

WALDBDRANDPRÄVENTION



Eine Übersicht über kurzfristig-technische und langfristig-konzeptionelle Maßnahmen

Alice Brüssel-Kurbanov

Betreuer: Alexander Held, European Forest Institute



HAUSARBEIT IM RAHMEN DES MASTERSTUDIENGANGS
„UMWELTWISSENSCHAFTEN“



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
1. EINLEITUNG	5
1.1 ANLASS UND PROBLEMSTELLUNG	5
1.2 ZIELE DER ARBEIT	6
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	7
2.1 GRUNDLAGEN DES FEUERVERHALTENS	7
2.2 WALDBRÄNDE IN DEUTSCHLAND	9
2.2.1 Auswirkungen von Waldbränden	11
2.2.2 Ursachen für Waldbrände.....	11
2.3 WALDBESTAND UND –VERTEILUNG	13
2.4 GESETZLICHE GRUNDLAGEN DES VORBEUGENDEN WALDBRANDSCHUTZES.....	13
3. MAßNAHMEN ZUR WALDBRANDPRÄVENTION	15
3.1 KURZFRISTIGE MAßNAHMEN	15
3.1.1 Waldbauliche Maßnahmen	15
3.1.2 Technische Maßnahmen.....	19
3.1.3 Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen	23
3.2 LANGFRISTIGE MAßNAHMEN	23
3.2.1 Konzeptioneller Waldumbau	24
3.2.2 Baumartenzusammensetzung.....	25
3.2.3 Waldbodensanierung.....	28
3.2.4 Waldschutzflächen.....	29
3.2.5 Langfristige kommunikative Maßnahmen	30
3.3 MAßNAHMEN DES ABWEHRENDEN BRANDSCHUTZES	31
3.3.1 Nachsorgende Maßnahmen	33
4. FAZIT	34
LITERATURVERZEICHNIS	35
ANHANG	39
CHECKLISTE FÜR FLÄCHENEIGENTÜMER ZUM VORBEUGENDEN WALDBRANDSCHUTZ	39

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Veränderung der Waldbrandgefahr in Europa (Kovats & Valentini, 2014) ...</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 2: Feuerdreieck (eigene Darstellung)</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3: Feuerverhaltensdreieck (eigene Darstellung)</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4: Entwicklung eines Feuers in Hanglage (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019).....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 5: Anzahl von/betroffene Flächen (in Hektar) bei Waldbränden in Deutschland (Statista, 2021)</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 6: Anzahl Waldbrände nach Ländern (Umweltbundesamt, 2021).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 7: Waldbrandfläche nach Bestandsart (Umweltbundesamt, 2021)</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 8: Waldfläche der BRD nach Eigentumsart (BMEL, 2018)</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 9: Aufbau Schutzstreifen mit Wundstreifen (eigene Darstellung, nach Müller (2020))</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 10: Beispielhafter Aufbau eines Waldbrandriegels (eigene Darstellung, nach Müller (2020)).....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 11: Waldbrandwarnschild in Brandenburg (MAZ Online, 2021).....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 12: Interaktion von Störfaktoren. Die Größe der Sektoren im äußeren Kreis gibt die Verteilung der Störfaktoren in der berücksichtigten Literatur wieder, während die Flüsse durch die Kreismitte die relative Häufigkeit von Interaktionen beschreibt (Seidl, et al., 2019, p. 340).....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 13: Flächenanteile der Mischungsformen an der Gesamtwaldfläche in % (Umweltbundesamt, 2019, p. 126).....</i>	<i>26</i>

Abkürzungsverzeichnis

AWFS	Automatisiertes Waldbrand-Frühwarnsystem
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (bis 2013)
EFFIS	European Forest Fire Information System
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
GAK	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“
LWE	Löschwasserentnahmestelle
RGB Sensor	Rot-Grün-Blau Farbsensor
WKR	Projekt „Waldbrand-Klima-Resilienz“

1. Einleitung

1.1 Anlass und Problemstellung

Während in südeuropäischen Ländern wie Griechenland und Italien Waldbrände eine große Gefährdung darstellen, wurde Deutschland bisher nicht als Risikogebiet betrachtet. Aufgrund von immer höheren Jahresdurchschnittstemperaturen in Kombination mit geringeren Niederschlagsmengen in Frühjahr, Sommer und Herbst, steigt jedoch auch in Deutschland die Waldbrandgefahr (Umweltbundesamt, 2021). Die klimatischen Veränderungen und Extremwetterereignisse sind auf den Klimawandel zurückzuführen und werden nach Expertenmeinung zukünftig zunehmen. Demzufolge werden immer häufiger Sturm, Starkregenereignisse und Hitzewellen auftreten, zudem nimmt die Anzahl der heißen Sommernächte zu. Die Waldbrandgefahr steigt dadurch kontinuierlich, auch in den Ländern, die ursprünglich keine Prädisposition besaßen. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der

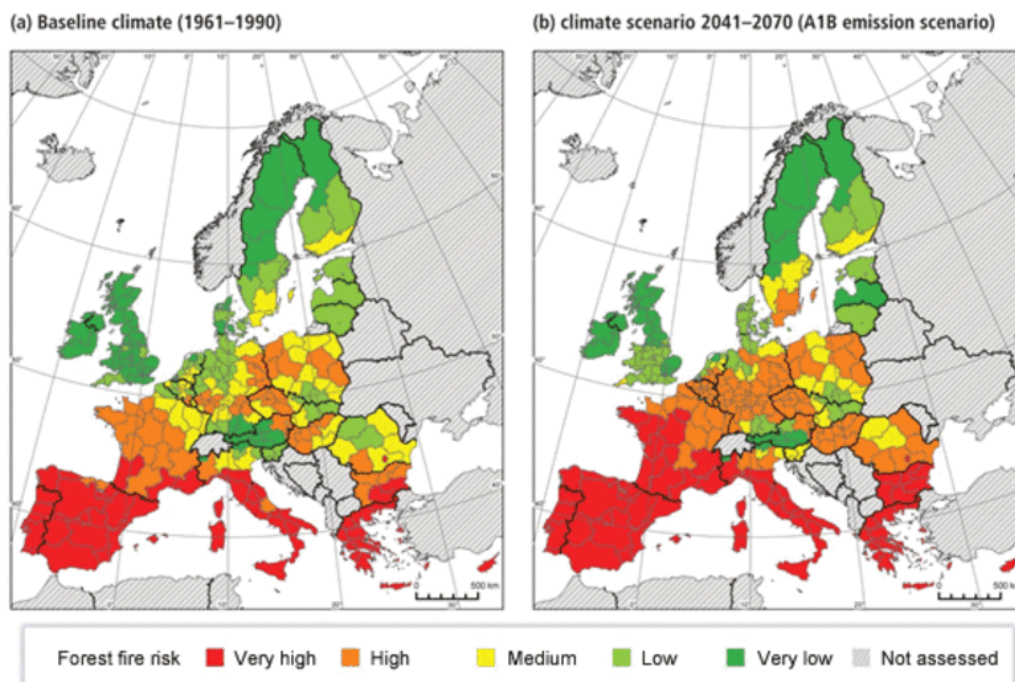


Abbildung 1: Veränderung der Waldbrandgefahr in Europa (Kovats & Valentini, 2014)

Waldbrandgefahr in Europa, in der die Zunahme des Attributs „high forest fire risk“ in Deutschland deutlich erkennbar ist.

Zunehmend breiten sich die Brände auch auf andere Landschaftsformen wie landwirtschaftliche Nutzflächen, Naturschutzgebiete und munitionsbelastete Truppenübungsplätze aus. Teilweise werden ländliche Siedlungen bedroht und Einwohner müssen evakuiert werden (Goldammer, 2020).

In den vergangenen Jahren stiegen die durch Waldbrände verursachten Schadensflächen und damit auch Schadenssummen in Deutschland exponentiell (ebd.). Besonders betroffen sind die nordöstlichen Bundesländer wie Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen, da dort ausgedehnte Kiefernwälder mit leicht brennbarer Bodenvegetation und sandige Böden vorherrschen (Kaulfuß, 2011a). Kapitel 2.1 wird die Häufigkeit und Ausdehnung der Waldbrände in Deutschland näher beleuchten.

In diesem Zusammenhang erhält das Thema der Waldbrandprävention eine hohe Bedeutung, denn durch sie können Waldbrände verhindert oder in ihrer Ausbreitung verringert werden, zudem werden Vorgänge des abwehrenden Brandschutzes unterstützt (Süssner, 2020). Essentiell ist es, die verantwortlichen Personengruppen wie Waldbesitzer und Forstpraktiker mit dem notwendigen Wissen zu versorgen, damit sie die für ihre Zwecke richtigen Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes ergreifen können. In Kapitel 2.2 wird aufgezeigt, wie die Eigentumsverteilung der Waldfläche in Deutschland ist und wie der Wissensstand hinsichtlich Waldbrandpräventionsmaßnahmen unter Waldbesitzern und Revierleitern ist.

Hinzuzufügen ist, dass die durch den Klimawandel geschwächten Wälder in Deutschland und Europa zusätzlich mit weiteren Herausforderungen konfrontiert werden, bspw. dem zunehmenden Insektenbefall und Windwurf (Forzieri, et al., 2021). Daher werden in Kapitel 3.2 Maßnahmen beschrieben, die nicht nur der Waldbrandprävention dienen, sondern insgesamt einen klimaresilienten Wald fördern können, welcher Widerstandskraft gegen die vielfältigen schadhaften Einflüsse aufbaut.

1.2 Ziele der Arbeit

Im Zuge dieser Arbeit soll eine Maßnahmenpalette der Waldbrandprävention erarbeitet werden, welche sich in verschiedene Teilbereiche untergliedert. So wird

zwischen kurz- und langfristigen sowie technischen und konzeptionellen Ansätzen unterschieden. Ziel ist es, aufgrund der Dynamik der Feuerentstehung und der Faktoren, die Feuerverhalten beeinflussen, herzuleiten, welche Methoden in bestimmten Bereichen sinnvoll und effektiv sind. Ein Fokus wird auf den langfristigen waldbaulichen Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz eines Waldes liegen, da mithilfe dieser Ansätze Synergieeffekte in Bezug auf Klimawandelanpassung und Ökosystemschutz erreicht werden (WKR, 2020). Idealerweise können die Ergebnisse der Arbeit eine Hilfestellung für Forstpraktiker und Waldbesitzer darstellen. In Kapitel 2.3 wird zusätzlich auf die gesetzlichen Verpflichtungen in Bezug auf den vorbeugenden Waldbrandschutz eingegangen, um einen Überblick über die Pflichten seitens der Waldbesitzer zu geben. Die praktische Verwertbarkeit der zusammengetragenen Erkenntnisse ist bei einem drängenden Thema wie diesem von besonderer Bedeutung, weshalb eine „Checkliste für Waldeigentümer“ zur Verfügung gestellt wird. Mithilfe dieser Liste im Anhang der Arbeit können die einzelnen Maßnahmen nach und nach vervollständigt werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen des Feuerverhaltens

Für das Auftreten eines Feuers müssen grundsätzlich drei Faktoren vorhanden sein: Hitze, Sauerstoff und Brennmaterial (Heikkilä, et al., 2010). Dies wird im Allgemeinen anhand des Feuerdreiecks dargestellt, siehe Abbildung 2.

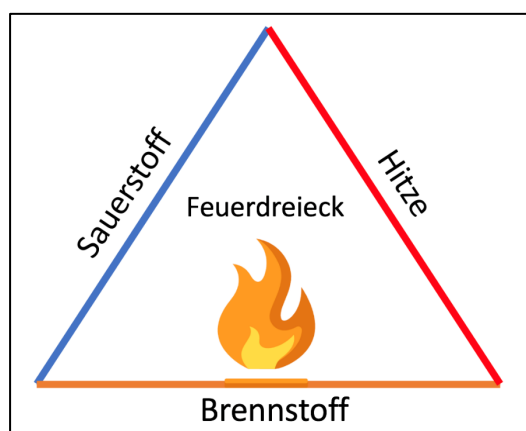


Abbildung 2: Feuerdreieck (eigene Darstellung)

Für die Auswirkung des Feuers auf die Vegetation ist zudem das Zusammenspiel von Topografie, Wetter und Brennstoff relevant, welches in der Literatur als Feuerverhaltensdreieck beschrieben wird, s. Abbildung 3 (ebd.).

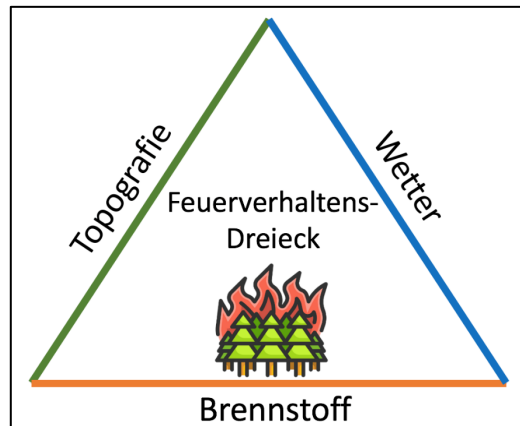


Abbildung 3: Feuerverhaltensdreieck (eigene Darstellung)

Die topografischen Gegebenheiten beeinflussen maßgeblich, wie schnell sich ein Vegetationsfeuer verbreitet: Feuer brennen unter gleichen Bedingungen hangaufwärts weitaus schneller als hangabwärts, da bei sich nach oben ausbreitenden Feuern die Bodenvegetation durch hochzügelnde Flammen bereits vorehitzt wird (Teusan, 2018). Zudem können sich aufgrund der vorherrschenden Aufwinde am Hang Brände schnell ausbreiten; je steiler der Hang, desto schneller das Feuer. Unter Umständen breitet sich das Feuer auch hangabwärts aus, etwa wenn brennende Teile und abgesprengtes Geröll bergab rollen (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019). Abbildung 4 verdeutlicht die Feuerausbreitung in Hanglage.

Die Exposition ist weiterhin entscheidend, da die Sonneneinstrahlung Temperatur, Feuchtigkeit und Vegetationszusammensetzung beeinflusst.

Wettereigenschaften wie Luftfeuchtigkeit, Windstärke und -richtung und Niederschlagsverhalten können das Feuerverhalten wesentlich bestimmen. Längere Trockenphasen lassen die Bodenfeuchtigkeit absinken, ab weniger als 15% Wassergehalt im Boden besteht eine wesentlich erhöhte Brandgefahr. Das Risiko steigt ebenfalls mit abnehmender Luftfeuchtigkeit, unter 50% sind als kritisch einzustufen (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019).



Abbildung 4: Entwicklung eines Feuers in Hanglage (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019)

Das mit dem Feuerdreieck übereinstimmende Parameter „Brennstoff“ beschreibt die vorhandene Brennlast: Je mehr brennbares Material wie dünnes Totholz, Bodenvegetation und Laub auf einer Fläche vorhanden ist und je dichter einzelne Bäume wachsen, desto einfacher kann sich ein Feuer ausbreiten. Durch dichte vertikale Verteilung der Brennlast wird ein „Hochklettern“ des Feuers begünstigt. Entscheidend bei dem Faktor Brennstoff sind Größe, Volumen, Art und Zustand, zusammenfassend die Eigenschaften des Brennmaterials (Heikkilä, et al., 2010). Essentiell ist, dass die verschiedenen Faktoren, die zu einem Waldbrand führen, und ihre Wechselwirkungen gut verstanden sind um daraus entsprechende Taktiken für die Brandbekämpfung zu entwickeln.

Anhand der Dreiecke wird deutlich, dass sich präventiv am Ehesten der Faktor „Brennstoff“ beeinflussen lässt, da Wetter, Topografie und Sauerstoff feste Größen sind. In der Folge stellt sich die Frage, wie sich das Brennmaterial verringern lässt. Hierfür gibt es verschiedene Konzepte, die detailliert in Kapitel 3 beschrieben werden.

2.2 Waldbrände in Deutschland

In den vergangenen Jahren wurden überdurchschnittlich viele Waldbrände in Deutschland registriert, wie Abbildung 5 verdeutlicht.

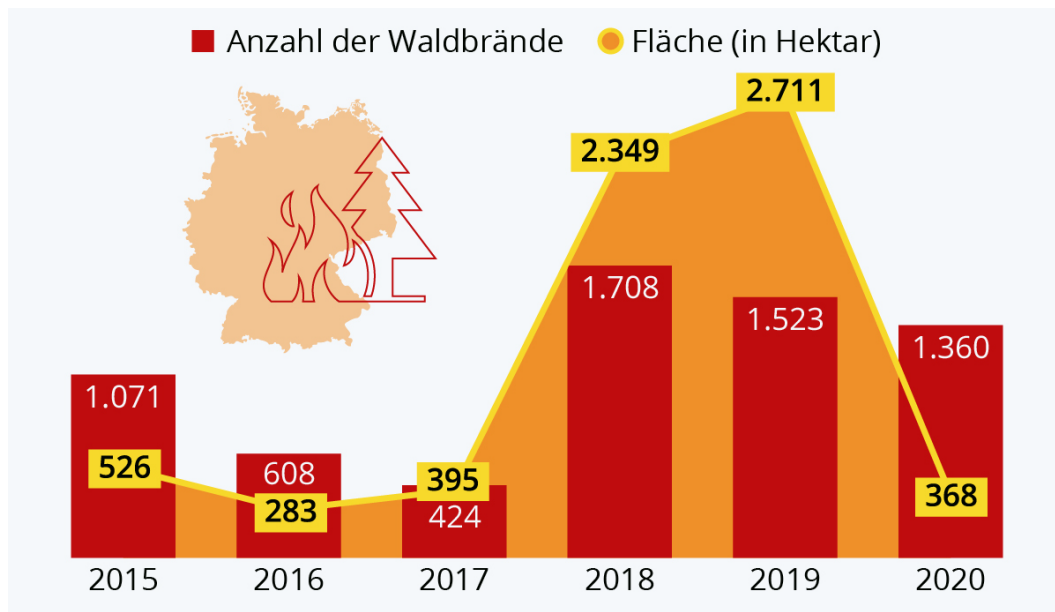


Abbildung 5: Anzahl von/betroffene Flächen (in Hektar) bei Waldbränden in Deutschland (Statista, 2021)

Die Tendenz ist einerseits durch die immer häufiger auftretenden Extremwetterlagen mit großer Hitze und ausbleibenden Niederschlägen zu begründen. Diese Entwicklung ist laut Expertenmeinung auf den Klimawandel zurückzuführen und wird sich in den kommenden Jahren weiter zuspitzen (Umweltbundesamt, 2021). Andererseits können sich die verheerenden Großfeuer unter Umständen auch durch fehlendes Wissen in Bezug auf Waldbrandschutz erklären lassen. Da Deutschland kein traditionelles Waldbrand-Risikogebiet ist, sind dementsprechend weniger Experten präsent, die in Notsituationen eingreifen und die ansässigen Feuerwehrmitarbeiter schulen können. In der klassischen Feuerwehrausbildung in Deutschland wird das Thema Wald- und Vegetationsbrand nur in Einzelfällen thematisiert, weshalb ggf. ein Wissensdefizit unter Einsatzkräften besteht (Resilience Blog, 2021).

In der Ausbreitung lässt sich ein regionaler Unterschied erkennen, denn die nordöstlichen Bundesländer sowie das Oberrheinische Tiefland sind aufgrund der dort vorherrschenden klimatischen und hydrologischen Gegebenheiten stärker betroffen als das restliche Deutschland. Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Waldbrände pro Bundesland, wobei die nordöstlichen Länder mit ihren weitläufigen Nadelwäldern und sandigen Böden eindeutig hervorstechen.

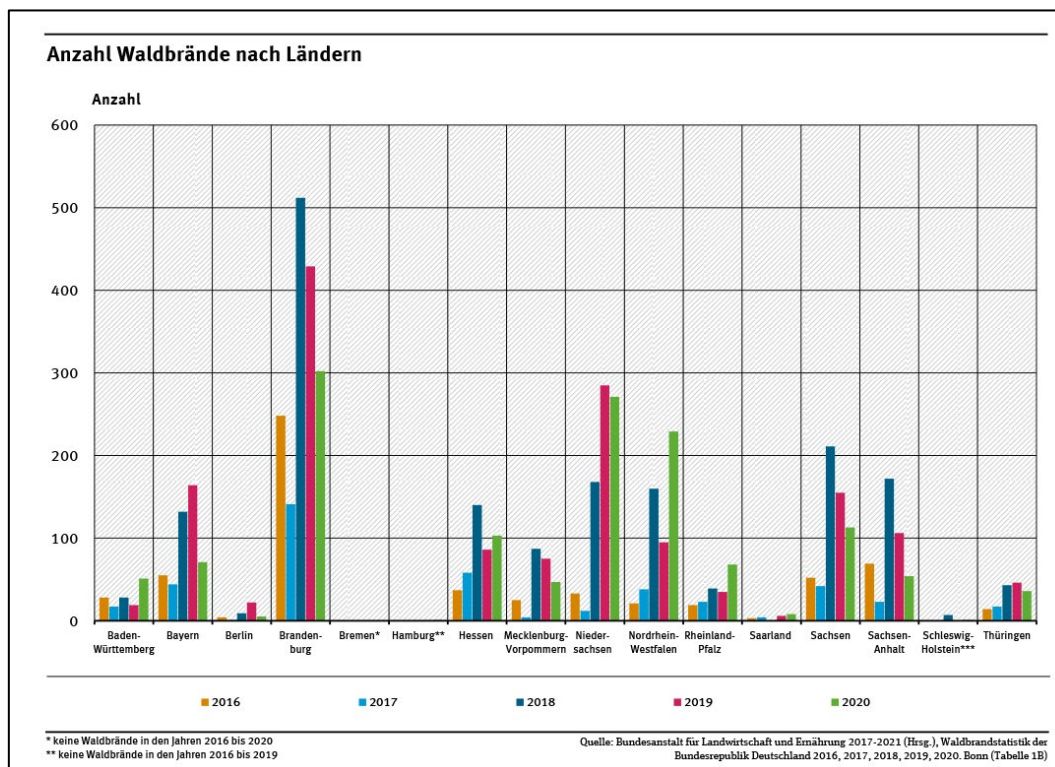


Abbildung 6: Anzahl Waldbrände nach Ländern (Umweltbundesamt, 2021)

2.2.1 Auswirkungen von Waldbränden

Je nach Art eines Waldbrandes wird das Waldökosystem unterschiedlich stark beeinflusst. Man unterscheidet zwischen Erdfeuern, Boden- oder Lauffeuern und Kronen- bzw. Vollfeuern. Erdfeuer sind insbesondere für Wurzeln und Samen schädlich, während Bodenfeuer die bodennahe Vegetation verbrennen und Nährstoffe ausgewaschen werden. Bei Kronen- oder Vollfeuern vergrößern sich Bodenfeuer bis in den Kronenbereich und zerstören oftmals den gesamten Bestand, wenn Assimilationsorgane und Knospen verbrennen.

Verbrannte Wälder können nicht mehr als Kohlenstoffsinken fungieren, zudem werden gesundheitsschädliche Emissionen wie Feinstaub, Dioxine und Treibhausgase freigesetzt, was die CO₂ Bilanz negativ beeinflusst (Umweltbundesamt, 2021).

2.2.2 Ursachen für Waldbrände

Gemäß der Waldbrandstatistik für die Bundesrepublik Deutschland ist die häufigste bekannte Ursache (mehr als 50% der Fälle konnten 2020 nicht aufgeklärt werden) für Waldbrände das menschliche Fehlverhalten, entweder durch

Fahrlässigkeit oder Vorsatz. Zu Fahrlässigkeit zählen in diesem Zusammenhang land- und forstwirtschaftliche Maßnahmen sowie unvorsichtiges Verhalten durch Waldbesucher und Camper (BMEL, 2021a). Natürliche Brandursachen wie Blitzschlag waren 2020 nur für 2% der Waldbrände der Auslöser (ebd.). Ausschlaggebend für die Entstehung und Ausbreitung von Waldbränden sind außerdem Witterung und Waldbestand. Nach längeren Trockenheitsperioden steigt das Waldbrandrisiko, auch im Winter bei fehlender Schneedecke. Den jahreszeitlichen Schwerpunkt haben Waldbrände vom Spätfrühjahr bis zum Herbst (Umweltbundesamt, 2021). Des Weiteren ist ein Nadelwald mit dichtem Unterwuchs tendenziell stärker gefährdet als ein mehrschichtiger Mischwald mit hohem Laubholzanteil, wie Abbildung 7 verdeutlicht. Dies liegt zum einen an den im Nadelholz enthaltenen ätherischen Ölen und Harzen, die bei Trockenheit leicht entflammbar sind, zum anderen an der höheren Wasserspeicherkapazität von Laubbäumen (ebd.).

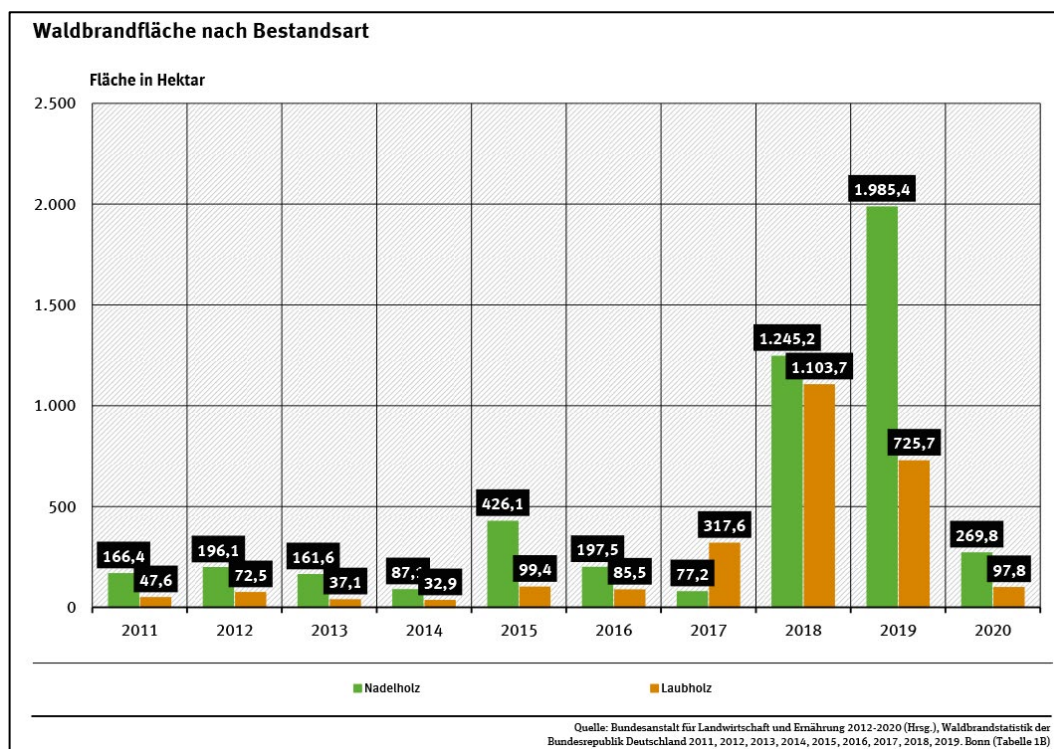


Abbildung 7: Waldbrandfläche nach Bestandsart (Umweltbundesamt, 2021)

Aufgrund dieser Tatsache ist der Waldumbau hin zu einem resilienten Mischwald in Bezug auf Waldbrandprävention ein essentieller Baustein.

2.3 Waldbestand und –verteilung

Der höchste Anteil der 11,4 Mio. Hektar großen Waldfläche in Deutschland macht der Privatwald aus (48%), wie Abbildung 8 verdeutlicht. Die Eigentumsgrößen des Privatwalds sind oftmals mit weniger als 20 Hektar Größe recht klein, sodass Waldbesitzer teilweise mit den Herausforderungen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung wenig vertraut sind (BMEL, 2018).

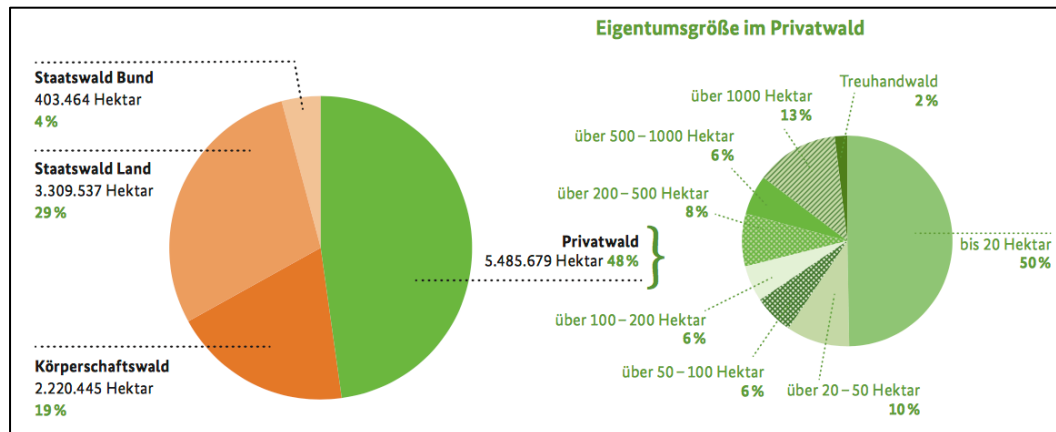


Abbildung 8: Waldfläche der BRD nach Eigentumsart (BMEL, 2018)

Daher liegt ein Augenmerk der Bundes- und Landespolitik darauf, Kleinwaldbesitzer durch unterschiedliche Maßnahmen zu unterstützen und über zeitgemäße Waldpflege, Klimawandelanpassung und Schadensabwehr aufzuklären (ebd.).

Eine 2021 durchgeführte Umfrage unter Forstbesitzern und Revierleitern in Deutschland ergab, dass ein Großteil ihren Wissensstand zu Waldbrandprävention als eher-niedrig bis mittel einschätzen würden (Maier, 2021). Auffällig ist, dass die waldbranderefahrenen Bundesländer deutlich aktiver sind als diejenigen, die das Waldbrandrisiko auf ihren Flächen als niedrig einschätzen bzw. noch nie durch Waldbrand betroffen waren.

2.4 Gesetzliche Grundlagen des vorbeugenden Waldbrandschutzes

Grundsätzlich geben die Gesetzgeber auf EU-, Bundes- und Landesebene Regelungen für den Waldbrandschutz vor. Durch die EU wurde eine internationale Klassifizierung von Waldbrandgefahrenklassen etabliert, zudem stehen mehrere Fördermöglichkeiten für Waldbesitzer zur Verfügung. Die Bundes- und Landeswaldgesetze geben Regelungen zum vorbeugenden Brandschutz wie ein

generelles Rauchverbot und Umgang mit offenen Feuern vor. Die Zuständigkeit für die Ausgestaltung der Regelungen liegt bei den Bundesländern, wobei teilweise auch die jeweiligen Feuerwehr-, Brandschutz- und Katastrophenschutzgesetze beim Thema Waldbrandprävention und –bekämpfung Anwendung finden. Je nach Waldbrandgefährdung eines Bundeslandes sind die Regelungen unterschiedlich umfangreich (Kaulfuß, 2016). Die einzelnen Landeswaldgesetze können online aufgerufen werden, die Website www.waldhilfe.de bietet hierfür einen Überblick.

Aktivitäten zur Waldbrandprävention sind generell durch den Waldbesitzer zu tragen. Besonders in den waldbrandgefährdeten Bundesländern gibt es jedoch Fördermöglichkeiten, die waldbauliche Maßnahmen, bspw. die Anlage von Wundstreifen, Wasserentnahmestellen und Verbindungswegen, unterstützen (ebd.).

Durch die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) der Bundesregierung werden finanzielle Hilfen zur Waldbewirtschaftung über den Bund und auch über die EU im Rahmen des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) zur Verfügung gestellt. Zumeist erfolgt sie über eine Anteilsfinanzierung und ist auf Privat- und Kommunalwälder begrenzt. Folgende Maßnahmengruppen sind förderfähig (BMEL, 2021b):

1. Naturnahe Waldbewirtschaftung
2. Forstwirtschaftliche Infrastruktur
3. Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse
4. Erstaufforstung
5. Vertragsnaturschutz im Wald
6. Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der durch Extremwetterereignisse verursachten Folgen im Wald

Insbesondere die Gruppen 1., 4. und 6. sind für die Belange der Klimawandelanpassung, des Waldbaus und der Waldbrandprävention relevant.

Für die Umsetzung des GAK-Rahmenplans sind die Länder verantwortlich, daher können nähere Informationen über die jeweiligen Landesministerien bezogen werden.

3. Maßnahmen zur Waldbrandprävention

Im Folgenden werden nun die verschiedenen Maßnahmen zur Waldbrandprävention vorgestellt. Hierbei wird zwischen den kurzfristigen und den langfristigen Maßnahmen unterschieden, welche sich wiederum in weitere Kategorien unterteilen. Grundsätzlich gilt die Empfehlung, beiden Arten von Maßnahmen dieselbe Priorität einzuräumen, auch wenn die Ergebnisse bei den langfristigen Maßnahmen erst nach gewisser Zeit sichtbar werden.

Zum Abschluss wird auf den abwehrenden und den nachsorgenden Brandschutz eingegangen und aufgezeigt, inwieweit die Einsatzkräfte vor Ort unterstützt werden können.

3.1 Kurzfristige Maßnahmen

Kurz- bis mittelfristig lassen sich waldbauliche und technische Maßnahmen umsetzen, zudem können auch in kurzer Zeit öffentlichkeitswirksame Maßnahmen etabliert werden.

3.1.1 Waldbauliche Maßnahmen

Essentiell ist es, die Waldfläche zu durchdringen und einen Überblick zu erhalten, um notwendige Maßnahmen planen und priorisieren zu können. Wie anhand des Feuer- und Feuerverhaltensdreiecks erläutert wurde, lässt sich am Ehesten der Faktor Brennlast bzw. Brennmaterial dem Verbrennungsprozess entziehen und ihn somit unterbrechen oder verhindern. Dies ist durch verschiedene Methoden möglich, bspw. durch eine konsequente *Entastung* der gefährdeten Bestände. Bodennah wachsende Äste sind ideale Angriffspunkte für ein Bodenfeuer, um auf den Stamm überzuspringen. Generell sollten tote Äste entfernt werden, bei Nadelbäumen auch grüne (Forestbook, 2021a). Darauf aufbauend ist in diesen Gebieten die *Niederdurchforstung* zu empfehlen, wobei abgestorbene oder unterständige Bäume unabhängig von der Baumart entfernt werden. Tote oder absterbende Bäume enthalten kaum mehr Feuchtigkeit, ihr trockenes Material ist demnach leicht entflammbares Brennmaterial. Auch die Stämme und weitere Holzabfälle wie Kronenäste und Rindenstücke sind zu entfernen (ebd.).

Präventiv angelegte *Wundstreifen*, *Waldbrandschutzstreifen* und *Waldbrandriegel* stellen unüberwindbare Hindernisse für ein Feuer dar und unterbrechen im Brandfall die Verbreitung eines Feuers. Sie unterscheiden sich jeweils in Größe und Ausgestaltung.

Schutzstreifen haben die Funktion, dass sich ein Entstehungsbrand höchstens als Bodenfeuer ausbreiten kann, welches leicht kontrollierbar und aufhaltbar ist (Müller, 2020). Sie werden an Orten angelegt, von denen häufig Waldbrandursachen ausgehen; dies können Industrieanlagen, Straßen, frequentierte Waldwege oder Bahnlinien sein. Es wird ein 20 – 30m breiter Streifen von nicht verwachsenem Bodenmaterial (Reisig, Gestrüpp etc.) befreit, trockene oder schwache Bäume werden entfernt. Bei verbleibenden Bäumen, insbesondere bei Nadelbäumen wie der Kiefer, wird die tiefe Beastung entfernt. Da kaum Brennmaterial vorhanden ist und keine Feuerbrücken entstehen können, kann der Kronenraum nicht durch das Bodenfeuer entzündet werden (Kaulfuß, 2011a).

Gleich anschließend, in Richtung des jeweils gefährdeten Objektes (bspw. der Waldfläche), wird ein **Wundstreifen** angelegt, der das Bodenfeuer aufhalten soll. Der Wundstreifen wird mind. zweimal jährlich (im Frühjahr vor Beginn der Waldbrandsaison und im Sommer vor deren Höhepunkt) mittels Scheibeneggen von jeglicher Bodenvegetation und potentielltem Brennmaterial befreit. Empfohlen wird eine Breite von der doppelten bis dreifachen Höhe der anzunehmenden Flammen; meistens sind dafür zwei bis drei Meter ausreichend (Müller, 2020). Abbildung 9 zeigt einen beispielhaften Aufbau.

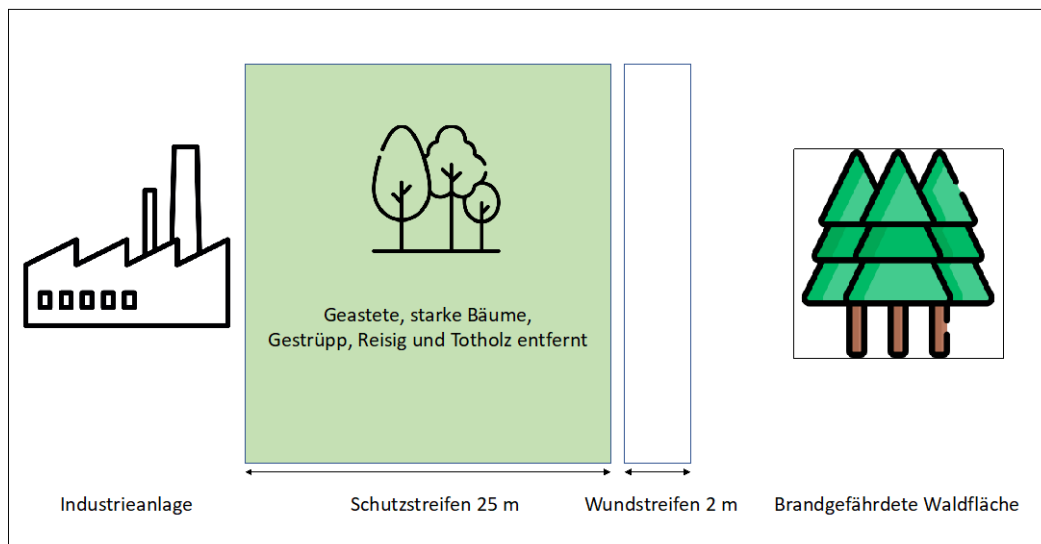


Abbildung 9: Aufbau Schutzstreifen mit Wundstreifen (eigene Darstellung, nach Müller (2020))

In Gebieten, in denen mit Vollfeuern zu rechnen ist, kann es sinnvoll sein, einen **Waldbrandriegel** bzw. idealerweise ein System von Waldbrandriegeln anzulegen. Sie dienen dazu, ein Vollfeuer in ein Bodenfeuer umzuwandeln, welche einfacher gelöscht werden können, sowie einer Feuerwalze die Energie zu entziehen. Beim Anlegen der Riegel sollte die häufigste Windrichtung (zumeist aus östlicher oder westlicher Richtung) beachtet werden, aufgrund dessen der Hauptriegel von Norden nach Süden verlaufen sollte. Zusätzliche Nebenriegel können von Osten nach Westen verlaufen, um das Brandgeschehen effektiv einzudämmen (Müller, 2020). In Bezug auf den Aufbau und die Größe des Waldbrandriegels gibt es verschiedene Ansichten: Einige Fachleute empfehlen einen 100 – 300m breiten Streifen, der mit schwer brennbarer Vegetation wie Laubbäumen bewachsen ist (Kaulfuß, 2011a). Andere plädieren dafür, dem Waldbesitzer nicht zu viel Waldfläche und damit Nutzholz zu entziehen und schlagen Waldbrandriegel aus drei Komponenten vor. Diese sind 1. ein Waldbrandschutzweg, welcher den Zugang für Einsatz- und Rettungsfahrzeuge gewährleistet, 2. ein ca. sechs Meter breiter Wundstreifen, der auch durch Wärmestrahlung und Konvektion nicht durch das Feuer überwindbar ist, sowie 3. ein Schutzstreifen, der mit Laubbäumen bepflanzt ist. Empfohlen wird bspw. die Roteiche, welche durch ihr dichtes Laub nur eine geringe Bodenvegetation zulässt. Geht man von einem vier Meter breitem Waldbrandschutzweg, einem sechs Meter breitem Wundstreifen sowie einem 25 Meter breitem Schutzstreifen aus, käme man auf eine Riegelbreite von 35 Metern, welche einen guten Kompromiss zwischen Brandschutz und

Wirtschaftlichkeit darstellt (Müller, 2020). Abbildung 10 zeigt einen beispielhaften Waldbrandriegel.

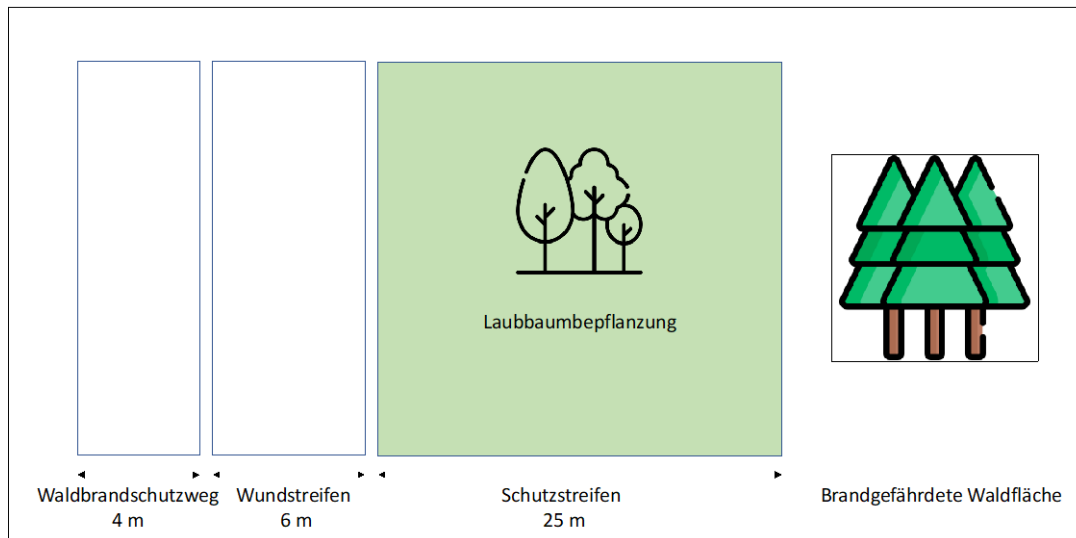


Abbildung 10: Beispielhafter Aufbau eines Waldbrandriegels (eigene Darstellung, nach Müller (2020))

Die Riegeleffekte können verstärkt werden, indem angrenzende Waldgebiete gepflegt und mittels Hochdurchforstung bewirtschaftet werden, sodass etwaige Vollfeuer vermieden werden.

Eine in vielen waldbrandgefährdeten Ländern praktizierte Methode ist das kontrollierte Brennen („prescribed burning“), bei dem die Brennlast verringert und somit Feuerausbreitung verhindert wird. Dies kann präventiv im Rahmen eines Waldbrandriegels erfolgen oder aber auch im akuten Brandfall in Form von Gegenfeuern, um bspw. bestimmte Flächen zu schützen. Die Anwendung von Gegenfeuertechniken erfordert Fachwissen und eine fundierte Ausbildung und sollte vorab geübt werden. Fachleute propagieren diesen Ansatz des integrierten Feuermanagements und argumentieren, dass die sich verschärfenden Bedingungen innovative Lösungsansätze erfordern. Untersuchungen ergaben, dass durch kontrolliertes Brennen zur Reduzierung der CO₂-Ausstoßes beigetragen werden kann, da Großbrände reduziert werden (Schuck, et al., 2010).

Der flächendeckende Einsatz des kontrollierten Brennens in Deutschland ist (noch) umstritten, zudem ergeben sich juristische Fragestellungen aufgrund der Vorgaben in den Landeswaldgesetzen. Eine Integration der Praktiken in die EU-weite Gesetzgebung zum Feuermanagement könnte helfen, die Methodik zu etablieren und entsprechende Umsetzungsstrategien in den Mitgliedsländern zu entwerfen.

3.1.2 Technische Maßnahmen

Wie bereits zuvor erwähnt ist die **Erschließung** der Waldfläche unerlässlich, hierzu zählt auch die Anlage und Pflege von Zufahrtstraßen für Einsatzfahrzeuge. Fahrstraßen sollten von Bewuchs freigehalten werden, Barrikaden müssen entfernt und Platz für Wendeschleifen und Ausweichstellen geschaffen werden (Forestbook, 2021b). Für Schranken müssen die zugehörigen Schlüssel bzw. Zugangscodes an die relevanten Stellen weitergegeben werden. Entsprechendes Kartenmaterial ist regelmäßig zu aktualisieren und den Stellen zugänglich zu machen, die auf die Informationen angewiesen sind, bspw. der örtlichen Feuerwehr, der Forstbehörde und angrenzenden Waldbesitzern. Etwaige Altlasten wie Kampfmittel und Munitionsreste sind auf den Karten genau zu kennzeichnen, ebenso sollte die jeweilige Löschwasserverfügbarkeit dargestellt sein.

Aufgrund der Tatsache, dass Wasser nach wie vor das wichtigste Mittel für die Brandbekämpfung ist, sollten in größeren waldbrandgefährdeten Gebieten an strategisch sinnvollen Plätzen **Löschwasserentnahmestellen** (LWE) wie Löschteiche angelegt werden, um genug Wasserreserven vorzuhalten. Auch natürliche Gewässer können als Entnahmestelle dienen. Idealerweise sollte die Distanz von LWE zum potentiellen Brandort weniger als zwei km betragen (Müller, 2020). Wichtig ist zudem, dass die Zufahrt zu den Wasserstellen für Einsatzfahrzeuge zugänglich und eine entsprechende Beschilderung vorhanden ist. LWE sind im Kartenmaterial zu dokumentieren, Neuanlagen sollten zwischen Waldbesitzer, Forstbehörde und Feuerwehr abgestimmt werden. Zusätzlich zu Löschteichen können auch Tiefbrunnen, Zisternen, Staueinrichtungen oder Anschlüsse an die Fernwasserleitung im Wald oder am Waldesrand als Entnahmestelle genutzt werden (Kaulfuß, 2011b). Unterirdisch liegende Entnahmestellen haben den Vorteil, dass das Wasser nicht verdunstet, bei künstlich angelegten Löschteichen muss der Wasserstand regelmäßig kontrolliert und evtl. Wasser nachgefüllt werden.

In Gebieten mit hohem Waldbrandrisiko sollten Forstbetriebe aller Eigentumsformen zur Waldbrandbekämpfung geeignete **Maschinen und Geräte** vorhalten. Diese sind bspw. Schaufeln, Feuerpatschen, Spaten und Äxte, aber auch

Transportfahrzeuge, Kleinbagger und Traktoren inkl. Pflügen. Neben der mobilen Löschausrüstung der Feuerwehren sind diese Geräte oft essentiell für die Brandbekämpfung und sollten daher kurzfristig zur Verfügung gestellt werden können (Kaulfuß, 2011b). Insbesondere an Orten, wo weniger Wasser zur Verfügung steht, kann die trockene Feuerbekämpfung hilfreich sein. Hierbei werden mittels Spaten oder Bagger Kontrolllinien ausgehoben, die das Feuer an seiner Ausbreitung zu hindern. Sie haben eine ähnliche Funktion wie die zuvor erwähnten Wundstreifen, werden in diesem Fall jedoch während des Brandes angelegt. Zusätzlich kann brandhemmender Schaum oder hitzeabschirmendes Gel auf die Kontrolllinien aufgetragen werden, um das Feuer aufzuhalten (Deutsche Welle, 2018).

Des Weiteren sind funktionierende **Kommunikationsmittel** essentiell, damit die Absprachen zwischen Forstmitarbeitern, Einsatzkräften und Behörden effektiv erfolgen können. Entsprechende Geräte sowie die Funkverbindungen sind bereitzustellen bzw. zu gewährleisten, zudem sollten alle betroffenen Personen mit aktuellen Telefonlisten versorgt sein (Kaulfuß, 2011c).

Ein entscheidendes Element in der Waldprävention ist die **Früherkennung**, denn nur so können Umweltschäden und gefahrenträchtige Löscheinsätze reduziert werden. Für die Waldbrandfrüherkennung gibt es verschiedene Techniken und Vorgehensweisen, die sich je nach Waldbrandgefährdung pro Bundesland unterscheiden. In gering gefährdeten Landesteilen vertraut man in der Waldbrandsaison auf einen Waldbrandstreifendienst durch Forstmitarbeiter, auf die Alarmierung durch Waldbesucher und bspw. in Bayern, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein auf Aufklärungsflüge (Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz, 2020). In stärker betroffenen Bundesländern wird seit über zehn Jahren das Automatisierte Waldbrand-Frühwarnsystem (AWFS) „IQ FireWatch“ eingesetzt, welches 1997 durch das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum entwickelt wurde. IQ FireWatch erkennt Rauch mittels eines multispektralen Sensors, der drei bis vier optische Sensoreinheiten (Monochrom-Sensor, Nahinfrarotsensor, RGB-Sensor sowie thermischer Infrarotsensor) enthält und somit an verschiedenste Anforderungen angepasst werden kann (IQ-FireWatch, 2022). Teilweise können die Systeme auf ehemaligen

Feuerwachtürmen, die generell aufgrund von beschwerlichen Arbeitsverhältnissen nicht mehr genutzt werden, befestigt werden. Die Kameras erfassen im Radius von üblicherweise 15 km das Waldgebiet und stellen durch Drehung um die eigene Achse ein 360 Grad Panorama her. Dieses wird auf Rauchanzeichen überprüft, wobei schon kleinste Rauchwolken auch in hoher Entfernung detektiert werden können (Chtioui & Kaulfuß, 2020). Jedes der Systeme deckt eine Fläche von ca. 70.000 ha innerhalb von sechs Minuten (tagsüber) ab. Werden die für Rauch typischen Grauwerte entdeckt, alarmiert das System die Waldbrandzentrale, wo ein Mitarbeiter die Bilder überprüft und ggf. die Feuerwehr benachrichtigt. Zudem ist es möglich, der Feuerwehr die konkrete Position zu nennen, welche über Kreuzpeilung genau bestimmt werden kann (Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz, 2020).

Das Land Brandenburg gehörte zu den ersten Nutzern von IQ-FireWatch und verfügt mittlerweile über 108 Kamera Systeme sowie speziell geschulte Mitarbeiter. Per Landeswaldgesetz wurde festgeschrieben, dass das Land für alle Waldbesitzarten die Installation und Instandhaltung der Frühwarnsysteme übernimmt. Für die Waldbesitzer ist dies unentgeltlich, jedoch sind sie verpflichtet, die Maßnahmen zu dulden (Landesbetrieb Forst Brandenburg, 2022a). Aufgrund der starken Prädisposition für Waldbrände wurde seit 2019 mittels einer EU-Förderung die Modernisierung der bestehenden Systeme vorgenommen, um auch die gestiegenen Anforderungen in Bezug auf den Klimawandel zu berücksichtigen. Ehemals sechs Waldbrandzentralen wurden zu zwei professionell ausgestatteten Standorten in Eberswalde und Wünsdorf zusammengelegt, in denen geschulte Forstmitarbeiter die Daten auswerten (Landesbetrieb Forst Brandenburg, 2022b). In Abhängigkeit der vorherrschenden Waldbrandwarnstufe sind die Zentralen bis zu 10 Std. pro Tag besetzt, des Weiteren wurde eine 24 Std. Bereitschaft der Förster etabliert. Statistisch betrachtet hat sich in Brandenburg die absolute Waldbrandanzahl pro Jahr seit Nutzung der Frühwarnsysteme nicht verringert. Dennoch reduzierte sich durch rechtzeitige Aufspürung der Brände die vernichtete Waldfläche erheblich. Ca. 60% der Waldbrände werden durch das System entdeckt, die übrigen werden durch Waldbesucher gemeldet oder ereignen sich

in der Nacht, wenn die Früherkennung nicht eingesetzt wird (Chtioui & Kaulfuß, 2020).

Weiterhin ist es strategisch klug, das Angebot des **Europäischen Waldbrandinformationssystems (EFFIS)** zu nutzen. Hier werden mittels Satelliten echtzeitnahe und historische Informationen zu europäischen Waldbränden, ihren Verläufen und Ausgangssituationen erhoben und gespeichert. Die Daten sind frei zugänglich und liefern mittels verschiedener Module Aufschluss über die Brandgefahr, den Schadensumfang, Emissionen und Regeneration der Vegetation. Über das Modul für Brandmeldungen werden alle im Internet veröffentlichten europäischen Brände geolokalisiert (Copernicus, 2022). Die Daten können im Ernstfall entscheidende taktische Hinweise für die Einsatzzentralen und –kräfte liefern. Beispielsweise lässt sich ablesen, ob und wann die betroffene Fläche gebrannt hat, um zu verstehen, wieviel Brennmaterial dort vorhanden ist. Gleichzeitig kann die Orientierung der Einsatzkräfte mittels Lokalisation durch die Satellitendaten unterstützt werden (Deutschlandfunk, 2021). Auch präventiv können die Daten hilfreich sein, da sich mit ihrer Hilfe prognostizieren lässt, welche Gebiete aktuell besonders gefährdet sind und entsprechende Überwachung dorthin gebündelt werden kann.

Neben diesen technischen Maßnahmen können **praktische Übungen** und entsprechende Vorbereitung essentiell sein, um auf den Ernstfall angemessen befähigt sein. In einigen brandgefährdeten Bundesländern wie Mecklenburg-Vorpommern gibt es bereits Arbeitsgruppen mit Vertretern der Forstbehörden, Waldbesitzer, Feuerwehren und des Katastrophenschutzes, die gemeinsam **Einsatzpläne** erstellen und Übungen durchführen. Des Weiteren werden Aus- und Fortbildungen organisiert, um die Einsatzkräfte optimal vorzubereiten. Da in der klassischen Feuerwehrausbildung die Waldbrandbekämpfung nicht inkludiert ist, können die Weiterbildungsmaßnahmen für die Einsatzkräfte sehr hilfreich sein. Zusätzlich bieten diese Formate den Vorteil, dass die Mitglieder der Arbeitsgruppe gemeinsame Erfahrungen sammeln und im Team arbeiten, sodass auch im Ernstfall eine kollegiale Zusammenarbeit erfolgen kann (Kaulfuß, 2011c).

3.1.3 Öffentlichkeitswirksame Maßnahmen

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, werden Waldbrände zu einem großen Teil durch fahrlässiges Verhalten durch Waldbesucher oder Personen, die am Waldesrand entlangfahren oder laufen, verursacht. Umso wichtiger ist es, intensive Aufklärungsarbeit zu leisten. Während Schulungen, Wissenstransfer und Bewusstseinsbildung eher den mittel- bis langfristigen Maßnahmen zugeordnet werden, sind kurzfristig folgende Aktivitäten zielführend: Gemeinsam mit der Erschließung der Waldfläche sollten an Orten, die häufig von Waldbesuchern aufgesucht werden, deutlich sichtbare Informationstafeln, Warnschilder (siehe Abbildung 11) und Verhaltenshinweise aufgestellt werden. Vielen Waldbesuchern ist die hohe Waldbrandgefahr in Deutschland nicht bewusst, daher lohnt es sich, bspw. mit Angabe der aktuellen Waldbrandgefahrenstufe eindringlich darauf hinzuweisen (Kaulfuß, 2011c).

An Orten, wo potentiell Rast gemacht wird wie Parkplätzen, Bänken und Schutzhütten sollte ebenfalls auf das allgemeine Feuer- und Rauchverbot hingewiesen werden sowie örtliche Notrufnummern angegeben sein.



Abbildung 11: Waldbrandwarnschild in Brandenburg (MAZ Online, 2021)

3.2 Langfristige Maßnahmen

Im Folgenden soll nun auf die langfristigen Maßnahmen eingegangen werden, die insbesondere im Hinblick auf das sich ändernde Klima relevant sind. Unterschieden werden können die langfristigen Maßnahmen des Waldumbaus, die nachsorgenden Maßnahmen sowie die kommunikativen Maßnahmen.

3.2.1 Konzeptioneller Waldumbau

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits erwähnt, dass langfristig nur der konzeptionelle und konsequente Waldumbau einen umfassenden Waldbrandschutz gewährleisten kann. Jedoch ist das Thema Waldumbau ein komplexes Unterfangen und aus mehreren Perspektiven zu betrachten; es geht nicht ausschließlich darum, Waldbrandprävention zu leisten, sondern vielmehr einen klimaresilienten und anpassungsfähigen Wald zu fördern, was vielerlei Komponenten hat (BfN, 2020). Im Rahmen dieser Arbeit können nicht alle Aspekte des Waldumbaus behandelt werden, daher wird sich auf die folgenden fokussiert: **Baumartenzusammensetzung und –wahl, Waldbodensanierung und Wald- bzw. Prozessschutzflächen.** Zuvor sei noch erwähnt, dass Vegetationsbrände nur einer von mehreren Störfaktoren sind, mit denen das Waldökosystem infolge des Klimawandels konfrontiert wird, weshalb ein klimaresilienter Wald nicht nur den Faktor Waldbrände beeinflussen würde. Die häufigsten Störungen wie Dürre, Insekten, Waldbrand und Wind interagieren miteinander und können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. Durch einen globalen Überblick konnte festgestellt werden, dass auf klimatische Störungen wie Wind und Trockenheit oftmals Störungen durch Insekten und Pathogene folgen, s. Abb. 12.

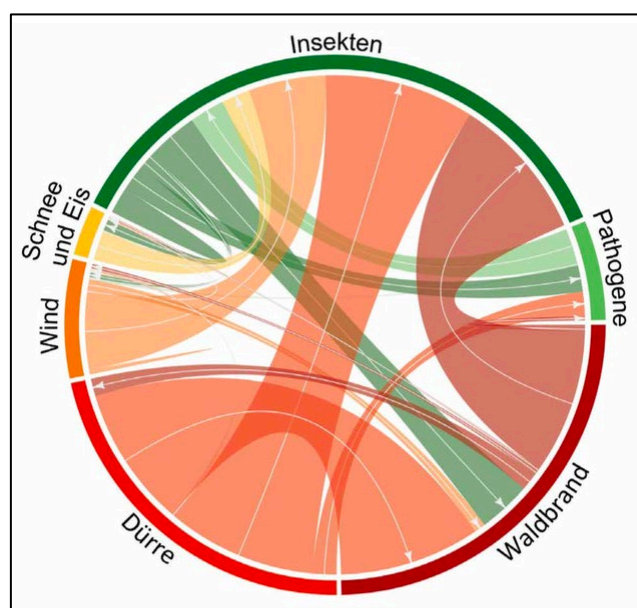


Abbildung 12: Interaktion von Störfaktoren. Die Größe der Sektoren im äußeren Kreis gibt die Verteilung der Störfaktoren in der berücksichtigten Literatur wieder, während die Flüsse durch die Kreismitte die relative Häufigkeit von Interaktionen beschreibt (Seidl, et al., 2019, p. 340)

Die Störungen beeinflussen die Biodiversität, die Biomasseproduktion, das Waldinnenklima und in der Folge auch die diversen Ökosystemleistungen des Waldes. Dementsprechend gilt es, den Waldumbau entschieden voranzutreiben und so Risikovorsorge zu betreiben. Sowohl die EU als auch Bund und Länder stellen mehrere Finanzierung- und Förderinstrumente für den Waldumbau bereit, s. Kapitel 2.4.

3.2.2 Baumartenzusammensetzung

Dass Mischwälder mit hohem Laubholzanteil resistenter und robuster gegenüber Veränderungen sind, ist in der Forstpraxis gängiges Wissen. Um zu verstehen, warum es dennoch deutschlandweit viele Nadelholzmonokulturen gibt, ist ein Blick in die waldbauliche Historie nötig. Im 19. Jahrhundert wurde aufgrund großer Freiflächen und eines schlechten Waldzustands der Fichtenanbau gezielt intensiviert, da die Fichte als anspruchslos, schnellwachsend und robust galt. Der hohe Holzbedarf sollte gedeckt werden, sodass sie auch auf Standorten angebaut wurde, die nicht ihren Ansprüchen an eher kühle und feuchte Klimabedingungen gerecht wurden (Umweltbundesamt, 2019). Während das Verhältnis von Laub- zu Nadelwald im Spätmittelalter noch auf 75% zu 25% geschätzt wurde, betrug es 1913 im Deutschen Reich 30% zu 70%. Auch nach den beiden Weltkriegen wurden große Nadelholzkulturen aus Kiefer und Fichte gepflanzt, oftmals in Reinbeständen (Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021). Zwar war schon damals, vor intensiven Klimawandeleinflüssen, bekannt, dass Fichtenwälder störungsanfälliger als Laub- und Mischwälder sind, doch erst in den vergangenen zwei Jahrzehnten wurde das Ausmaß der Anfälligkeit infolge von Naturereignissen und Anstieg der Hitzeperioden erkannt. Durch ihr meist flaches Wurzelsystem ist die Fichte sehr trockenheits- und sturmempfindlich und ist darum stark von den klimatischen Veränderungen betroffen (Umweltbundesamt, 2019). Auch heutzutage ist ein Großteil der deutschen Wälder aus standortfremden Bäumen aufgebaut, zumeist mit Fichte (25%) und Kiefer (23%) (BMEL, 2021b), wobei diese natürlicherweise nur wenige Prozente der Waldfläche ausmachen und sich in natürlichen Nadelwaldgesellschaften oder Mischwäldern wiederfinden würden.

Der Umbau zu strukturreichen Mischwäldern wird seit mehreren Jahrzehnten forciert, dennoch bleibt nach Abzug der natürlichen Reinbestände noch ein Viertel der Gesamtwaldfläche, auf der der Mischwaldanteil gesteigert werden könnte, s. Abbildung 13.

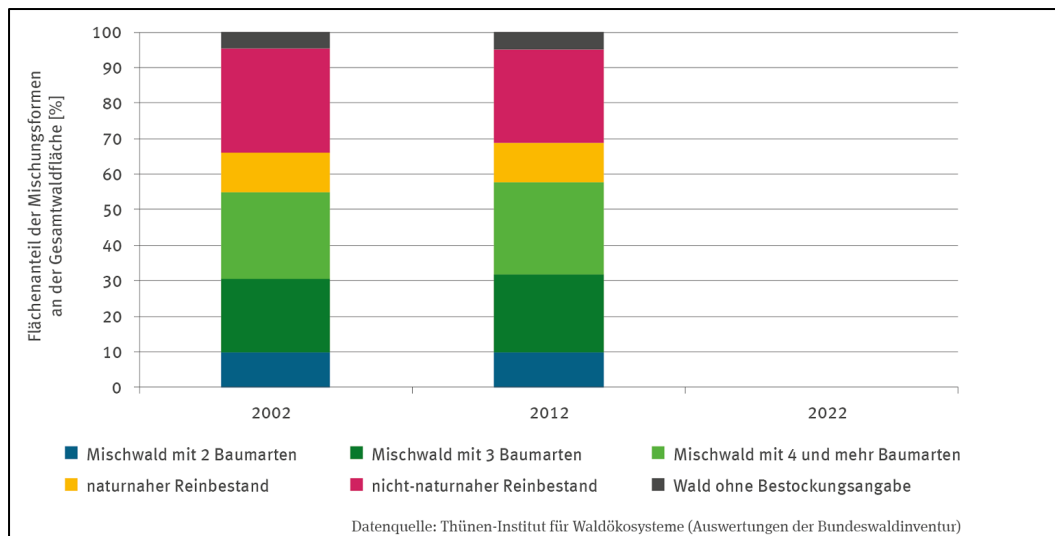


Abbildung 13: Flächenanteile der Mischungsformen an der Gesamtwaldfläche in % (Umweltbundesamt, 2019, p. 126)

Durch die gezielte Förderung von Mischbeständen wird das Ausfallrisiko gestreut, bspw. ist die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen geringer. Gleichzeitig können die standörtlichen Voraussetzungen bestimmte Grenzen darstellen, sodass die Baumartenwahl gut durchdacht sein muss. An Standorten mit überwiegender Bewuchs durch Fichte und Kiefer ist häufig der Nährstoffgehalt des Bodens sehr gering, teilweise ist eine Versauerung des Bodens eingetreten (Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021). Generell gilt, dass trockenheitsresistenten und wärmeliebenden Arten sowie seltenen Baumarten wie Vogelkirsche, Sorbus-Arten oder Walnussbaum in Zukunft eine größere Bedeutung zukommt. Im Bereich der Nadelbäume gilt die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*) als trockenheitsresistent, gefolgt von Lärche, Douglasie und Tanne. Bei der Baumartenzusammensetzung wird empfohlen, funktionale Typen bzgl. Stress- und Störungstoleranz miteinander zu mischen, um somit das Ausfallrisiko zu streuen; bspw. sollten nicht drei Nadelbaumarten, die ähnlich stark unter Trockenheit, Hitze und Schädlingsbefall leiden kombiniert werden (ebd.).

Die Annahme, dass fremde Arten aus warmen und trockenen Gebieten einfach in hiesige Landschaften eingeführt werden können, ist nicht korrekt, denn außer der klimatischen Bedingung spielen viele weitere Aspekte für einen erfolgreichen

Anbau eine Rolle. Die umfangreiche Einführung von gebietsfremden Arten ist nur gering wissenschaftlich erforscht, daher wird empfohlen, vor einer Entscheidung eine umfassende ökologische Risikobewertung durchzuführen (BfN, 2020).

Die Resilienz des Waldes kann ebenfalls durch kontinuierliche Verjüngung und Vorausverjüngung verbessert werden, denn Naturverjüngung führt nicht immer zu einem Baumartenwechsel, insbesondere wenn in der Umgebung keine geeigneten Samenbäume stehen (Umweltbundesamt, 2019). Hierbei sollten die oben erwähnte Mischung störungstoleranter Baumarten, die genetische Diversität der Arten sowie die standörtliche Eignung beachtet werden. Großflächige Störungen durch Trockenheit oder Sturm können die Gelegenheit bieten, den Waldumbau und die Verjüngung substantiell voranzutreiben, andererseits erfordert dies auch hohe Kapazitäten von Pflanzgut. Es wäre hierzu hilfreich, die Wiederbewaldungsfristen zu verlängern, damit strukturierte, ungleichaltrige Bestände erzielt werden können (Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021). Im Hinblick auf die Sicherung der jungen Bestände kommt außerdem der Aspekt Jagdausübung ins Spiel, da in vielen Gebieten die Schalenwildichte zu hoch ist. Dies gefährdet die Anzucht und Entwicklung klimastabiler Wälder, sodass eine Novellierung des Bundesjagdgesetzes unumgänglich wäre, um die Wildbestände auf ein gesundes Maß zu reduzieren. Ein Vorschlag des Bundesamtes für Naturschutz lautet, in den entsprechenden Verjüngungsgebieten alle drei Jahre ein Verbissgutachten einzuholen und bei hoher Belastung die zuständige Jagdbehörde zu informieren. Diese sollte dann planen, wie hoch die notwendige Jagdintensität sein muss, um die Jungbäume zu schützen (BfN, 2020).

Einige Bundesländer wie bspw. Bayern haben eine „Richtlinie zur Baumartenwahl“ veröffentlicht (verfügbar über die Bayerischen Staatsforsten), welche einige Grundsätze zur Baumartenwahl sowie eine Artenliste enthalten. Solche Handbücher sind eine sinnvolle Hilfestellung und können vorhandenes Expertenwissen gut ergänzen.

3.2.3 Waldbodensanierung

Nicht nur die Baumartenwahl und –zusammensetzung hat Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit der Wälder, auch die Bodenqualität und der Humusanteil bestimmen, wie resilient ein Gebiet ist. Ein gesunder Boden mit hohem Humusgehalt beinhaltet stabile Wuchsbedingungen, eine gute Struktur und einen funktionierenden Nährstoff- und Wasserkreislauf (Umweltbundesamt, 2019). Hierbei treten wichtige Synergieeffekte auf: Der Waldboden ist eine essentielle Kohlenstoffs Senke, seine Organismen sind wesentlich für die Biodiversität, die Filterfunktion sorgt für qualitatives Trinkwasser, die wurzelreiche Struktur schützt vor Erosion und vermag Hochwasserspitzen auszugleichen (BMELV, 2011). Bodenschutz ist somit nicht nur relevant für das gesunde Wachstum der Wälder, sondern auch für die vielfältigen Ökosystemleistungen, die Wald und Waldboden erbringen. Der Waldboden hat im Hinblick auf die Waldbrandprävention direkte und indirekte Auswirkungen: Eine erhöhte Wasserspeicherkapazität trägt zu besserer Trockenheitstoleranz bei, sodass Temperaturextreme ausgeglichen werden können (BfN, 2020). Die Bodenvegetation ist entsprechend eine andere als bei trockenen, nährstoffarmen Böden; anstatt von Gräsern und Zwergsträuchern wachsen dort zartlaubige Kräuter wie bspw. Sauerklee oder Waldmeister (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2001). Infolgedessen steht weniger leicht brennbares Bodenmaterial zur Verfügung, sodass sich Bodenfeuer nur schwer ausbreiten können.

Gleichzeitig beeinflusst die Bodenfeuchtigkeit das Waldinnenklima und trägt zu einer Temperatursenkung bei. Erfahrungsgemäß weisen Laubwälder ein besseres weil feuchteres und kühleres Mikroklima auf, da sie über eine höhere Tiefensickerung und Grundwasserneubildung verfügen als Nadelwaldbestände (BfN, 2020). Feuer können sich unter diesen Bedingungen nur schwer entzünden und verbreiten.

Verschiedene Maßnahmen können entweder degradierten Waldboden aufwerten oder den Boden vor den negativen Auswirkungen des Klimawandels schützen. Waldbaulich empfiehlt es sich, bei der Baumartenwahl die langfristigen Folgen für den Nährstoffhaushalt des Bodens und die Grundwasserneubildung zu bedenken. Für eine wirksame Sanierung ist es unabdingbar, tiefwurzelnde Arten, bspw. die

Tanne, sowie größere Laubholzanteile einzubringen (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2001).

Sollten Bodenanalysen einen konkreten Nährstoffmangel erkennen lassen, kann eine gezielte Düngung zu einer Vitalitätsverbesserung führen. Diese muss genau geplant und bemessen werden, um auch nur die tatsächlich betroffenen Gebiete zu bearbeiten. Oftmals wird ein Magnesiummangel festgestellt, der bspw. mit karbonatischen Gesteinsmehlen kuriert werden kann (ebd.).

Eine große Auswirkung auf den Waldboden, die Wasserspeicherkapazität sowie die Humusanreicherung hat der Totholzanteil von Wäldern, der in Abschnitt 3.2.4 näher erläutert wird.

3.2.4 Waldschutzflächen

Die Thematik der Wald- bzw. Prozessschutzflächen mag nur indirekt etwas mit Waldbrandprävention zu tun haben, jedoch lassen sich hier klare langfristige Vorteile erkennen. Der Prozessschutz ist eine vergleichsweise junge Naturschutzstrategie, die darauf abzielt, Waldflächen sich komplett selbst zu überlassen und in keiner Weise Einfluss zu üben, wie bspw. durch forstliche Nutzung. Ursprüngliche Landschaften werden so bewahrt, seltene Arten geschützt und relevante Genressourcen bereitgestellt. Überdies werden die Regenerationsfähigkeit sowie die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel der Wälder verbessert, da alle Sukzessionsstadien vertreten sind. Besonders wichtig sind diese Flächen für die Wissenschaft, da dort beobachtet werden kann, wie sich Wälder ohne anthropogene Einflüsse an die sich ändernden Bedingungen anpassen. Hieraus können wertvolle Erkenntnisse für die naturnahe Waldbewirtschaftung gewonnen werden (Braunisch, 2015). In den so der Natur überlassenen Wäldern werden auch bei großflächigen Störungen durch Insektenbefall, Windwurf oder Feuer keine Eingriffe getätigt; außer, wenn angrenzende Wirtschaftsflächen unmittelbar bedroht sind (BfN, 2020). Der für Boden, Wasserhaushalt und Biodiversität so bedeutende Totholzanteil ist auf Prozessschutzflächen natürlicherweise höher als auf bewirtschafteten Flächen. Totholz wirkt sich generell positiv auf die Resilienz von Wäldern aus, da es das Waldinnenklima aufgrund seiner Wasserspeicherkapazität regulieren kann und

den Energie- und Nährstoffkreislauf verbessert. Die Humusanreicherung sowie die Verjüngung von Gehölzen werden gefördert, zudem gibt es viele auf Totholz spezialisierte Waldorganismen wie bspw. den seltenen Porenpilz *Antrodiella citrinella* (Braunisch, 2015). Das Belassen von Totholzbeständen mag in Hinblick auf die waldbauliche Waldbrandprävention widersprüchlich klingen, denn normalerweise wird die Durchforstung bzw. die Beseitigung von Bodenbrennmaterial empfohlen. Stärkeres Totholz, insbesondere in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien, trägt jedoch nicht zum Brandrisiko bei (Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021). Demzufolge können die positiven Effekte des Totholzes auch in naturnah bewirtschafteten Wäldern genutzt werden, ohne dabei Waldbrände zu begünstigen.

3.2.5 Langfristige kommunikative Maßnahmen

In der Annahme, dass sich das Waldbrandrisiko in den kommenden Jahren und Jahrzehnten kontinuierlich vergrößern wird, ist die zeitige Bewusstseinsbildung für die Gefahr besonders relevant. Hierbei ist es sinnvoll, die unterschiedlichen Zielgruppen auf verschiedene Weisen anzusprechen. Für die Jüngsten, Kindergarten- und Schulkinder, sind interaktive Schulungsformate am einprägsamsten, wenn sie selbstständig die Herausforderungen erfahren und erforschen können und anfangen, über Lösungswege nachzudenken. Die Angebote sollten spielerisch und altersgerecht gestaltet sein und die Kinder bzw. Jugendlichen für das Thema Waldschutz begeistern, denn sie können zu wichtigen Multiplikatoren werden. Auch für Erwachsene sind Formate wie Waldführungen und Schulungen interessant und sollten besonders in betroffenen Waldgebieten von Fachpersonal wie Forstmitarbeitern angeboten werden, dies kann mit dem lokalen Tourismusmarketing abgestimmt werden. In Bezug auf Medien sollte die gesamte Bandbreite der verfügbaren Kanäle genutzt werden, um die gezielte gesellschaftliche Aufklärung zum Thema Waldbrandgefahr und –prävention voranzubringen – sei es in den digitalen und sozialen Medien, in der klassischen Printpresse oder über Rundfunk und Fernsehen. Die Initiativen können von entsprechenden Interessensverbänden, Kommunen, Forstämtern oder wissenschaftlichen Einrichtungen ausgehen, haben aber allesamt das Ziel, die Wahrnehmung zu stärken und für nachhaltige Bewusstseinsbildung zu sorgen. Im

Zuge der immer präsenter werdenden Debatten zu Klimawandelfolgen, Biodiversitätsverlust und Waldsterben kann das Thema Waldbrandprävention gut integriert und als ein Faktor beschrieben werden, der sich weitaus kurzfristiger und einfacher beeinflussen lässt als andere große Herausforderungen unserer Zeit. Hervorzuheben ist, dass finanzielle Förderungen und Aufmerksamkeit auf die Maßnahmen der Prävention konzentriert werden sollten und erst zweitrangig auf den abwehrenden Brandschutz, welcher oftmals ein Vielfaches der Gelder vereinnahmt, aber weniger effektiv ist. Einsätze eines Löschflugzeugs bspw. erzeugen meistens ein höheres mediales Interesse als einfache Maßnahmen wie präventive Wundstreifen o.Ä.

Websites von Forstbetrieben, Gemeinden oder örtlichen Naturschutzverbänden sollten niedrigschwellige Informationsangebote und aktuelle Warnhinweise bereitstellen.

Ein weiterer Aspekt ist der regelmäßige Austausch der in dem jeweiligen Landkreis oder Ortsverbund ansässigen Vertreter aus Landwirtschaft, Wirtschaft, Politik, Forst und Katastrophenschutz, um über aktuelle Situationen informieren zu können aber auch um ein Netzwerk zu erzeugen, was im Notfall handlungsfähig und gut eingespielt ist. Persönliche Kontakte und Austausche sind oftmals zielführend und schaffen Verständnis für die Belange des Anderen.

3.3 Maßnahmen des abwehrenden Brandschutzes

Auch intensive Präventionsmaßnahmen können im Zweifelsfall nicht verhindern, dass Vegetationsbrände entstehen. Daher ist die Vorbereitung und Planung des Ernstfalls wichtiger Bestandteil und sollte auch in Waldgebieten, die bisher nicht oder gering durch Brände betroffen waren, durchgeführt werden.

Grundsätzlich gilt, dass der abwehrende Brandschutz Aufgabe der Feuerwehren ist. Waldbesitzer oder Forstbetriebe können jedoch wesentlich zum Erfolg der Einsätze beitragen, wenn vorab gezielte Vorbereitungen getroffen wurden.

Die wichtigsten Aufgaben der Waldbesitzer bzw. Forstämter sind die präventiven Schutzmaßnahmen, doch auch eine eingespielte Kommunikation zwischen Einsatzkräften, Einsatzleitung, Forstmitarbeitern und/oder Waldbesitzern ist essentiell. Bereits vor dem Ernstfall sind die entscheidenden Informationen zum

Waldgebiet miteinander abzustimmen: Eine aktuelle Geländekarte muss Auskunft über das Straßen- und Wegenetz, Topographie, Löschwasserentnahmestellen bzw. Tiefbrunnen, möglichen Hindernissen wie Schranken und Altlasten geben. Falls munitionsbelastete Flächen vorhanden sind müssen diese deutlich gekennzeichnet sein. Bereits angelegte Wund- und Schutzstreifen bzw. Waldbrandriegel sollten ebenfalls auf dem Kartenmaterial verzeichnet sein, da die Einsatzkräfte diese in ihre Bekämpfungstaktik einbeziehen können. Ebenso können Hinweise zur Bodenvegetation bzw. der vorhandenen Brandlast hilfreich sein. Aktuelle Telefonlisten der betroffenen Mitarbeiter sollten ausgetauscht werden und eine beispielhafte Meldereihenfolge dargestellt sein. Forst- und Landwirte können präventiv anbieten, im Brandfall mittels ihrer Maschinen Löschwasser oder Gerätschaften zu transportieren oder auch mit Pflügen oder ähnlichem Gerät bei der Anlage von Wundstreifen zu unterstützen.

Sollte ein Brand durch Waldbesitzer oder Forstmitarbeiter entdeckt werden, so ist an erster Stelle die Feuerwehr zu alarmieren; eine eigenständige Brandbekämpfung, noch dazu ohne persönliche Schutzausrüstung, sollte nicht erfolgen. Ist die Feuerwehr informiert und vor Ort, wird sie sich einen Überblick über die Lage verschaffen und die Bekämpfungsstrategie festlegen. Wie bei allen Bränden hat die Rettung von Menschenleben oberste Priorität; sofern dies sichergestellt ist, wird sich in den meisten Fällen auf die schnellstmögliche Eingrenzung des Feuers konzentriert, da das komplette Ablöschen nur selten ausführbar ist (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019). Je nach Flammenhöhe, Flammenlänge, Windstärke, Brennlast, Trockenheitsgrad und Geländeeigenschaften entscheiden sich die Einsatzkräfte dann für ein offensives oder defensives Vorgehen. Während beim offensiven Vorgehen der Brand frontal bekämpft wird, gilt es beim defensiven Vorgehen, den Verbrennungsvorgang durch Entzug des Brennmaterials zu unterbrechen. Hierfür werden strategisch gewählte Schneisen und Wundstreifen angelegt, die von brennbarer Vegetation und der oberen Bodenschicht befreit werden. Bereits vorhandene, natürliche Schneisen wie Straßen, Wege, und Flüsse werden mit einbezogen und ggf. erweitert. Alternativ können Schutzstreifen gezogen werden, innerhalb derer die

Vegetation bestehen bleibt, aber durch ständiges Benässen oder Einsatz von brandhemmenden Schaum vor dem Feuer geschützt wird (ebd.).

3.3.1 Nachsorgende Maßnahmen

Ist der Waldbrand durch die Einsatzkräfte gelöscht bzw. unter Kontrolle gebracht, erfolgt die Übergabe an die zuständigen Forstmitarbeiter bzw. Flächeneigentümer. Diese sind verpflichtet, für die Organisation einer Brandwache zu sorgen. Da besonders auf ehemaligen Moorflächen Glutnester lange Zeit unentdeckt bleiben und durch Wind wieder angefacht werden können, sollte die Brandwache sehr ernst genommen werden und im Zweifel Expertenrat bzgl. Dauer und Intensität eingeholt werden. Die für die Brandwache zuständigen Mitarbeiter sollten idealerweise zuvor dazu geschult worden sein und entsprechende Ausrüstung wie leichte Schutzkleidung, Rucksackspritzen und Gerätschaften wie Spaten, Feuerpatschen und Wiedehophauen besitzen (ebd.).

Im Nachgang stellt sich die Frage, wie mit der abgebrannten Fläche umgegangen wird und wie schnell Aufforstungsmaßnahmen ergriffen werden. Die Situation sollte nicht nur als Herausforderung, sondern auch als Chance begriffen werden, da eine Neugestaltung des Waldstücks erfolgen kann. Hierfür gibt es keine pauschale Empfehlung, da die Wahl der Maßnahmen auf die individuellen Gegebenheiten des Gebiets und an die Nutzungserwartung angepasst werden müssen. Bevor Entschlüsse zur Wiederaufforstung mit schnellwachsenden Kulturen gefasst werden lohnt es sich zu analysieren, wie das Gebiet besser an die sich verändernden Bedingungen hinsichtlich Klimawandel und Waldbrandgefahr angepasst werden kann. Ob die Fläche sich zunächst komplett selbst überlassen oder mit klimawandelresistenteren Arten bepflanzt wird, muss standortabhängig entschieden werden. Derzeit gibt es verschiedene wissenschaftliche Forschungsprojekte die sich zum Ziel gesetzt haben herauszufinden, wie brandgeschädigte Waldflächen möglichst nachhaltig und resilient gestaltet und Regenerationsprozesse unterstützt werden können (Waldklimafonds, 2021).

4. Fazit

In Anbetracht der fortschreitenden klimatischen Veränderungen ist es für die für einen Wald zuständigen Personen, Ämter oder Behörden, aber auch für Kommunen, Länder und Bund unabdingbar, sich mit dem Thema Waldbrandprävention auseinanderzusetzen. Dieses ist eingebettet in die größeren strategischen Fragestellungen nach dem Erhalt der Biodiversität, den Folgen des Klimawandels für Ökosystemdienstleistungen, den Temperaturanstieg und viele mehr. Aufgrund seiner vielfältigen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen sollte dem Erhalt eines gesunden und anpassungsfähigen Waldes eine hohe Priorität eingeräumt werden. Die Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen zur Waldbrandprävention mag für große, wirtschaftlich genutzte Waldgebiete realistischer sein, für Flächenbesitzer von kleineren Waldstücken aber mit größeren Aufwänden einhergehen. Umso wegweisender wäre es, wenn es für alle Besitz- und Größenverhältnisse attraktive Förderangebote seitens der Politik gäbe und somit aktiv in den Waldschutz investiert wird. Dies wäre zudem weitaus kostengünstiger, als lediglich die Löschtechnik zu modernisieren und Flotten zu vergrößern. Wichtig ist es, den ersten Schritt zu tun und mit den Maßnahmen, sei es zunächst nur im Kleinen, zu beginnen. Das gilt insbesondere für die bisher wenig betroffenen Gebiete, damit nicht erst ein Großereignis eintreten muss, um die Aufmerksamkeit auf das Thema zu ziehen.

Wie der „Wald der Zukunft“ dann tatsächlich aussehen wird, mag heute noch niemand sagen. Sicher ist jedoch, dass eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit lohnenswert sein wird.

Literaturverzeichnis

BfN, 2020. *Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität.* [Online]

Available at: https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/BfN-Positionspapier_Waelder_im_Klimawandel_bf.pdf [Zugriff am 22 Januar 2022].

BMEL, 2018. *Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur.* [Online]

Available at:

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Zugriff am 31 Oktober 2021].

BMEL, 2021a. *Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2020.* [Online]

Available at: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Waldbrandstatistik/Waldbrandstatistik-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [Zugriff am 06 November 2021].

BMEL, 2021b. *Waldbericht der Bundesregierung 2021.* [Online]

Available at:

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldbericht2021.pdf?__blob=publicationFile&v=7 [Zugriff am 23 Januar 2022].

BMELV, 2011. *Waldstrategie 2020.* [Online] Available at:

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 22 Januar 2022].

Braunisch, V., 2015. Natur zulassen: Ein Konzept für den Prozessschutz. *AFZ - Der Wald*, Issue 06.

Chtioui, Y. & Kaulfuß, S., 2020. *Waldbrandüberwachung.* [Online]

Available at:

<https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbrandueberwachung> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Copernicus, 2022. *Europäisches Waldbrandinformationssystem.* [Online]

Available at: <https://www.copernicus.eu/de/europaeisches-waldbrandinformationssystem> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Deutsche Welle, 2018. *Waldbrandmanager empfiehlt: Vorsorge statt teurer Löschtechnik.* [Online]

Available at: <https://www.dw.com/de/waldbrandmanager-empfiehl-vorsorge-statt-teurer-loeschtechnik/a-44833931> [Zugriff am 09 Januar 2022].

Deutschlandfunk, 2021. *Waldbrände im Mittelmeerraum / Satellitendaten erleichtern die Feuerbekämpfung.* [Online]

Available at: <https://www.deutschlandfunk.de/waldbraende-im-mittelmeerraum-satellitendaten-erleichtern-100.html> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2001.

Waldbodensanierung. [Online] Available at:

[https://bfw.ac.at/300/pdf/wald\(boden\)sanierung.pdf](https://bfw.ac.at/300/pdf/wald(boden)sanierung.pdf) [Zugriff am 22 Januar 2022].

Forestbook, 2021a. *Waldbrandprävention – Waldbauliche Maßnahmen.* [Online]

Available at: <https://www.forestbook.info/waldbrandpraevention-waldbauliche-massnahmen/> [Zugriff am 09 Januar 2022].

Forestbook, 2021b. *Waldbrandprävention – Technische Maßnahmen.* [Online] Available at: <https://www.forestbook.info/waldbrandpraevention-technische-massnahmen/> [Zugriff am 09 Januar 2022].

Forzieri, G., Girardello, M. & Ceccherini, G. e. a., 2021. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications* 12, 23 Februar, Issue 1081.

Goldammer, J. G., 2020. Klimawandel, Wetterextreme, Wald und Waldbrand: Herausforderungen an die Waldbesitzer. *Deutscher Waldbesitzer*, Juli, Issue 03.

Heikkilä, T. V., Grönqvist, R. & Jurvelius, M., 2010. *Wildland fire management: Handbook for Trainers.* [Online] Available at: <https://www.fao.org/3/i1363e/i1363e.pdf> [Zugriff am 07 November 2021].

IQ-FireWatch, 2022. *MODERNSTE SENSORIK FÜR BESTE ERGEBNISSE.* [Online] Available at: <https://www.iq-firewatch.com/de/die-technik> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Kaulfuß, S., 2011a. *Waldbauliche Maßnahmen zur Waldbrandvorbeugung.* [Online] Available at: https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_waldbbrand_wb4/wb4_1_4_zf_waldbrandvorbeugung_11_03_08.pdf [Zugriff am 23 September 2021].

Kaulfuß, S., 2011b. *Technische Maßnahmen zur Waldbrandvorbeugung.* [Online] Available at: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/technische-waldbrandvorbeugung> [Zugriff am 09 Januar 2022].

Kaulfuß, S., 2011c. *Waldbrandvorbeugung.* [Online] Available at: https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_waldbbrand_wb4/wb4_1_4_zf_waldbrandvorbeugung_11_03_08.pdf [Zugriff am 16 Januar 2022].

Kaulfuß, S., 2016. *Gesetzliche Grundlagen und Pflichten der Waldbesitzer bei der Waldbrandvorbeugung.* [Online] Available at: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbrand-gesetzliche-grundlagen?L=2> [Zugriff am 16 November 2021].

Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz, 2020. *Waldbrand-Früherkennung.* [Online] Available at: <https://www.kiwuh.de/service/wissenswertes/wissenswertes/waldbrand-frueherkennung> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Kovats, R. S. & Valentini, R., 2014. *Europe – supplementary material. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Online] Available at: www.ipcc-wg2.gov/AR5 [Zugriff am 30 Oktober 2021].

Landesbetrieb Forst Brandenburg, 2022a. *Waldbrandgefahr in Brandenburg.* [Online] Available at: <https://forst.brandenburg.de/lfb/de/themen/wald-schuetzen/waldbrandgefahr-in-brandenburg/> [Zugriff am 15 Januar 2022].

Landesbetrieb Forst Brandenburg, 2022b. *Modernisierung des Systems der Waldbrandfrüherkennung und Zentralisierung der Waldbrandzentralen an zwei Standorten im Land Brandenburg.* [Online] Available at: <https://forst.brandenburg.de/lfb/de/themen/wald->

schuetzen/waldbrandgefahr-in-brandenburg/modernisierung-waldbrandfrueherkennung/ [Zugriff am 15 Januar 2022].

Müller, M., 2020. Waldbrände in Deutschland - Teil 2. *AFZ-DerWald*, Issue 1, pp. 29-33.

Maier, C., 2021. *Umgang der Forstwirtschaft mit Waldbrand*. [Online]

Available at: https://ac95c60d-22d5-44fd-817d-5b23e3d8e292.filesusr.com/ugd/bf6978_137550bf6d9341088fc69fe078ab2fde.pdf [Zugriff am 31 Oktober 2021].

MAZ Online, 2021. *Das bedeuten die Waldbrandgefahrenstufen*. [Online]

Available at: <https://www.maz-online.de/Brandenburg/Waldbrandgefahr-Das-bedeuten-die-unterschiedlichen-Stufen> [Zugriff am 16 Januar 2022].

Resilience Blog, 2021. *Blickwinkel Waldbrandmanagement: Interview mit Detlef Maushake*. [Online]

Available at: <https://resilience-blog.com/2021/05/03/blickwinkel-waldbrandmanagement-interview-mit-detlef-maushake/> [Zugriff am 13 November 2021].

Süssner, B., 2020. *Wald- und Vegetationsbrände*. 1. Auflage Hrsg. Stuttgart: W. Kohlhammer.

Schuck, A. et al., 2010. Reduzierung von Waldbrandgefahren durch Integratives Feuermanagement. *AFZ - Der Wald*, Issue 09.

Seidl, R., Wohlgemuth, T. & Jentsch, A., 2019. *Störungsökologie*. 1. Auflage Hrsg. Bern: Haupt Verlag.

Staatliche Feuerweherschule Würzburg, 2019. *Vegetationsbrände*. [Online]

Available at: https://feuerwehr-lernbar.bayern/fileadmin/downloads/Merkblaetter_und_Broschueren/Abwehrender_Brandschutz/Vegetationsbrände/Vegetationsbrände.pdf [Zugriff am 13 November 2021].

Statista, 2021. *Feuer verheert 2020 368 Hektar Wald*. [Online]

Available at: <https://de.statista.com/infografik/18581/anzahl-und-flaeche-aller-waldbraende-in-deutschland/> [Zugriff am 05 Dezember 2021].

Teusan, S., 2018. *Analyse der Waldentwicklung in der nördlichen Mongolei seit dem politischen Umbruch im Jahre 1991 unter besonderer Berücksichtigung feuerökologischer Aspekte*. [Online] Available at: <https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/11872/DissTeusan2018Online.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Zugriff am 07 November 2021].

Umweltbundesamt, 2019. *Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. [Online]

Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf [Zugriff am 22 Januar 2022].

Umweltbundesamt, 2021. *Waldbrände*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/waldbraende#waldbrände-in-deutschland> [Zugriff am 23 September 2021].

Waldklimafonds, 2021. *Projekt PYROPHOB: Internetauftritt online*. [Online]

Available at: <https://www.waldklimafonds.de/service/aus-den-projekten/projektnews-detail/projekt-pyrophob-internetauftritt-online> [Zugriff am 28 Januar 2022].

Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik, 2021. *Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik.* [Online] Available at: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/gutachten-wbw-anpassung-klimawandel.pdf;jsessionid=A8BACF88E8D045A37C16BB83D3ADABCD.live842?_blob=publicationFile&v=2 [Zugriff am 22 Januar 2022].

WKR, 2020. *Waldbrand Klima Resilienz - Überblick.* [Online] Available at: <https://www.waldbrand-klima-resilienz.com/ueberblick> [Zugriff am 23 September 2021].

Anhang

Checkliste für Flächeneigentümer zum vorbeugenden Waldbrandschutz

1. Kurzfristige Maßnahmen

<input type="checkbox"/> Waldurchdringung/Reduzierung Brennlast: Entastung, Niederdurchforstung, Entfernung von Holzabfällen und leicht entflammbar Brennmateriale
<input type="checkbox"/> Anlage und Pflege von Zufahrtstraßen für Einsatzfahrzeuge, Besuchs/Barrikaden entfernen, Platz für Wendeschleifen, Schrankenschlüssel verteilen
<input type="checkbox"/> Kartenmaterial regelmäßig aktualisieren, Altlasten u. LWE kennzeichnen, Karten an relevante Personengruppen weitergeben, Telefonlisten aktualisieren
<input type="checkbox"/> Anlage Schutzstreifen (ca. 25m Breite), Entfernung des nicht verwachsenen Bodenmaterials, tiefe Beastung entfernen
<input type="checkbox"/> Anlage Wundstreifen (2-3m Breite), mind. 2x jährlich Bodenvegetation mittels Scheibeneggen/Pflug entfernen
<input type="checkbox"/> Anlage Waldbrandriegel (ca. 35m Breite), Kombination aus Waldbrandschutzweg, Wundstreifen u. Schutzstreifen
<input type="checkbox"/> Löschwasserentnahmestellen/Löschteiche/Tiefbrunnen anlegen, regelmäßige Kontrolle
<input type="checkbox"/> Maschinen u. Geräte für die Waldbrandbekämpfung anschaffen u. bereit halten
<input type="checkbox"/> Einsatz bzw. Anschaffung von AWFS prüfen, sofern noch nicht vorhanden
<input type="checkbox"/> Praktische Übungen mit Forstbehörde/Feuerwehr/Katastrophenschutz organisieren, gemeinsamen Einsatzplan erstellen
<input type="checkbox"/> Informationsschilder/Warntafeln an frequentierten Orten aufstellen, Notrufnummern und Verhaltensregeln angeben

2. Langfristige Maßnahmen

<input type="checkbox"/> Laubholzanteil erhöhen, standortgerechte und resistente Baumarten pflanzen, Artenwahl genau analysieren und planen
<input type="checkbox"/> Nach Störungen Fläche belassen oder Aufforstung mit standortgerechten Arten
<input type="checkbox"/> Bestand durch Verjüngung und Vorausverjüngung pflegen, Jungbäume ggf. vor Wildschäden schützen
<input type="checkbox"/> Totholzanteil (massive Hölzer) erhöhen
<input type="checkbox"/> Zielgruppenspezifische Schulungsformate anbieten, Medien nutzen, Internetpräsenz aktuell halten
<input type="checkbox"/> Austausch mit relevanten Stakeholdern fördern

3. Maßnahmen abwehrender Brandschutz

<input type="checkbox"/> Kommunikation mit der Einsatzleitung, Weitergabe von relevanten Informationen, ggf. logistische Unterstützung anbieten
<input type="checkbox"/> Brandwache einrichten, Schutzausrüstung/Gerätschaften bereithalten