörper aus Kohlenstoff besteht, wird der ober- und unterirdische Biomassezuwachs mit 0,5 multipliziert, um den Kohlenstoffgehalt (C) zu berechnen (IPCC, 2003). Um im nächsten Schritt den Kohlenstoffdioxidgehalt (CO<sub>2</sub>) zu erhalten, wird der Kohlenstoffgehalt mit dem Umrechnungsfaktor 3,67 multipliziert. Dieser ergibt sich aus dem Massenverhältnis zwischen Kohlenstoff und Kohlenstoffdioxid (IPCC, 2003). So erhält man die CO<sub>2</sub>-Speicherleistung des modellierten naturverjüngten Bestandes im Baseline-Szenario.

## 7 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Die vorgestellte Studie verfolgt das Ziel die natürliche Wiederbewaldung auf Kalamitätsflächen wissenschaftlich fundiert zu modellieren, um darauf aufbauend den Kohlenstoffgehalt im Baseline Szenario im Scope Wald-Wiederaufbau zu bestimmen.

Basierend auf zahlreichen wissenschaftlichen Studien von renommierten Versuchs- und Forschungsanstalten wurden vier detaillierte Analyseschritte entwickelt, um die Modellierung der natürlichen Wiederbewaldung auf Kalamitätsflächen zu ermöglichen. Diese Analyseschritte wurden nach den Kriterien der Wissenschaftlichkeit, Konservativität und Praktikabilität entwickelt. Dennoch gibt es Einschränkungen, auf deren Basis die folgenden Empfehlungen formuliert wurden.

Wie bereits in der Studie hingewiesen, mangelt es an wissenschaftlicher Grundlage, um den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Risiken und dem Reduktionsumfang der Baumartenanteile festzulegen. Vorrübergehend wurden daher die Untergrenzen der Risikoklassen als Reduktionszahlen übernommen, um so dem Prinzip der Konservativität zu entsprechen. Dennoch wird an dieser Stelle empfohlen, eine breitere wissenschaftliche Grundlage dafür zu schaffen.

Auch wurden für jeden Analyseschritt verschiedene Studien als Grundlage verwendet. Dies hat zur Folge, dass die verschiedenen Analyseschritte nur für bestimmte Baumarten anwendbar sind. Eine Erweiterung der Baumartenlisten der verschiedenen Studien ist daher zu empfehlen.

Generell wird empfohlen die vorgestellte Studie zur Modellierung des Baseline-Szenarios auf Kalamitätsflächen langfristig wissenschaftlich begleiten zu lassen.

## Literaturverzeichnis

- AK Standortkartierung in der AG Forsteinrichtung. (2003). *Forstliche Standortaufnahme*. Eching, Deutschland: IHW-Verlag.
- Augustin, S., & Braun, S. (2016). *Der Wasserhaushalt der Waldböden*. Zürich, Schweiz.
- Avila, A. L., Häring, B., Rheinbay, B., Brüchert, F., Hirsch, M., & Albrecht, A. (2021). *Artensteckbriefe 2.0*. Freiburg, Deutschland: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA BW).
- Baumann, M., Brang, P., Burger, T., Eyholzer, R., Herzog, S., Imesch, N., . . . Wehrli, A. (2010). Wald und Wild – Grundlagen für die Praxis. (B. f. (BAFU), Hrsg.) *Umwelt-Wissen, 1013*, S. 9-32.
- Benayas, J. M., & Bullock, J. M. (2015). Vegetation Restoration and Other Actions to Enhance Wildlife in European Agricultural Landscapes. In H. M. Pereira, & L. M. Navarro, *Rewilding European Landscapes* (S. 127-142). Basingstoke, Vereinigtes Königreich: Springer Open.
- BLE. (2021). *Fachbegriffe und Abkürzungen*. Von Bundeswaldinventur: <https://www.bundeswaldinventur.de/service/fachbegriffe-und-abkuerzungen/> abgerufen
- Blume, H.-P., Brümmner, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., . . . Welp, G. (2010). Böden als Pflanzenstandorte. In H.-P. Blume, G. W. Brümmner, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, . . . G. Welp, *Lehrbuch der Bodenkunde* (S. 379-448). Heidelberg, Deutschland: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bossuyt, B., & Hermy, M. (2001). Influence of land use history on seed banks in European temperate. *Ecography, 24*, S. 225-238.
- Brang, P. (2005). Räumliche Verteilung der Naturverjüngung auf grossen Lothar-Sturmflächen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (SZF), 156*, pp. 467-476.
- Brang, P., Wohlgemuth, T., Bachofen, H., Kramer, K., Wasem, U., & Schwyzer, A. (2013). *Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz: Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012*. Birmensdorf, Switzerland: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft,.
- Ellenberg, H., & Leuschner, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Stuttgart, Deutschland: Ulmer Verlag.
- Evers, J., & Paar, U. (2013). *Bodenzustandserhebung (BZE II) und Standortkartierung*. Göttingen, Deutschland: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt.
- Forster, M., Falk, W., Dr. Reger, B., Blaschke, M., Franz, C., Kanold, A., . . . Weber, K. (2019). *Klima – Boden – Baumartenwahl (Praxishilfe)*. Freising, Deutschland: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- FVA BW. (2000). *Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen*. Freiburg im Breisgau, Germany: Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.



- Hagen, R., Kühl, N., Kröschel, M., & Suchant, R. (2020). Verbiss an Tanne und Eiche in Baden-Württemberg: Ein Vergleich zwischen nadelbaum- und laubbaumdominierten Waldbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 190. Jg.(7/8), S. 161-168.
- IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Genf, Schweiz.
- Klett. (2016). Verbreitung von Früchten und Samen. In *Natura Biologie, Naturphänomene und Technik* 5/6 (S. 403-406). Stuttgart, Deutschland: Ernst Klett Verlag GmbH,.
- Koch, R., & Brang, P. (2005). *Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar: Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL*. Birmensdorf, Switzerland: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Kunz, J. D., Mellert, K.-H. D., Forster, M., Falk, W., Seho, M. D., Reger, B. D., & Klemmt, H.-J. D. (2020). *Klima - Boden - Baumartenwahl (Praxishilfe, Band II)*. Freising, Deutschland: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- Martens, A. P., & Wiegel, U. (2012). *Von Früchten und Samen das Fliegen lernen*. Stuttgart, Deutschland: Baden-Württemberg Stiftung gGmbH.
- Meier, F., Engesser, R., Forster, B., Odermatt, O., & Angst, A. (2014). Forstschutz-Überblick 2013. *WSL Berichte*, 11, S. 16-18.
- Muntendorf, J. (2021). *Wildschäden im Wald – Schälschaden und Wildverbiss*. Abgerufen am August 2021 von Stiftung Unternehmen Wald: <https://www.wald.de/forstwirtschaft/waldschutz/wildschaeden-verbisschaeden/>
- Nobis, M., & Bürgi, A. (2004). Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen. In C. Angst, A. Bürgi, P. Duelli, S. Egli, U. Heininger, K. Hindenlang, . . . T. Wohlgenuth, *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms "LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte"* (pp. 78-85). Birmensdorf, Switzerland: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Nussbaumer, A., Waldner, P., Etzold, S., Gessler, A., Benham, S., Thomsen, I. M., . . . Wauer, A. (1. März 2016). Patterns of mast fruiting of common beech, sessile and common oak, Norway spruce and Scots pine in Central and Northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 363, S. 237-251.
- Otto, H.-J. (1994). *Waldökologie*. Stuttgart, Deutschland: Verlag Eugen Ulmer.
- PIK und WetterOnline. (2021). *Waldbrandrisiko*. Von KlimafolgenOnline: <https://www.klimafolgenonline.com/> abgerufen
- Rothkegel, W., Ruppert, O., & Klemmt, H.-J. (2020). Pionierbaumarten im Klimawandel - standörtliche und waldbauliche Aspekte. *LWF aktuell*, 127, 20-23.
- Schreiner, M. (2001). *Vorkommen und Ausbreitung von Brombeeren sowie ihre Bedeutung für die Naturverjüngung von Tannen-Fichten-Wäldern - dargestellt am Beispiel der Region "Oberer Neckar"* (Vol. 31). Freiburg im Breisgau, Germany: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Projektbereich Waldökologie.

Spellmann, H., Sutmöller, J., Schulz, C., & Nagel, R.-V. (2020). *Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenauswahl*. Göttingen, Deutschland: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt.

Thünen-Institut. (2012). *Dritte Bundeswaldinventur (2012)*. Abgerufen am Oktober 2021 von Thünen: <https://bwi.info/?lang=de>