

WALDBRÄNDE IN DEN ALPEN

**Stand des Wissens, zukünftige Herausforderungen und
Optionen für ein integriertes Waldbrandmanagement**

Weißbuch für politische Entscheidungsträger

Finale deutsche Fassung | 15. Juli 2020 | Wien

1

80 million people, 7 countries, 48 regions,
mountains and plains addressing together
common challenges and opportunities



ZITIERHINWEIS FÜR DIESE PUBLIKATION:

Müller M.M., Vilà-Vilardell L., Vacik H. (2020): Waldbrände in den Alpen – Stand des Wissens, zukünftige Herausforderungen und Optionen für ein integriertes Waldbrandmanagement. Vollständig überarbeitete deutsche Fassung des Originals: *Forest fires in the Alps – State of knowledge, future challenges and options for an integrated fire management. EUSALP Action Group 8.*

Impressum

www.alpine-region.eu/action-group-8

- Herausgeber:** EUSALP Action Group 8, vertreten durch Wildbach- und Lawinenverbauung (WLVB), Abteilung III/4, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT)
- Autoren:** Österreich: Christian MAYER, Stefan MAYR, Mortimer M. MÜLLER, Harald VACIK, Lena VILÀ-VILARDELL
Frankreich: Pierre CARREGA, Yvon DUCHE, Sébastien LAHAYE
Deutschland: Falk BÖTTCHER, Harald MAIER, Christian SCHUNK, Lothar ZIMMERMANN
Italien: Davide ASCOLI, Augusto COTTERCHIO, Paolo FIORUCCI, Franco GOTTERO, Sergio PIRONE, Rolando RIZZOLO, Giorgio VACCHIANO, Eva VALESE
Slowenien: Lucija JEREB, Marija KOLŠEK, Boštjan KOŠIČEK, Jože PAPEŽ
Schweiz: Marco CONEDERA, Aron GHIRINGHELLI, Boris PEZZATTI, Daniele RYSER, Michael SAUTTER
- Redaktion:** Mortimer M. Müller, Harald Vacik, Lena Vilà-Vilardell
Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien
- Kontakt:** service@bmlrt.gv.at
- Grafiken:** Institut für Waldbau, BOKU Wien
- Datum:** 07/2020

© BMLRT, alle Rechte vorbehalten

Zusammenfassung

Die International Association of Wildland Fire hat kürzlich erklärt, dass *„der Klimawandel bereits erhebliche Auswirkungen auf die globale Realität von Vegetationsbränden hat und sowohl die Bürger als auch die weltweite Waldbrand-Community betrifft“*. Es wurde auch betont, dass es *„Anzeichen für einen klimabedingten Wandel des Feuerregimes in der nördlichen Hemisphäre gibt, wobei die Brandgefahr in nicht traditionell feuergefährdeten Ländern zunimmt“*. Eine dieser Regionen sind die europäischen Alpen. Waldbrände stellen ein zunehmendes Problem dar, können zu hohen Schäden in Schutzwäldern führen, das Risiko von Naturgefahren erhöhen, eine direkte Bedrohung für Menschen darstellen und Kosten in Millionenhöhe für Brandbekämpfungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen verursachen. Die letzten trockenen und heißen Sommer in Teilen des Alpenraums, etwa 2013, 2015, 2017 und 2018, haben gezeigt, dass es einer guten Vorbereitung bedarf, um dem sich ändernden Feuerregime mit intensiveren und häufigeren Bränden zu begegnen. In diesem Zusammenhang betonten Feuermanagement-Experten bei der 4. Europäischen Konferenz zur Anpassung an den Klimawandel (ECCA) im Mai 2019 in Lissabon, Portugal, die Bedeutung der *„Einbeziehung der sozialen Dimension von Bränden in die Landschaftsplanung und das Management des ländlichen Raumes, indem unkontrollierte Feuer nicht nur als ökologisches, sondern auch als wirtschaftliches und soziales Problem betrachtet werden“*.

DEFINITION UND URSACHEN

Im alpinen Kontext werden Waldbrände als unkontrollierte Feuer in bewaldeten Gebieten definiert, unabhängig von der Ursache, Größe und Brandart, einschließlich Bränden auf Kahlschlägen, im Jung- und Niederwald sowie Feuer an der alpinen Waldgrenze. Die wichtigsten Faktoren, welche die Entzündung eines Feuers bestimmen, sind das Vorhandensein einer Zündquelle und der Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials (primär abgestorbene Pflanzenteile). Etwa 90 % aller Brände im Alpenraum werden direkt oder indirekt durch den Menschen ausgelöst. Hauptursachen sind weggeworfene Zigaretten, außer Kontrolle geratene Brände, Funkenflug durch Züge oder bei Arbeiten im Freien, Brandstiftung, heiße Asche sowie Stromleitungen. Rund 10 % der Waldbrände in den Alpen werden durch Blitzschläge ausgelöst. Das Feuerverhalten, einschließlich der Ausbreitung und Intensität, hängt vom Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials, der Vegetationsstruktur und -kontinuität, der Topographie und dem auftretenden Wind ab.

TREIBER UND AUSWIRKUNGEN VON BRÄNDEN

Die Waldbrandaktivität im Alpenraum wird in naher Zukunft wahrscheinlich zunehmen, da die Intensität von Dürreperioden und Hitzewellen ansteigt und die Brandgefahr durch die Aufgabe von ländlichen Gebieten und mehr Freizeitaktivitäten zunimmt. Die Bergwälder der Alpen erfüllen eine wichtige Schutzfunktion gegen Naturgefahren und stellen zahlreiche Ökosystemleistungen für die Bevölkerung zur Verfügung. Waldbrände können das Anbruchrisiko für Lawinen in gefährdeten Gebieten sowie die Gefahr von Steinschlag, Muren und Bodenerosion erhöhen. Daneben sind lokale Veränderungen der hydraulischen Verhältnisse möglich. Gefährdet sind vor allem Wälder an steilen, nach Süden ausgerichteten Hängen. Generell stellt die Brandbekämpfung in den Alpen aufgrund der zerklüfteten Topographie und der schwierigen Zugänglichkeit eine Herausforderung dar. Durch die erwartete Änderung des Waldbrandregimes ist es wahrscheinlich, dass die Kosten für die Brandbekämpfung, für Katastrophenschutzmaßnahmen, für die Wiederherstellung von Flächen nach einem Brand und für notwendige präventive Schutzmaßnahmen stark ansteigen werden. Die negativen Auswirkungen von Waldbränden in den Alpen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Reduktion der Schutzfunktion von Bergwäldern.
- Erhöhte Anfälligkeit gegenüber anderen Naturgefahren.
- Verlust von natürlichen Ressourcen und verminderte Produktivität durch verstärkte Bodenerosion.
- Hohe Kosten durch die Brandbekämpfung sowie durch Renaturierungsmaßnahmen auf Brandflächen.
- Erhöhte Gefahr für Mensch und Infrastruktur im Bereich des Wildland-Urban-Interface (WUI).
- Erhöhte Luftverschmutzung und vermehrte Freisetzung von Kohlenstoff.

Die direkten Gesamtkosten für die Brandbekämpfung und für erforderliche Maßnahmen auf Brandflächen (ohne Präventivmaßnahmen) im Zusammenhang mit Waldbränden werden in der Alpenregion derzeit auf rund **75 Mio. Euro pro Jahr** geschätzt.

Die Bemühungen zur Brandbekämpfung im Alpenraum sind derzeit nicht in der Lage, das Auftreten extremer Waldbrandereignisse zu verhindern. Die Umsetzung eines präventiven, integrierten Waldbrandmanagements ist dringend erforderlich und umfasst Maßnahmen zur Brandvorbeugung, Brandbekämpfung und zur Behandlung von Waldbrandflächen.

LÖSUNGSVORSCHLÄGE

Wir empfehlen daher ein Rahmenwerk für ein integriertes Waldbrandmanagement im Alpenraum, das sich mit den Treibern des gegenwärtigen und zukünftigen Feuerregimes in Bergwäldern befasst, die Bedürfnisse der Menschen, die im Alpenraum leben und ihn besuchen, berücksichtigt, und darauf abzielt, die negativen Auswirkungen von Bränden zu minimieren. Das Rahmenwerk umfasst eine Reihe an Empfehlungen und vorgeschlagenen Maßnahmen, um dem sich ändernden Feuerregime im Alpenraum zu begegnen. Die Kosten für diese Maßnahmen werden auf **rund 10 Mio. € pro Jahr** geschätzt.

1. Konzeption und Umsetzung von kurz- und langfristigen Präventionsmaßnahmen

- Verbesserung der Abschätzung der kurzfristigen Waldbrandgefahr unter Berücksichtigung von Topographie, Vegetation, dem menschlichen Einfluss und den spezifischen Standortbedingungen im Alpenraum.
- Erhöhung der Widerstandsfähigkeit und Belastbarkeit heimischer Wälder durch die Förderung von brandresistenten, standortsangepassten Baumarten im Klimawandel.
- Antizipation der zukünftigen Auswirkungen von Naturgefahren durch Förderung interdisziplinärer Ansätze sowie durch ein adaptives Management des Brennmaterials in den Wäldern.
- Verbesserung der Waldbewirtschaftungsplanung unter Berücksichtigung von Entzündungsgefahr und Brandverhalten.
- Anpassung der Waldbewirtschaftung, einschließlich der Nutzung von kontrollierten Abbrenntätigkeiten, und Umsetzung von Schutzmaßnahmen am Wildland-Urban-Interface.
- Förderung von Aktivitäten zur thematischen Sensibilisierung von Interessensvertretern und der Bevölkerung, um ein Bewusstsein für Waldbrände zu etablieren.
- Erstellung dynamischer Risikokarten auf lokaler und nationaler Ebene zur Identifizierung aktueller und künftiger Hotspot-Gebiete sowie zur Ausweisung von Regionen mit geringer Brandintensität, um die Sicherheit der Einsatzkräfte zu gewährleisten und taktische Bekämpfungsmaßnahmen zu unterstützen.

Geschätzte direkte Kosten für diese Maßnahmen pro Jahr und für den gesamten Alpenraum: 5-7 Mio. €

2. Bekämpfungsmaßnahmen an die spezifischen Bedingungen im Alpenraum anpassen

- Verbesserung des Wissens und der Fertigkeiten zu möglichen Bekämpfungsmaßnahmen und Aufbau einer angemessenen Waldinfrastruktur.
- Förderung der Entsendung von spezialisierten Einsatzkräften zur Unterstützung der lokalen Einsatzkräfte.
- Anpassung der Techniken zur Brandbekämpfung (z. B. bei Wassermangel) und Einsatz von technischen (kontrollierten) Feuern als Teil der Bekämpfungsstrategien.
- Sicherstellung einer schnellen und effizienten Luftunterstützung durch Helikopter.

Geschätzte direkte Kosten für diese Maßnahmen pro Jahr und für den gesamten Alpenraum: 1,5-2,5 Mio. €

3. Verbessertes Verständnis zu Waldbränden und Optimierung der Maßnahmen auf Waldbrandflächen

- Vollständige Dokumentation von Waldbrandereignissen in den Alpenländern und Aufbau einer einheitlichen Archiv-Datenbank.
- Erneuerung der Waldbedeckung durch technische Maßnahmen und Verbesserung der auf ökologischen Grundlagen basierenden Aktivitäten zur Wiederherstellung von verbrannten Flächen.
- Minimierung der Risiken von Brandauswirkungen und Naturgefahren.
- Intensivierung der Untersuchungen zu Brennstoffmodellierungen und Brandverhalten.
- Einrichtung von kontinuierlichen Monitoringflächen sowie von Fallstudien auf Brandflächen, um die Mortalität von Baumindividuen zu untersuchen und die Regeneration zu überwachen.

Geschätzte direkte Kosten für diese Maßnahmen pro Jahr und für den gesamten Alpenraum: 1-2 Mio. €

4. Wissenstransfer und Erfahrungsaustausch unterstützen

- Etablierung eines Multi-Stakeholder-Ansatzes zwischen Behörden, Einsatzkräften und Wissenschaftlern.
- Durchführung von transnationalen Trainings und realitätsnahen Waldbrandübungen für Feuerwehren und Einsatzkräfte.
- Fortsetzung der Zusammenarbeit der Alpenländer im Bereich der Waldbrandforschung.
- Reduktion der negativen Auswirkungen auf die Brandbekämpfung und die Entzündungsgefahr von Waldbränden durch die Aufgabe ländlicher Gebiete sowie durch steigende touristische Nutzung und mehr Freizeitaktivitäten im Wald.
- Organisation internationaler Workshops.
- Verwendung einer gemeinsamen Terminologie.

Geschätzte direkte Kosten für diese Maßnahmen pro Jahr und für den gesamten Alpenraum: 0,5 Mio. €

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	3
MOTIVATION FÜR DIESE STUDIE.....	10
1. STAND DES WISSENS	11
1.1. Einleitung	11
1.2. Definition eines Waldbrandes und relevante Begriffe	13
1.3. Dokumentation von Waldbränden in der Alpenregion	15
1.4. Charakterisierung des derzeitigen Brandregimes.....	17
1.5. Auswirkungen von Waldbränden	27
1.6. Waldbrandmanagement.....	30
1.6.1. Langfristige Präventionsmaßnahmen	31
1.6.2. Kurzfristige Präventionsmaßnahmen	38
1.6.3. Vorbereitende Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung.....	43
1.6.4. Detektion von Waldbränden	44
1.6.5. Direkte Waldbrandbekämpfung	45
1.6.6. Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden	46
1.7. Rechtsgrundlagen, Förderungen und Verwaltung.....	48
2. AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE HERAUSFORDERUNGEN	50
2.1. Änderung der ökologischen, sozioökonomischen und politischen Bedingungen.....	50
2.2. Präventionsmaßnahmen	54
2.3. Waldbrandbekämpfung.....	57
2.4. Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden	60
3. OPTIONEN FÜR EIN INTEGRIERTES WALDBRANDMANAGEMENT	64
3.1. Rahmenwerk eines integrierten Waldbrandmanagements.....	64
3.2. Präventionsmaßnahmen	66

3.2.1.	Systeme zur Vorwarnung und Abschätzung der Brandgefahr	66
3.2.2.	Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung	68
3.2.3.	Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz gegenüber Waldbränden	70
3.3.	Maßnahmen zur Brandbekämpfung	73
3.3.1.	Ausbildung von spezialisierten Einsatzkräften	73
3.3.2.	Aufbau der erforderlichen Infrastruktur.....	74
3.4.	Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden	77
3.4.1.	Monitoring und Fallstudien	77
3.4.2.	Minimierung des Auftretens von Naturgefahren	78
3.5.	Wissensvermittlung und Austausch.....	79
DANKSAGUNG		82
LITERATURVERZEICHNIS		83
ANHANG.....		94
Übersicht verwendeter Begriffe und Definitionen.....		94
Demographie der EUSALP-Umfrage.....		94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte der Alpenregion auf NUTS 3 Ebene.....	12
Abbildung 2: Jährliche Anzahl an Waldbränden nach Ländern (innerhalb der definierten Alpenregion).....	19
Abbildung 3: Durchschnittliche Zahl an Bränden pro Jahr und Region	20
Abbildung 4: Gesamtbrandflächen pro Jahr und Land (innerhalb der Alpenregion).....	21
Abbildung 5: Durchschnittlich verbrannte Fläche (in Hektar) pro Jahr und Region	22
Abbildung 6: Jährliche Zahl an Waldbränden und Größe der Brandflächen in der Alpenregion	23
Abbildung 7: Brandursachen in der Alpenregion nach Ländern	26
Abbildung 8: Hangmure in Ascona, Schweiz, im Sommer 1997, fünf Monate nach einem Waldbrand.....	29
Abbildung 9: Bestimmungen zum kontrollierten Abbrennen der Vegetation nach Ländern und Regionen.....	35
Abbildung 10: Effizienz der durchgeführten Waldbrand-Maßnahmen in der Alpenregion	37
Abbildung 11: Eingesetzte Parameter und Methoden für die Vorhersage der Brandgefahr in der Alpenregion	39
Abbildung 12: Screenshots der nationalen/regionalen Systeme zur Abschätzung der Brandgefahr.....	40
Abbildung 13: Modell eines integrierten Systems zur Abschätzung der Waldbrandgefahr (IFDS)	43
Abbildung 14: Berücksichtigung des Waldbrandmanagements in die Gestaltung der Forstpolitik	49
Abbildung 15: Hauptursachen unkontrollierter Vegetationsbrände und maßgebliche Treiber des Brandregimes.....	52
Abbildung 16: Aktuelle und zukünftige Herausforderungen bei der Waldbrandbekämpfung.....	59
Abbildung 17: Treiber/Auswirkungen von Bränden und Elemente eines integrierten Waldbrandmanagements	65
Abbildung 18: Erfolgskonzept: Brandfahrenbewertung im komplexen Gelände.....	67
Abbildung 19: Erfolgskonzept: Umsetzung neuer Indizes zur Vorhersage der Brandgefahr im Winter	67
Abbildung 20: Erfolgskonzept: Evaluierung raumzeitlicher Trends der meteorologischen Brandgefahr	68
Abbildung 21: Erfolgskonzept: Kontrollierte Abbrenntätigkeiten im Fernsehen	69
Abbildung 22: Erfolgskonzept: Nachhaltige Wiederherstellung extensiver Beweidung in Spanien	70
Abbildung 23: Erfolgskonzept: Integration von Forschung und Waldbrandmanagement.....	72
Abbildung 24: Erfolgskonzept: Ausbildung spezialisierter Feuerwehrleute für Waldbrände im Gebirge	73
Abbildung 25: Erfolgskonzept: Dichtes Netz an Forststraßen in Slowenien	75
Abbildung 26: Erfolgskonzept: Dichtes Netz an Freiwilligen Feuerwehren in Österreich.....	77
Abbildung 27: Erfolgskonzept: Datenbank für Naturgefahren nach Brandereignissen in Frankreich	78

Abbildung 28: Erfolgskonzept: Einrichtung eines Multi-Stakeholder-Forums nach extremen Waldbränden 80
Abbildung 29: Teilnehmer des EUSALP-Waldbrandworkshops im Juni 2019 in Wien..... 82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitlicher Umfang der für diese Studie verwendeten nationalen/regionalen Datenbanken..... 17
Tabelle 2: Brandsituation in den Alpenländern..... 24
Tabelle 3: Brandpräventionsmaßnahmen in den Alpenländern 42
Tabelle 4: Herausforderungen und relevante Faktoren für das Waldbrandregime in den Alpenländern..... 62
Tabelle 5: Bedeutung einzelner Maßnahmen des Waldbrandmanagements in den Alpenländern..... 66
Tabelle 6: Anzahl der pro Zielgruppe erhaltenen Antworten 94
Tabelle 7: Anzahl der erhaltenen Antworten nach Land/Region 95
Tabelle 8: Liste der Regionen, aus denen Antworten übermittelt wurden 95

Motivation für diese Studie

In den letzten Jahren haben die Intensität und Ausdehnung von Vegetationsbränden weltweit zugenommen. Als eine der Hauptursachen ist der anthropogen verursachte Klimawandel anzuführen. Jüngste Waldbrandereignisse haben gezeigt, dass unkontrollierte Feuer auch im Alpenraum eine Herausforderung darstellen, den Schutzwald gefährden, die Anfälligkeit gegenüber Naturgefahren erhöhen und Millionenkosten für einen einzelnen Brand verursachen können. Aufgrund des Klimawandels, der verstärkten Erholungsnutzung der Wälder und einer veränderten Waldbewirtschaftung ist damit zu rechnen, dass die Häufigkeit und Intensität von Waldbränden in Zukunft ansteigen wird. Besonders gefährdet sind Schutzwälder an Südhängen, die von Nadelbaumarten dominiert werden. Waldbrände können zu neuen lawinengefährdeten Hängen, einem höheren Risiko von Steinschlag, Muren und Bodenerosion führen. Darüber hinaus ist ein dramatischer Anstieg der Kosten für die Brandbekämpfung, für die Wiederherstellung von Waldflächen sowie für notwendige Schutzmaßnahmen zu erwarten.

Im Zusammenhang mit der EUSALP EU-Strategie für den Alpenraum strebt die Aktionsgruppe 8 eine Verbesserung des Risikomanagements und die Anpassung der behördlichen Mechanismen durch die Optimierung und Aufwertung der bestehenden Kooperationsstrukturen an. Die Identifizierung von bewährten Lösungen aus der Praxis bei der Bekämpfung des Klimawandels ist eine der wichtigsten Aktivitäten. In diesem Zusammenhang hat das österreichische Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) das Projekt „Waldbrände in den Alpen: Stand des Wissens und zukünftige Herausforderungen“ in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) und den Mitgliedern der Aktionsgruppe 8 ins Leben gerufen.

Zur Bearbeitung des Projektes wurde ein Expertengremium zu Waldbränden im Alpenraum eingerichtet, gefolgt von der Konzeption und Durchführung einer mehrsprachigen Online-Umfrage. Wissenschaftler, Behördenvertreter und Mitglieder von Einsatzorganisationen aller EUSALP-Mitgliedsstaaten (Deutschland, Frankreich, Italien, Liechtenstein, Österreich, Schweiz und Slowenien) haben zu der Umfrage beigetragen. Basierend auf den Ergebnissen der Erhebung wurden die Prozesse, Rechtsgrundlagen und wichtigsten Herausforderungen hinsichtlich der Vorbeugung, Bekämpfung und Bewältigung von Waldbränden im Alpenraum identifiziert. Im Juni 2019 fand in Wien ein Waldbrand-Workshop statt, um bewährte Lösungen im Umgang mit Waldbränden zu identifizieren sowie die wichtigsten Elemente eines integrierten Waldbrandmanagements für den Alpenraum zu diskutieren. Das vorliegende Weißbuch für politische Entscheidungsträger wurde im Februar 2020 fertiggestellt und im Juni 2020 als deutsche Fassung veröffentlicht.

1. Stand des Wissens

1.1. Einleitung

In den letzten Jahren haben extreme Waldbrandereignisse in der ganzen Welt darauf hingewiesen, dass ein weiterer Anstieg der Bedrohung durch unkontrollierte Vegetationsbrände aufgrund des menschengemachten Klimawandels wahrscheinlich ist (z. B. Jolly et al. 2015; Westerling et al. 2011). Höhere Temperaturen in Kombination mit längeren Dürreperioden, Veränderungen bei der Waldbewirtschaftung, die Abwanderung der Bevölkerung aus ländlichen Gebieten sowie die gleichzeitig intensivere Nutzung der Wälder für Freizeitaktivitäten und Tourismus sind bekannte Treiber des Waldbrandregimes, welche die Wahrscheinlichkeit für häufigere und intensivere Vegetationsbrände erhöhen (Dupire et al. 2019; Vacchiano et al. 2018; Pezzatti et al. 2013).

Unkontrollierte Vegetationsbrände sind ein Thema, das auch in der Alpenregion zunehmend an Bedeutung gewinnt. Speziell nadelholzdominierte Wälder auf Südhängen sind gefährdet – doch gerade diese haben eine wichtige Schutzfunktion gegen Naturgefahren. Die Auswirkungen und Schäden durch Waldbrände können zu neuen lawinengefährdeten Hängen, zu einem höheren Risiko von Steinschlag, Muren oder Bodenerosion führen, wodurch verschiedenste Bedrohungen für die Infrastruktur und die in der Alpenregion lebende Bevölkerung resultieren. Die Brandbekämpfung in der Alpenregion ist aufgrund der schroffen Topografie und der zahlreichen entlegenen Gebiete schwierig. Es ist wahrscheinlich, dass die Kosten in Zusammenhang mit Waldbränden aufgrund der erschwerten Bedingungen für die Brandbekämpfung, notwendiger Schutzmaßnahmen, Kohlenstoff- und Schadstoffemissionen, sowie als Resultat der Wiederaufforstung von Brandflächen stark zunehmen werden. Aufgrund des ungebrochenen Trends bei der Ausweitung von Städten und der Errichtung von Wohnhäusern und Betrieben in der Nähe von Wäldern, ist das sogenannte **Wildland-Urban-Interface (WUI)** von besonderer Bedeutung, da hier Vegetationsbrände leichter auf besiedelte Gebiete übergreifen können. Kritische Infrastrukturen oder technische Einrichtungen (z. B. Stromleitungen, Mobilfunkmasten), die sich direkt in Waldgebieten befinden, werden in Zukunft einem höheren Zerstörungsrisiko ausgesetzt sein. Zuletzt haben Studien der letzten Jahre gezeigt, dass die Häufigkeit und die Intensität von Waldbränden in der Alpenregion zunehmen wird (Arndt et al. 2013; Barriopedro et al. 2011; Moreira et al. 2011; Seidl et al. 2014; Valesse et al. 2014; Wastl et al. 2012; Zumbrunnen et al. 2009).

Ein Großteil der alpinen Wälder besteht aus der Gemeinen Fichte (*Picea abies*) oder der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*). Insbesondere von **Fichten** dominierte Wälder in niederen Höhenlagen leiden bereits heute unter dem Klimawandel und werden zukünftig noch mehr beeinträchtigt sein, wenn Temperatur und Trockenheit wie erwartet ansteigen. Darüber hinaus können unter geänderten klimatischen Bedingungen historisch wenig brandanfällige Wälder ebenfalls von großen Bränden betroffen sein, wie dies in den letzten Jahren bei mitteleuropäischen Bergwäldern mit Buche der Fall war (Ascoli et al. 2013a; Maringer et al. 2016a). In höheren Lagen liefern die an Wälder angrenzenden Grünflächen und Krummholzbestände aus Bergkiefern (*Pinus mugo*) leicht entzündliches Brennmaterial. Außerdem hat der Druck von invasiven Neophyten in den letzten Jahren zugenommen. Diese können die Regeneration von angepassten lokalen Gehölzen nach einem Brand erschweren (Maringer et al. 2012).

Stürme und Borkenkäferbefall führen durch mehr Schadholz zu einer **Ansammlung von Brennmaterial**, wodurch die potenzielle Brandintensität ansteigt. Ebenso führt die regional stark ausgeprägte Landflucht zu einer extensiven Bewirtschaftung und damit größeren Menge an Brennmaterial, was ein aggressiveres Brandverhalten bewirken kann. Gleichzeitig nimmt die Zahl der von Menschen verursachten Brände zu. In Zukunft könnte eine intensivere Nutzung

der Wälder als Erholungsräume die Wahrscheinlichkeit von Bränden durch Fahrlässigkeit und Unachtsamkeit erhöhen; Ursachen, die bereits heutzutage häufig sind. Darüber hinaus wird erwartet, dass die Anzahl der durch Blitzschlag ausgelösten Brände in Zukunft ansteigen wird (Conedera et al. 2006). Blitzschlagbrände sind speziell in den Zentral- und Ostalpen ein Thema, treten oft in entlegenen Gebieten auf und können durchaus zu Großbränden führen (z. B. das *Monte-Jovet-Feuer* 2013 in Italien mit einer verbrannten Fläche von 946 ha).

Der in dieser Arbeit verwendete Begriff **Alpenregion** bezeichnet die geographisch definierte Bergregion in Mitteleuropa gemäß den 48 NUTS-52-Regionen, die für die EUSALP-Gruppe verwendet werden (<https://www.alpine-region.eu/7-countries-and-48-regions>). Für die quantitativen Analysen der vorliegenden Studie wurde daher eine Entsprechung der Alpengrenze verwendet, wie sie von der Alpenkonvention durch Zusammenführung der Daten auf NUTS-3-Ebene definiert wird (**Abbildung 1**).

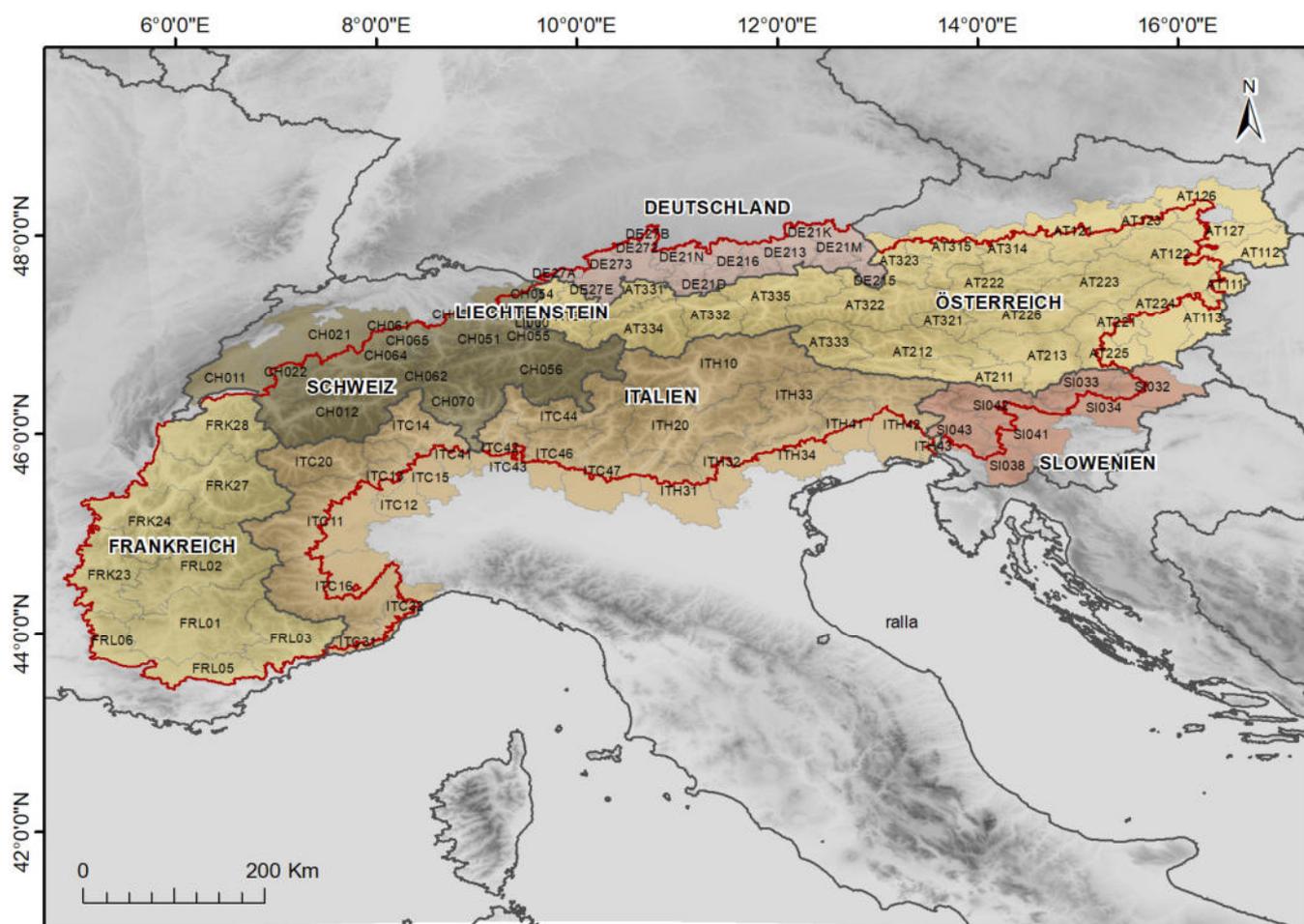


Abbildung 1: Karte der Alpenregion auf NUTS-3-Ebene. In Rot: Umriss der Alpen gemäß der Alpenkonvention.

1.2. Definition eines Waldbrandes und relevante Begriffe

Der international verwendete Begriff **wildfire** bezeichnet alle unkontrollierten Vegetationsbrände, die abseits von verbauten Gebieten entstehen. Für die Alpenregion und für diesen Bericht wurde der Schwerpunkt auf Waldbrände gelegt. **Ein Waldbrand wird als unkontrolliertes Feuer definiert, das zumindest teilweise bewaldetes Gebiet erfasst** (inkl. Brände auf Kahlschlagflächen, im Jung- und Niederwald, in Windschutzgürteln sowie Feuer an der alpinen Waldgrenze), unabhängig von der Brandart (Schwelbrand, Bodenfeuer, Kronenfeuer), der Brandfläche und Ursache, z. B. auch einzelne, durch Blitzschlag brennende Bäume.

Wenn in dieser Arbeit der Begriff „Waldbrand“ verwendet wird, beziehen wir uns ausschließlich auf Waldbrände, andernfalls sind alle unkontrollierten Vegetationsbrände gemeint. In den Grafiken und Statistiken werden, sofern nicht anders angegeben, Waldbrände dargestellt. In **Italien** und **Frankreich** gibt es keine Differenzierung zwischen Vegetations- und Waldbränden. Statistiken zu diesen Ländern zeigen immer die **Gesamtzahl der Vegetationsbrände**, einschließlich aller Feuer im Busch- und Grünland. Italien und Frankreich differenzieren jedoch zwischen der insgesamt verbrannten Fläche und der Waldbrandfläche, daher entsprechen die Statistiken zu den Brandflächen den betroffenen Waldgebieten sämtlicher Alpenländer.

Die Definition eines kleinen Waldbrandes ist in den Alpen nicht einheitlich. Manchmal werden *Entstehungsbrände* von „echten“ Bränden getrennt, wobei *echte Brände* auch nur Ereignisse mit einer Brandfläche über 5 ha sein können. In **Frankreich** werden Waldbrände unter einem Hektar nur sehr spärlich dokumentiert. In der **Schweiz**, in **Deutschland**, in **Österreich** und **Slowenien** wird jedes unkontrollierte Feuer im Wald als Waldbrand gezählt, auch wenn es sich nur um wenige Quadratmeter oder um einen vom Blitz getroffenen, brennenden Baum handelt. In der nationalen Statistik **Italiens** wird eine Brandfläche von 100 m² als die geringste mögliche, verbrannte Fläche definiert.

Es gibt keine einheitliche Definition für ein **extremes Waldbrandereignis** in den Alpen oder weltweit. Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Brandregimes, Häufigkeiten und Intensitäten von Bränden. In feueranfälligeren Gebieten, wie in der Mittelmeerregion, verbrennt ein extremes Feuer Tausende Hektar Land und führt zur Zerstörung von Häusern, Infrastruktur oder gar zu Verletzten und Toten. **Bei derartigen Bränden ist das Stoppen der Feuerfront nicht allein mittels Löschmaßnahmen der Einsatzkräfte möglich, sondern benötigt eine Änderung der Witterung und/oder Brennstoffmangel. Mit anderen Worten: Extreme Vegetationsbrände überschreiten die Kapazitäten der Brandbekämpfung.**

In brandgefährdeten Regionen, wie zum Beispiel im Süden der **französischen Alpen**, umfasst die Definition eines *extremen Brandes* einen holistischen Ansatz, einschließlich der sozialen Auswirkungen (Tedim et al. 2018). In der Alpenregion können auch relativ kleine Brände *extrem* sein, wenn sie eine langfristige Veränderung der Vegetationszusammensetzung bewirken und damit die Schutzfunktion des Waldes über einer Siedlung zerstören. Waldbrände in den Alpen können auch hinsichtlich des Ausmaßes der Brandbekämpfungsmaßnahmen *extrem* sein, wenn Hunderte Einsatzkräfte einen tagelang schwelenden Waldbrand von einigen Hektar im schwierigen, steilen Gelände bekämpfen müssen. Ebenso kann ein Waldbrand hinsichtlich der Kosten *extrem* sein. Um ein Beispiel anzuführen: In Absam, Tirol, **Österreich**, führte im Jahr 2014 ein Waldbrand mit einer Brandfläche von 100 Hektar zu direkten und sozialen Kosten in der Höhe von etwa drei Millionen Euro.

BRANDGEFAHR VS. BRANDRISIKO

Hinsichtlich der **Bewertung der Brandgefahr** ist eine Unterscheidung zwischen den Begriffen *Entzündungsgefahr*, *Brandverhalten*, *Vulnerabilität* und *Brandrisiko* zu treffen (Goldammer et. al. 2017; Hardy 2005; Pausas 2017). Die **Entzündungsgefahr** betrachtet meist nur die dynamische Veränderung der meteorologischen Faktoren, einschließlich Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Wind und Blitzaktivität. Sie kann sich im Lauf der Zeit rasch ändern. Derzeit sind meteorologische Systeme zur Bewertung der Entzündungsgefahr die am häufigsten verwendeten nationalen Vorwarnsysteme in der Alpenregion. Das **Brandverhalten** wird vor allem durch das *Ausbreitungspotential* und die erwartete *Brandintensität* determiniert, gemäß der Menge, Kontinuität und Feuchtigkeit der Vegetation bzw. des Brennmaterials sowie der Topografie. Das Brandverhalten ist primär statischer Natur, kann aber neben der Brennstofffeuchtigkeit den Faktor Wind als dynamische Komponente enthalten. Die **Vulnerabilität** bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß von Schäden unter Berücksichtigung der (kritischen) Infrastruktur, Siedlungen, potenzieller Verluste von Menschenleben sowie der ökologischen Auswirkungen (z. B. Risiko von Naturgefahren). Das **Brandrisiko** beinhaltet potenzielle Ursachen von Bränden (direkter/indirekter Einfluss durch Menschen sowie Blitzschläge) aber auch das *Brandverhalten* und die *Vulnerabilität*. *Brandrisikokarten* werden verwendet, um besonders gefährdete Regionen für eine langfristige Managementplanung zu identifizieren. **Integrierte Systeme zu Abschätzung der Brandgefahr (Integrated Fire Danger assessment Systems, IFDS)** zielen darauf ab, alle oben genannten Aspekte von Brandgefahr und Brandrisiko zusammenzuführen, um eine komplexe und dynamische Risikobewertung zu schaffen (San-Miguel-Ayanz et al. 2018).

BRANDENTSTEHUNG VS. BRANDVERHALTEN

Man unterscheidet zwischen Faktoren, die das Entzündungspotential von Waldbränden bestimmen, und jenen Parametern, die entscheidend für die Ausbreitung und Intensität eines Brandes sind. Die **Wahrscheinlichkeit des Auftretens** eines Brandes wird hauptsächlich von zwei Faktoren bestimmt. Einerseits ist hier die sich rasch ändernde **Streufruchtigkeit** zu nennen, das heißt der Wassergehalt des brennbaren Materials an der Bodenoberfläche (etwa Nadeln, Blätter, Gras). Dieser wird durch mikro- und makroklimatische Bedingungen bestimmt, welche von Niederschlag, Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Wind abhängen. In den Alpen sind zudem spezielle Wettersituationen von Bedeutung, welche die Trockenheit verstärken, etwa Föhnwinde oder lang anhaltende Inversionswetterlagen in der Wintersaison. Andererseits kann ein Brand nur dann entstehen, wenn eine **Zündquelle** vorhanden ist. Dies bedeutet, dass entweder ein Blitzschlag als natürliche Entzündungsquelle fungiert, oder, wesentlich häufiger, dass eine (in)direkter menschlicher Auslöser vorhanden sein muss (z. B. weggeworfene Zigarette, heiße Asche, Funkenflug eines Zuges, außer Kontrolle geratenes Feuer, gerissene Stromleitung, Brandstiftung). Aufgrund der starken Freizeitpräsenz von Menschen in den Alpen werden an Wochenenden und Feiertagen mehr Waldbrände verzeichnet. Außerdem sind Vegetationsflächen in der Nähe von Siedlungen und Straßen statistisch gesehen häufiger von Bränden betroffen, als entlegene Wälder (Arndt et al. 2013; Conedera et al. 2015).

Das **Brandverhalten** eines Waldbrandes – im Wesentlichen die **Intensität** und das **Ausbreitungspotenzial** – hängen von anderen Faktoren ab. Die Art, Verteilung und der Zustand der **Vegetation** beeinflussen in hohem Maße das Brandverhalten. Nadelwälder in der nördlichen Alpenregion brennen öfter und intensiver als von Laubbäumen dominierte Wälder (Fréjaville et al. 2016; Girardin und Terrier 2015), wobei Brände in den südlichen, kontinentalen Tälern auch häufig in Rotbuchen- (*Fagus sylvatica*) und Kastanienwäldern (*Castanea sativa*) auftreten (Pezzatti et al. 2009). Die **Waldstruktur und die Kontinuität der Vegetation** bestimmen, ob sich ein Kronenfeuer entwickeln kann oder ob die Flammen am Boden bleiben. Niedrig hängende Zweige und eine ausgeprägte Strauchschicht können als Feuerleitern fungieren, wodurch sich Kronenfeuer entwickeln. Die Ansammlung von Totholz (z. B. aufgrund extensiver

Waldbewirtschaftung oder durch natürliche Störungen wie Stürme und Borkenkäferbefall) kann die Verweilzeit und die Intensität eines Brandes erhöhen und die Brandbekämpfung gefährlicher machen. Ebenso wirkt sich die Feuchtigkeit bzw. der Wassergehalt der (lebenden) Vegetation auf das Brandverhalten aus. Im Gegensatz zur Entzündungsgefahr ist hierbei die Langzeit Trockenheit am entscheidendsten. Zusätzlich zur Vegetation spielt auch die **Topografie** eine entscheidende Rolle (Tinner et al. 2005). Feuer breiten sich üblicherweise bergauf rascher aus, da heiße Luft aufsteigt und das Brennmaterial aufgeheizt wird (Boboulos und Purvis 2009). Steiles Gelände kann zudem ein gefährliches Brandverhalten für Feuerwehrleute und die Zivilbevölkerung bedeuten (Lahaye et al. 2018). Schluchten in Bergregionen sind bekannt dafür, auch ohne Windeinfluss einen unerwarteten Anstieg der Feuerintensität zu bewirken (Viegas und Pita 2004). Auf Südhängen ist die Vegetation trockener, was nicht nur zu einer höheren Entzündungsgefahr führt, sondern auch zu einem höheren Ausbreitungspotenzial. Glimmende Teile von Bäumen und brennende Baumstümpfe, die steile Hänge hinabrollen, können neue Brände entfachen, wie in verschiedenen Teilen der Alpen dokumentiert worden ist. Letztendlich ist der **Wind** ein entscheidender Faktor für die Ausbreitung der Flammen. Am häufigsten werden **extreme Waldbrände in den Alpen während starker Föhnereignisse in Kombination mit lang andauernden Trockenperioden an steilen Hängen** verzeichnet. Lokale und großräumige Windsysteme können zu einer gefährlichen Veränderung der Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit einer Feuerfront führen.

Die Differenzierung zwischen **Entzündungsgefahr** und **Brandverhalten** hängt von den lokalen Bedingungen und Anforderungen ab. Die Behörden, Einsatzkräfte und Medien in **Österreich** und in **Slowenien** verwenden und kommunizieren hauptsächlich die Entzündungsgefahr von Waldbränden. In **Frankreich** und in der **Schweiz** berechnen Experten die Entzündungsgefahr sowie das Brandverhalten und geben einen kumulativen Index weiter. In **Deutschland** kombiniert der verwendete Waldbrandindex die Entzündungs- und Ausbreitungsgefahr, wird aber allgemein als „Waldbrandgefahr“ kommuniziert. In **Italien** gibt es keine einheitliche Vorgehensweise hinsichtlich der Frage nach Entzündungsgefahr vs. Brandverhalten, sondern wird für jede Region dezentral entschieden.

1.3. Dokumentation von Waldbränden in der Alpenregion

Es existiert keine standardisierte Art der Erhebung von Waldbranddaten auf alpiner Ebene. Eine Option ist die Dokumentation über MODIS/VIIRS Produkte, zwei automatisierte Satelliten-Detektionssysteme, die vom europäischen Waldbrandinformationssystem (European Forest Fire Information System, EFFIS) betrieben werden. Hier fehlen allerdings die Brandkoordinaten, außerdem können kleinere Brände unter ca. 30 Hektar nicht detektiert werden. Zudem umfassen die meisten Waldbrände in den Alpen eine Brandfläche von unter einem Hektar (Conedera et al. 2018; EUSALP-Umfrage 2019). Im Fall von Bodenfeuern, die mehrere Hektar umfassen, sich aber unter einem dichten Baumkronendach befinden, ist es schwierig bis unmöglich, diese Feuer mit derzeitigen Satellitenprodukten zu entdecken. EFFIS liefert jährliche Berichte und Statistiken auf Länderebene, die stellenweise bis 1980 zurückreichen. Diese Berichte beinhalten regional aufgegliederte Daten, die es ermöglichen, das Waldbrandregime für den Alpenraum zu rekonstruieren. Da diese Daten jedoch hauptsächlich Großbrände beinhalten, sind sie nur für **Frankreich** und **Italien** repräsentativ.

Jedes Land in den Alpen hat sein eigenes Waldbrand-Dokumentationssystem mit unterschiedlichen Attributen und unterschiedlicher Genauigkeit. In den meisten Datenbanken fehlen Brandereignisse, vor allem Kleinbrände. Die Verlässlichkeit der Daten und der Zeitraum der harmonisierten Dokumentation variieren je nach Region (**Tabelle 1**).

Dies erschwert den Vergleich von Statistiken und Untersuchungen in der Alpenregion. Die Interreg-Projekte **MANFRED** und **ALP FFIRS** zielten darauf ab, Managementstrategien zur Anpassung der Alpenwälder an den Klimawandel zu entwickeln. Hierfür wurden unter anderem Waldbranddaten für die gesamte Alpenregion bis zum Jahr 2009 erhoben. Die Daten aus einigen Ländern deckten jedoch nur einen kurzen Zeitraum ab oder waren unvollständig (z. B. aus **Österreich** und **Deutschland**).

Im Jahr 2008 wurde die **Österreichische Forschungsinitiative Waldbrand (Austrian Forest Fire Research Initiative, AFFRI)** am Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur Wien, **Österreich**, ins Leben gerufen. Im Rahmen von AFFRI und verschiedener Nachfolgeprojekte wurden aktuelle und historische Waldbrände in Österreich erhoben und in eine Online-Datenbank eingespielt, die inzwischen mehr als 6500 Datensätze umfasst. Über ein öffentliches Web-GIS-Interface erhalten interessierte Personen Zugang zu den dokumentierten Bränden seit 1993. Ebenso können Grafiken und Statistiken erstellt, sowie Waldbrände gemeldet werden (<https://fire.boku.ac.at>). Die Datenbank enthält Informationen zu sämtlichen Waldbrandereignissen ab 0,1 ha in **Österreich** der letzten 25 Jahre (Eastaugh und Vacik 2012). Die erhobenen Daten beinhalten unter anderem Informationen zu Datum, Uhrzeit, Dauer, Örtlichkeit, Koordinaten, Brandfläche, Brandursache, geschädigte Vegetation und Baumarten, Brandart, Brandverhalten, Anzahl der Einsatzkräfte sowie Hubschrauber und Löschmannschaften im Einsatz.

In **Frankreich** wurde 1973 die Prométhée Datenbank (<http://www.promethee.com>) von den Forst- und Brandschutzbehörden umgesetzt. Sie weist drei Einschränkungen auf: Erstens werden nur Brände von mehr als 10 Hektar erfasst und in der Karte eingetragen. Zweitens deckt sie nur die Mittelmeergebiete von Frankreich und die südlichen Ausläufer der französischen Alpen ab. Und drittens hat sich die Genauigkeit der Datenbank konstant verbessert, sodass ältere Datensätze als nicht umfassend betrachtet werden müssen.

In **Deutschland** gibt es Aufzeichnungen über Waldbrände zumindest seit den 1950er Jahren. Die meisten Daten aus der Zeit vor 2006 sind aufgrund einer Umstrukturierung der Forstabteilungen verlorengegangen. Heute werden die Waldbrände von den jeweiligen Forstabteilungen der Länder dokumentiert und von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) auf Bundesebene zusammengeführt. Beispielsweise berichtet das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forst für seine 47 Regionen, von denen sechs einen alpinen Anteil haben. Dabei werden Daten zur Anzahl der Waldbrände, der betroffenen Fläche, dem Entzündungsdatum, der Art des Waldbesitzes und die Brandursachen übermittelt. Die erhobenen Waldbrände beinhalten keine genaue Lokalisierung oder Flächenperimeter, aber seit 2015 können Förster Brandereignisse über ein GIS-Interface (Bayerisches Wald-Informationssystem BayWIS) an die Forstverwaltung melden. Es gibt keine separate Datenbank, die sich auf Waldbrände im deutschen (bayerischen) Teil der Alpen konzentriert.

In **Italien** hat jede Region ihre eigene Waldbranddatenbank. Der Erhebungszeitraum ist je nach Region unterschiedlich, umfasst aber in jedem Fall mehrere Jahrzehnte (z. B. für Veneto seit 1981). Brandflächen werden auf nationaler Ebene erfasst, bis 2016 von der ehemaligen „Corpo Forestale dello Stato“, heute von der „Carabinieri Forestali“. Die Datenbanken werden in das SIAN-System (Nationales Informationssystem für Landwirtschaft) übertragen.

In **Slowenien** existiert eine vollständige Waldbranddatenbank auf nationaler Ebene seit 1995. Die Datenbank wurde von einer forstlichen Expertengruppe erstellt und bezieht sich ausschließlich auf Waldbrände. Die Daten werden vom Slowenischen Forstdienst (SFS) erhoben. Sie umfassen Datum, Uhrzeit, Standort, Koordinaten (WGS 84), Brandfläche, Brandursache, Brandart, geschädigte Vegetation und Baumarten, Geländeinformationen, Wetterbedingungen,

In den **Nordalpen** besteht das größte Risiko für bestandesvernichtende Feuer und nachfolgende Naturgefahren für Nadelwälder auf südseitigen Hängen und Karbonatgestein (Sass et al. 2012). In den **Südalpen** sind Buchen- und Kastanienwälder ebenfalls häufig von Bränden betroffen (Pezzatti et al. 2009; Bajocco et al. 2011). In Frankreich und Italien gehören brachliegende landwirtschaftliche Flächen und Buschlandschaften zu den wichtigsten Entstehungsorten unkontrollierter Vegetationsbrände. In der Umgebung von Dörfern und Siedlungen, aber auch an Straßenrändern oder entlang von Eisenbahnlagen, entstehen mehr Brände als in entlegenen Gebieten. Dies trifft für die gesamte Alpenregion zu. In einigen Ländern (z. B. **Österreich** und **Deutschland**) besteht eine erhöhte Gefahr der Brandentstehung sowie ein größeres Ausbreitungspotenzial auf Kahlschlagflächen. Dies liegt an dem geringeren Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials in Kombination mit feinen, leicht entzündlichen Brennstoffen (etwa trockenes Gras und Schlagflora). Gebiete mit spezialisierter Freizeitnutzung (u. a. Klettersteige oder siedlungsnahe Wandergebiete) sind ebenfalls problematisch, da durch Lagerfeuer oder weggeworfene Zigaretten eine höhere Entzündungsgefahr besteht. Mehrere extreme Waldbrände der letzten Jahre wurden in Gebieten verstärkter Freizeitnutzung verzeichnet.

BRANDSAISONEN UND HÄUFIGKEIT

In der Alpenregion gibt es im Lauf des Jahres zwei Hauptbrandsaisonen. Die erste beginnt – je nach den lokalen Wetterbedingungen – im zeitigen Frühjahr und hat ihren Höhepunkt im März oder April. Sie wird durch Trockenheit in Verbindung mit stabilen, frühlingshaften Wetterbedingungen sowie dem Vorhandensein abgestorbener, dürrer Pflanzenreste des Vorjahres (Gras, Laub) begünstigt. Der zweite saisonale Höhepunkt korreliert mit den Sommermonaten Juli und August. Insbesondere in den Föhnregionen der Alpen sind auch Winterbrände ein Thema. Hierbei können stabile, sonnige und föhnige Lagen äußerst trockene Bedingungen oberhalb der durch Temperaturinversion entstandenen Hochnebeldecke bedeuten (Schunk et al. 2013).

Das Jahr 2003 gilt allgemein als eines der extremsten Brandjahre in den Alpen. Allerdings wurden auch in den letzten Jahren große Waldbrandereignisse und weitere außergewöhnliche Brandsaisonen verzeichnet (**Abbildung 2 und 3**). Diese stehen oft in Zusammenhang mit Hitzewellen, Dürreperioden und trockenen Föhnwinden. Eine Häufung dieser außergewöhnlichen Waldbrandjahre wird als deutlicher Hinweis auf das sich verändernde Klima und eine Intensivierung des Brandregimes in den Alpen angesehen (Ascoli et al. 2013a; Conedera et al. 2006; Müller et al. 2015; Pezzatti et al. 2013; Schär et al. 2004; Schunk et al. 2013; Wohlgemuth et al. 2010).

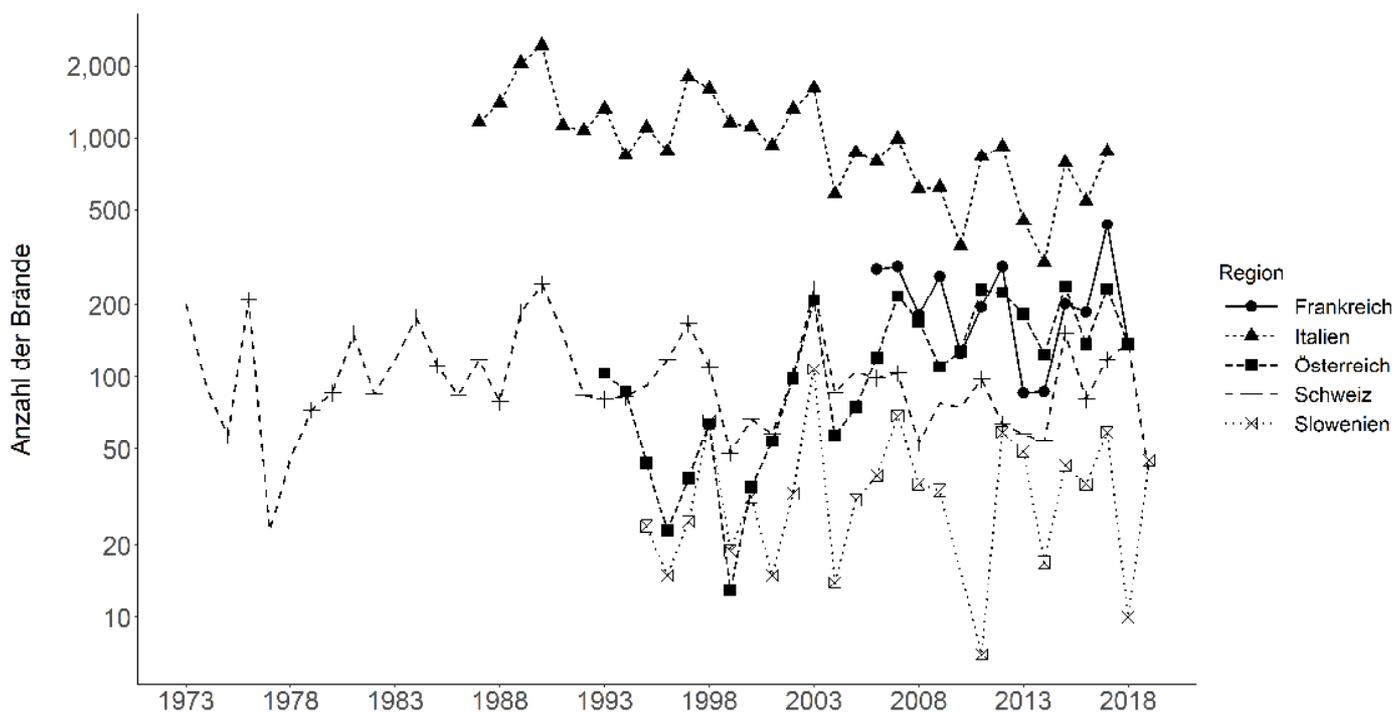


Abbildung 2: Jährliche Anzahl an Waldbränden nach Ländern (innerhalb der definierten Alpenregion). Für Deutschland und Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quelle: Nationale/regionale Datenbanken.

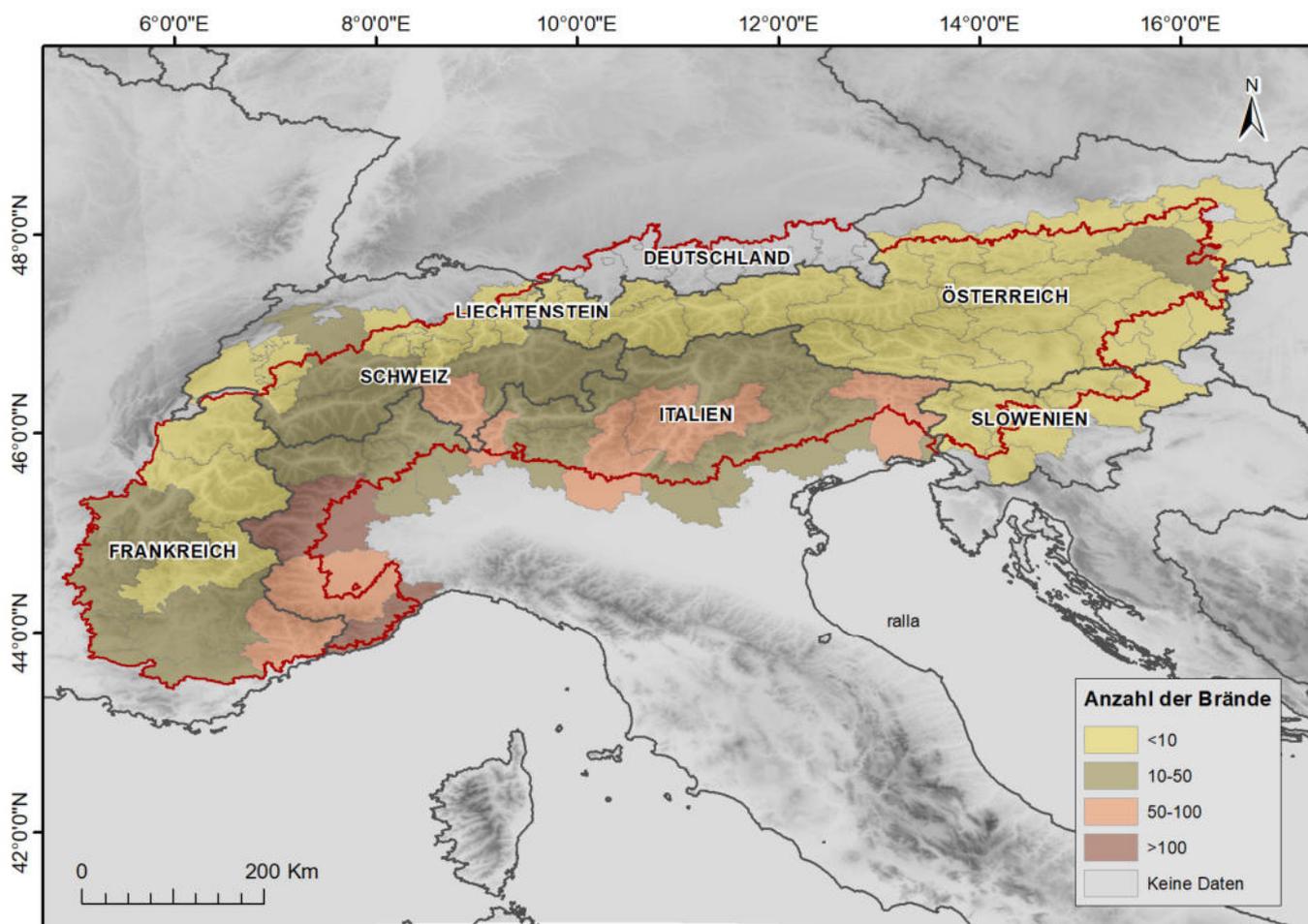


Abbildung 3: Durchschnittliche Zahl an Bränden pro Jahr und Region. Für Deutschland und Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quelle: Nationale/regionale Datenbanken.

BRANDFLÄCHEN

Die meisten Vegetationsbrände (ungefähr 80 %) in der Alpenregion sind klein (unter einem Hektar). Allerdings gibt es zwischen den Alpenländern und Regionen erhebliche Unterschiede bei der jährlichen Verteilung der Brandflächen (Abbildung 4 und 5).

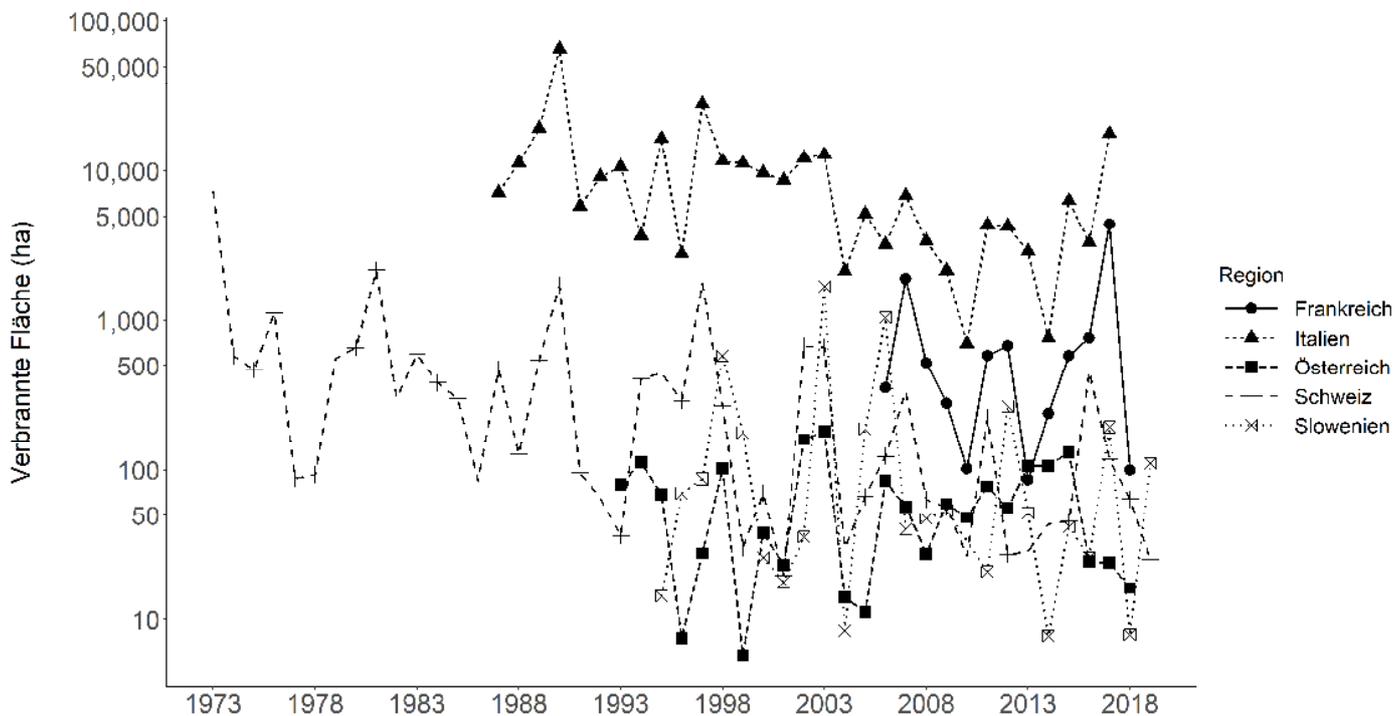


Abbildung 4: Gesamtbrandflächen pro Jahr und Land (innerhalb der Alpenregion). Für Deutschland und Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quelle: Nationale/regionale Datenbanken.

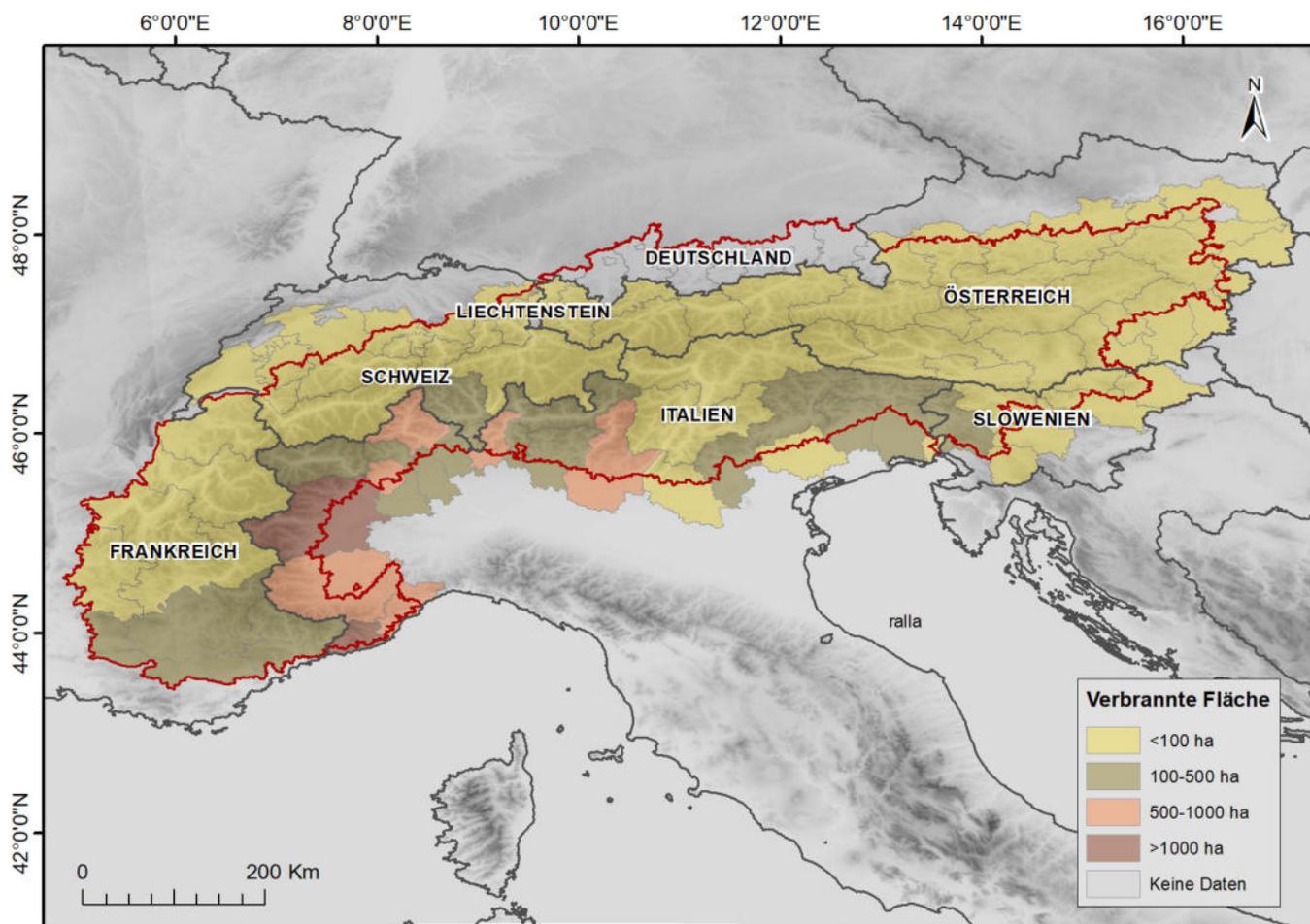


Abbildung 5: Durchschnittlich verbrannte Fläche (in Hektar) pro Jahr und Region. Für Deutschland und Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quelle: Nationale/regionale Datenbanken.

Ein durchschnittlicher alpiner Waldbrand in **Frankreich** und **Italien** umfasst eine Fläche von ungefähr einem Hektar, aber 10 % der Brände sind größer als 10 Hektar und verursachen 85 % der insgesamt verbrannten Fläche. In **Slowenien** bleiben zwei Drittel aller Brände unter einem Hektar, während die meisten Waldbrände in **Österreich**, **Deutschland** und der **Schweiz** eine Brandfläche von weniger als 0,1 ha aufweisen. Die Gesamtbrandfläche und Anzahl der Waldbrände der letzten Jahre in der Alpenregion ist in **Abbildung 6** dargestellt.

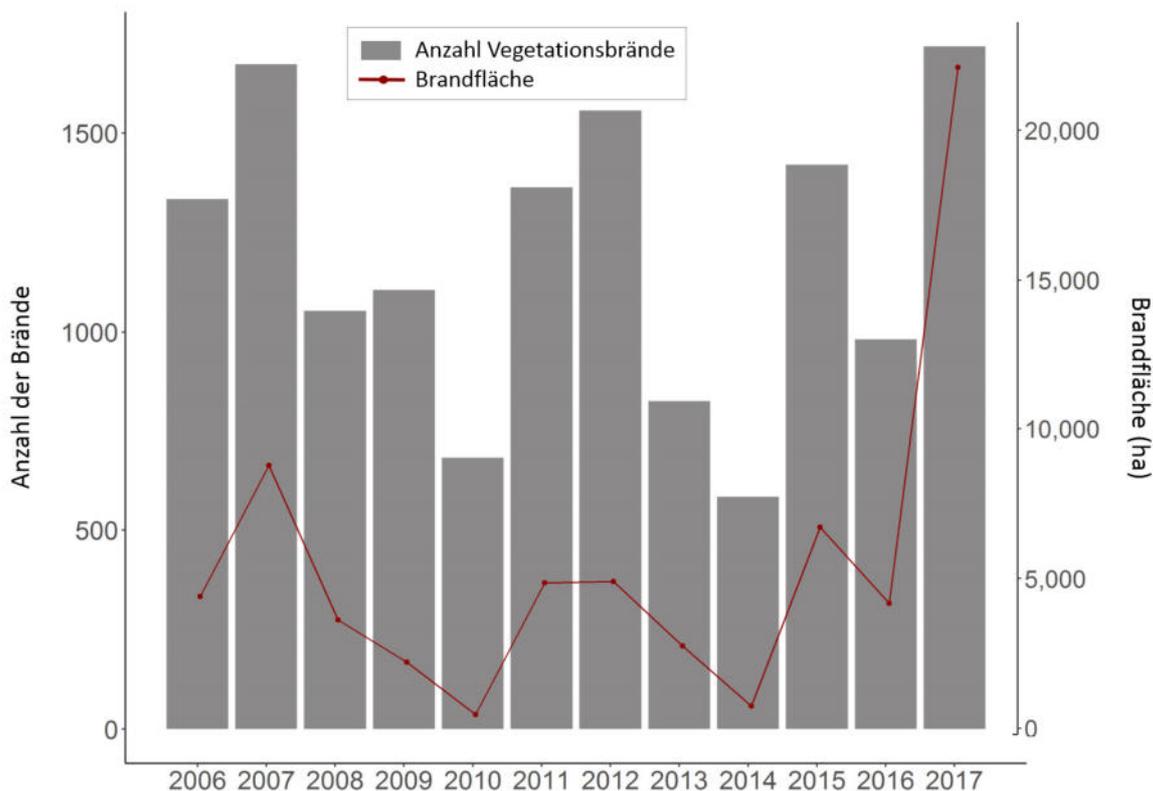


Abbildung 6: Durchschnittliche, jährliche Zahl an Waldbränden und Größe der Brandflächen in der Alpenregion (Österreich, Frankreich, Italien, Slowenien und Schweiz) von 2006 bis 2017. Für Deutschland und Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quelle Nationale/regionale Datenbanken.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Brandsituation in den Alpenländern. **Österreich** hat zwar die größte Waldfläche in der Alpenregion, die meisten Waldbrände und größten Brandflächen werden jedoch in **Italien** verzeichnet, gefolgt von **Frankreich**. Die mittlere Größe eines alpinen Waldbrandes ist im internationalen Vergleich gering, mit etwa 0,1 ha in **Österreich, Deutschland** und der **Schweiz**, 0,5 ha in **Slowenien** und ca. 1 ha in **Frankreich** und **Italien**. Die durchschnittlich pro Jahr verbrannte Fläche variiert stark zwischen den einzelnen Ländern und reicht von 0,22 ha bis zu 44 ha pro 10.000 ha Waldfläche.

Tabelle 2: Brandsituation der Alpenländer hinsichtlich der Anzahl an Bränden, der verbrannten Fläche, der Größe der Brände und dem jährlichen Prozentsatz verbrannter Waldflächen. Für Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Quellen: Nationale/regionale Datenbanken, EFFIS Berichte, Waldbrand Workshop Wien.

	Österreich	Frankreich	Deutschland	Italien	Slowenien	Schweiz
Gesamtfläche in der Alpenregion (km ²)	69 277	40 786	11 197	73 386	13 763	33 360
Waldfläche in der Alpenregion (km ²)	28 921	14 099	4 036	22 623	7 238	9 929
Durchschnittliche jährliche Zahl an Waldbränden in der Alpenregion	122	213	keine Daten	1 043**	37	105
Durchschnittliche jährliche verbrannte Waldfläche (ha) in der Alpenregion	64	818	keine Daten	9 984	201	515
Durchschnittliche Größe eines Waldbrandes in der Alpenregion	< 0,1 ha	1 ha	< 0,1 ha	1 ha	0,5 ha	< 0,1 ha
Jährlicher Anteil an verbrannter Fläche (ha) in der Alpenregion*	0,22	5,80	keine Daten	44,13	2,77	5,19
Flächenmäßig größter Waldbrand nach dem Jahr 2000 in der Alpenregion	Tirol 2014 Absam (100 ha)	Var 2003 Vidauban (6 744 ha)	Bayern 2017 Jochberg (27 ha)	Piemont 2017 Val Susa (3 974 ha)	Bovec 2005 Ognjišče (126 ha)	Wallis 2003 Leuk (300 ha)

* Durchschnittliche verbrannte Fläche pro Jahr und pro 10 000 ha Waldfläche.

** In Italien bezieht sich die Anzahl der Brände auf alle dokumentierten Vegetationsbrände.

AUSSERGEWÖHNLICHE BRANDSAISONEN DER LETZTEN JAHRE

Im Herbst 2011 erlebte **Österreich** einen neuen Rekord bei der Anzahl an Waldbränden und der insgesamt betroffenen Fläche. Im Frühjahr 2012 trat im Norden **Italiens** an der Grenze zu Österreich ein noch nie so zeitig im Jahr dokumentierter Waldbrand durch Blitzschlag auf, der 300 Hektar schädigte (Valese et al. 2014). Ebenfalls 2012 wurde in **Slowenien** ein Jahresrekord bei der Anzahl und dem Flächenausmaß von Waldbränden verzeichnet. Der Sommer 2013 brachte in **Österreich** ein neues Maximum bei der Summe an Waldbränden. 2013 erlebte auch der Nordosten **Italiens** eine überdurchschnittliche Brandsaison hinsichtlich der Anzahl und Brandflächen, insbesondere in der Region Friaul-Julisch Venetien, die an **Kärnten** grenzt. Im März 2014 und April 2015 vernichteten in **Österreich** die beiden größten Waldbrände seit mehr als 30 Jahren eine Fläche von jeweils 100 Hektar. Ende Oktober 2017 schädigten elf gleichzeitig auftretende Großbrände in der Region Piemont, **Italien**, beinahe 10.000 ha innerhalb einer Woche, wobei hauptsächlich Laubwälder betroffen waren. Die Brände waren auch deshalb untypisch, da die Niederschläge in diesem Gebiet meist Ende Oktober ihren Höhepunkt erreichen. Im Jahr 2017 hielt jedoch die Trockenheit bis Ende Oktober an und verursachte eine sehr hohe Brandgefahr. Es war dies der größte Ausbruch gleichzeitig auftretender Brände in der Alpenregion seit 30 Jahren. Im Oktober 2018 ereignete sich in Venetien, **Italien**, einer der größten jemals in der Region

verzeichneten Waldbrände (Monte San Lucano, 632 ha). Zuletzt brachte der April 2020 in **Österreich** mit deutlich über 100 Waldbränden einen neuen Aprilrekord hinsichtlich der Anzahl an Bränden.

BRANDURSACHEN

Ein Großteil der Waldbrände in der Alpenregion wird direkt oder indirekt durch den Menschen ausgelöst. Die wichtigsten Ursachen sind Fahrlässigkeit (z. B. Zigaretten, Feuer außer Kontrolle, heiße Asche), Brandstiftung, Funkenflug und Stromleitungen. 90 % aller Brände in der Alpenregion können auf menschliche Tätigkeiten zurückgeführt werden (**Abbildung 7**). Insbesondere in den südlichen und östlichen Zentralalpen spielen auch durch Blitzschlag ausgelöste Brände eine Rolle. In einer Studie für **Österreich** wurden Blitzdaten mit dem Auftreten von Waldbränden abgeglichen (Müller et al. 2013). Blitze als einzige relevante natürliche Ursache von Waldbränden verursachen rund 15 % aller Brände. In den Sommermonaten können in **Österreich** und Teilen der **Schweiz** durch Blitzschlag ausgelöste Feuer bis zu 50 % aller Waldbrände ausmachen. Entgegen der weit verbreiteten Meinung ist eine Brandentstehung durch Glasflaschen oder -scherben höchst unwahrscheinlich (Müller 2007).

Brandstiftung ist hauptsächlich in **Frankreich** und **Italien** relevant. In den italienischen Alpen werden lt. regionaler Datenbank 40 % aller Brände vorsätzlich verursacht. In **Frankreich** macht Brandstiftung ebenfalls 40 % aus (Prométhée Datenbank). Aber auch in anderen Alpenländern kommt Brandstiftung vor. In **Deutschland** wird Brandstiftung bei ungefähr 15 % aller Brände vermutet, in der **Schweiz** und in **Österreich** sind etwa 10 % aller Waldbrände vorsätzlicher Natur (Österreichische Waldbrand-Datenbank, Swissfire). Aufgrund der Veränderungen im Bereich der Flächennutzung und der damit einhergehenden Landnutzungskonflikte, könnten Brandstiftungen in Zukunft zunehmen, wie Beispiele aus anderen Regionen belegen (Dube 2009; Moreira et al. 2011).

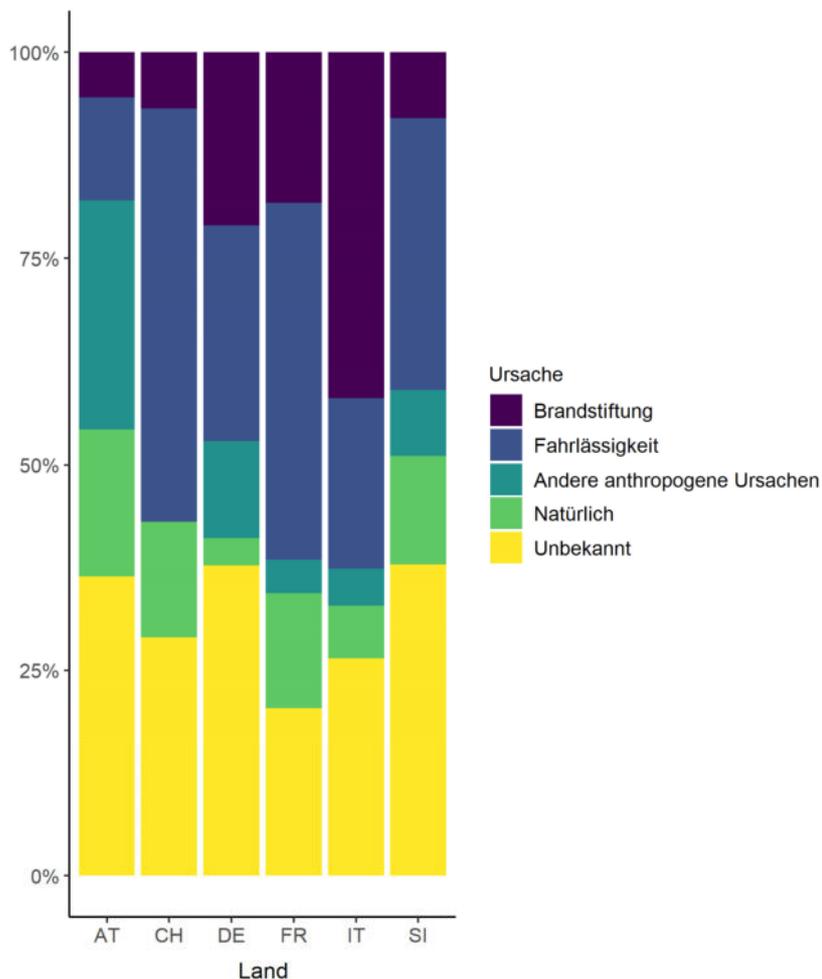


Abbildung 7: Brandursachen in der Alpenregion nach Ländern. Für Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Sämtliche für Österreich dargestellten Waldbrände mit der Ursache „unbekannt“ sind höchstwahrscheinlich anthropogen verursacht. Quelle: Nationale/regionale Datenbanken.

TRADITIONELLE NUTZUNGSARTEN VON FEUER

Die Tradition der Oster- und Sonnwendfeuer wird jedes Jahr in einigen Teilen **Österreichs**, **Deutschlands**, **Sloweniens** und der **Schweiz** praktiziert. In der **Schweiz** sind große Lagerfeuer in Kombination mit Feuerwerken die traditionelle Art und Weise, den Nationalfeiertag am 01. August zu begehen. In **Slowenien** werden im Fasching und am 01. Mai Freudenfeuer entzündet. Diese führen immer wieder zu unkontrollierten Bränden in offenen Gebieten oder Wäldern. In einigen Ländern der Alpen werden Bewilligungen zum Abbrennen kontrollierter Feuer erteilt, die Einschränkungen im Fall starker Feuergefahr beinhalten. Heutzutage werden Brände auch als politisches Statement eingesetzt, z. B. von der Initiative „Feuer in den Alpen“ (<http://www.feuerindenalpen.com>).

Land- und Waldbesitzer haben in der Vergangenheit regelmäßig ihr Land zu unterschiedlichen Zwecken abgebrannt. Feuer wird auch in anderen Staaten eingesetzt, um Ackerflächen zu erhalten, Weideflächen zu roden, zu düngen und somit die Attraktivität für Weidevieh und Wildtiere zu erhöhen (Conedera und Krebs 2010; Valesse et al. 2014). Das Verbrennen von Gehölzen, um das Nachwachsen krautiger Pflanzen auf Weideflächen zu fördern, war auch in vielen Alpenregionen üblich. Dieses Thema ist in der Alpenregion unter verschiedenen Namen bekannt: *Schlagbrennen* in **Österreich**; *Brüsada* in der **Südschweiz** und in **Norditalien**; *Schwendi* im deutschsprachigen Teil der **Schweiz**; *essart* und *brulis* in **Frankreich**; oder *Rüttibrennen* als Teil der traditionellen *Reutbergwirtschaft* im Schwarzwald, **Deutschland** (Conedera et al. 2007). Traditionelle Feuer beinhalten auch die Erhaltung von Heidelbeersträuchern (*Vaccinium myrtillus*) und die Entfernung von Bodenstreu in Kastanienhainen. Heute sind all diese Maßnahmen aus zivilschutztechnischen Gründen oder wegen gesetzlicher Bestimmungen in den Bereichen Naturschutz und Luftreinhaltung oft verboten.

Die illegale Verwendung von Feuer stellt insbesondere in den Südalpen ein Problem dar, da dies häufig in Zeiten hoher Brandgefahr geschieht, was zu unklaren Auswirkungen auf das Ökosystem, die Bevölkerung und letztlich auch zu höheren Kosten für die Brandbekämpfung führt (Ascoli und Bovio 2013). Das Verbrennen von Rückständen aus der Forst- und Landwirtschaft ist in **Italien** ein reguliertes, traditionelles Verfahren. Landwirte benötigen eine Genehmigung, müssen Sicherheitsbestimmungen einhalten und das Verbrennen gemäß der regionalen Gesetzgebung durchführen. Der Brandschutzergänzungsgesetz in **Slowenien** enthält ebenfalls Vorgaben zu speziellen Maßnahmen, die beim Verbrennen von Rückständen zu treffen sind.

Obwohl die traditionelle Nutzung von Bränden zu gefährlichen Situationen führen kann, hat der Rückgang der Verwendung von Feuer als Werkzeug auch negative Auswirkungen. Weideflächen werden aufgegeben und wandeln sich in ständig bewachsene Strauch- und Waldflächen um, die hinsichtlich der Entzündungsgefahr besonders gefährdet sind. Dieses Phänomen wird auch als **Feuer-Paradoxon** bezeichnet (Sande Silva et al. 2010).

1.5. Auswirkungen von Waldbränden

Waldbrände können zahlreiche direkte und indirekte Auswirkungen auf Wald, Boden, Umwelt, Infrastruktur, menschliche Siedlungen, die Bevölkerung und die Gesellschaft allgemein haben. Neben der Verringerung der Schutzfunktion der Wälder kann es in Folge von intensiven Bränden zu einem höheren Risiko für das Auftreten von Naturgefahren und einem Verlust natürlicher Ressourcen durch Bodenerosion kommen. Außerdem werden in der Alpenregion immer höhere Kosten für die Brandbekämpfung und für notwendige Maßnahmen nach Bränden verzeichnet. Luftverschmutzung und die Freisetzung von Kohlenstoff sind in anderen Ländern bereits zentrale Themen und werden in Zukunft auch in den Alpen an Bedeutung gewinnen.

Je nach Brandregime haben **Waldbrände** durchaus **auch positive Effekte** auf die Umwelt (DeBano 2000; González-Pérez et al. 2004; Moretti et al. 2004; Neary et al. 1999; Turner et al. 1997). Als Beispiel sei das mosaikartige Brandmuster von Waldbränden genannt. Durch die meist stark variierende Intensität eines Feuers werden Rückzugsorte geschaffen, von denen aus sich die Waldvegetation und Tierwelt wieder entwickeln können. Zudem steigern die unterschiedlichen Brandintensitäten die Heterogenität der Landschaft, wodurch nachfolgende Ökosystemstörungen weniger intensiv ausfallen (Seidl et al. 2016).

NATURGEFAHREN

In der Alpenregion können als direkte oder mittelfristige Folge von Waldbränden höhere Abflussmengen und Bodenerosion sowie Naturgefahren wie Muren, Steinschlag oder Lawinen auftreten. In der **Schweiz** wurden hierzu mehrere Studien durchgeführt. Providoli et al. (2002) haben aufgezeigt, dass nach Bränden in Beständen der Edelkastanie (*Castanea sativa*) Spritzwassererosion im Zuge von Starkregenereignissen auftreten kann. Maringer et al. (2016a) haben die durch Brände beeinflusste Schutzfunktion europäischer Buchenwälder (*Fagus sylvatica*) gegenüber Steinschlag analysiert. Gehring et al. (2019) konnten feststellen, dass bei geschädigten Buchenwäldern eine Disposition für flachgründige Erdrutsche besteht. Auch aus **Italien** und der Mittelmeerregion gibt es einige Studien über den Zusammenhang zwischen Vegetationsbränden und Hangmuren, zum Beispiel die „Piano straordinario incendi della Regione Piemonte“ (Regione Piemonte 2018).

Das potenzielle Risiko und das Auftreten von Naturgefahren hängen von verschiedenen Faktoren ab. Abgesehen von der Größe und der Intensität des Waldbrandes, sind die Vegetationsstruktur/-zusammensetzung vor dem Brand, die Topografie, klimatische Bedingungen, der Boden und das Grundgestein die Schlüsselemente für die Entwicklung von Naturgefahren. Kronenfeuer können zu einer vollständigen Zerstörung des Waldbestandes führen, wodurch die in vielen Regionen der Alpen wichtige Schutzfunktion des Waldes stark beeinträchtigt wird. Gemäß Sass et al. (2012) ist auf steilen Hängen der subalpinen Höhenstufe bei einer dünnen Humusaufgabe auf Kalkgestein die Naturverjüngung besonders schwierig. Hier kann eine vollständige Erosion des Bodens die Etablierung der Verjüngung zusätzlich erschweren, wodurch sich die Gefahr von Naturgefahren erhöht. Selbst bei einem Bodenfeuer geringer Intensität ist eine Schädigung der natürlichen Verjüngung möglich. Ein Waldbrand in einer Aufforstung, die zur Wiederherstellung der Schutzfunktion durchgeführt worden ist, kann als „Worst-Case-Szenario“ betrachtet werden, da sich hierdurch die Kosten und die Dauer bis zur vollständigen Wiederherstellung der Schutzfunktion markant erhöhen. Erst im Mai 2020 ist ein solcher Fall in Kärnten, **Österreich**, auf einer ehemaligen Windwurflläche bei Bad Eisenkappel aufgetreten.

Ein Beispiel für das Auftreten von Naturgefahren als unmittelbare Folge eines Waldbrandes stellt die Hangmure in Ronco sopra Ascona (**Südschweiz**) im Sommer 1997 dar. Diese trat fünf Monate nach einem Brand auf, der den Waldbestand des gesamten Lawineneinzugsgebietes vernichtet hat (**Abbildung 8**). Die Auswirkungen des Waldbrandes auf die hydrologischen Bodeneigenschaften haben ein 10-jähriges Niederschlagsereignis zu einem 200-jährigen Hangmurenereignis werden lassen, das 3500 m³ Material in das darunterliegende Dorf transportiert hat (Conedera et al. 2003).

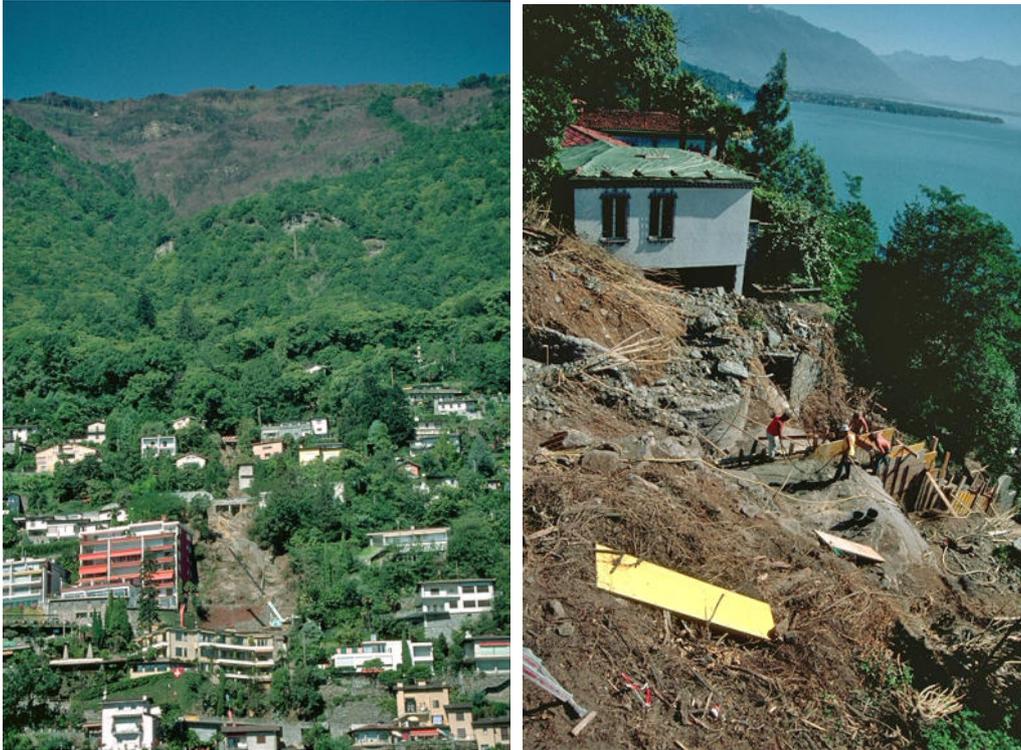


Abbildung 8: Massive Hangmure in Ascona, Schweiz, im Sommer 1997, fünf Monate nach einem Waldbrand.
Foto: Lorenza Re, Forstdienst Kanton Ticino.

ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN VON BRÄNDEN AUF ÖKOSYSTEME

Großflächige Waldbrände können nicht nur das Abflussverhalten verändern und lokale hydraulische Systeme modifizieren, wie in dem obigen Beispiel angeführt. Vergani et al. (2017) untersuchten den Abbau der Wurzelbewehrung im Boden nach dem Brand in einem Schutzwald aus Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) in der **Schweiz**. Sie stellten eine Verringerung der Wurzelbewehrung um den Faktor 3,6 fest, ausgelöst durch eine Verschlechterung der wurzelmechanischen Eigenschaften. Auch Gehring et al. (2009) analysierten die Stabilität von Wurzeln nach Bränden, da diese selbst Jahre nach dem Brand Erosionserscheinungen und das Absterben von Baumindividuen verhindern können. Einige Studien in der Alpenregion haben die Auswirkungen von Waldbränden auf die Baumsterblichkeit und die Verjüngung untersucht (Bär et al. 2018; Bär et al. 2019; Conedera et al. 2010; Fox et al. 2008; Maringer et al. 2016b). Ebenso erhöhen Waldbrände die Anfälligkeit betroffener Bäume gegenüber Windwürfen, Borkenkäferbefall oder anderen biotischen und abiotischen Schädlingen.

Hinsichtlich der Biodiversität hängen die Auswirkungen von Waldbränden stark vom Brandregime (Häufigkeit und Intensität der Brände) sowie von der betroffenen Vegetation ab. Pionierbaumarten wie die Kiefer, Europäische Lärche (*Larix decidua*) oder Hängebirke (*Betula pendula*), benötigen Freiflächenklima und initiale Bodenbildung, um sich ansamen zu können. Sie profitieren von den Bedingungen nach aufgetretenen Feuern im Berggelände (Ascoli et al. 2013b). Dies gilt jedoch nur so lange, wie die Frequenz von Bränden an derselben Stelle nicht zu hoch wird. Andere

Arten, die über die Fähigkeit verfügen, nach einem Brand über Stockausschläge oder Wurzelbrut neu auszutreiben – etwa die Kastanie oder Robinie (*Robinia pseudoacacia*) – können die Fläche nach einem Feuer rasch besiedeln (Hofmann et al. 1998). Weniger gut an Waldbrände angepasste Arten wie die Rotbuche haben ihre Überlebensstrategie auf eine verzögerte Mortalität und die Schaffung günstiger Bedingungen für die Verjüngung ausgerichtet (Maringer et al. 2016b). Es ist anzunehmen, dass manche Baumarten in Zukunft verstärkt durch Waldbrände beeinträchtigt werden, insbesondere dann, wenn die Anzahl großflächiger und intensiver Brände zunimmt. Gleichzeitig wird die Veränderung der Waldgesellschaften neue ökologische Nischen schaffen, welche einen möglichen Artenverlust ausgleichen können (Moretti und Barbalat 2004; Moretti et al. 2006). Es besteht allerdings auch das Risiko einer beschleunigten Verbreitung invasiver Neophyten (Lonati et al. 2009; Maringer et al. 2012).

RAUCH

Die Rauchentwicklung bei alpinen Waldbränden ist speziell während der Brandbekämpfung ein Thema, etwa aufgrund möglicher Rauchgasvergiftungen oder einer eingeschränkten Sicht. Die Verwendung von Atemschutzgeräten, insbesondere von umluftunabhängigen Systemen mit zusätzlichen Sauerstoffflaschen, ist aufgrund von Gewicht und Bewegungseinschränkungen vielfach nicht möglich. Rauch kann auch für Siedlungen und Verkehrswege problematisch sein und die Orientierung in der Nähe intensiver Brände erschweren. In der Region Provence-Alpes-Côte d’Azur in **Frankreich** läuft derzeit ein Projekt, in dem ein Modell zur Ausbreitung und Verteilung von Rauch sowohl während Vegetationsbränden als auch im Zuge kontrollierter Abbrennarbeiten erstellt werden soll.

KOSTEN

Waldbrände in den Alpen sind mit beträchtlichen Kosten für Interessensvertreter, Waldbesitzer, Gemeinden und Länder verbunden. Derzeit entstehen die höchsten direkten Kosten durch die Brandbekämpfung und durch erforderliche Maßnahmen auf Waldbrandflächen. Gemäß einer kürzlich erfolgten Untersuchung am Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur Wien, belaufen sich die durchschnittlichen jährlichen direkten Kosten für die Brandbekämpfung und für Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden in **Österreich** auf ungefähr **650.000 Euro pro Jahr**. Unter der Annahme, dass die Ausrüstung und Mittel zur Brandbekämpfung sowie die Rahmenbedingungen wie Topografie und Umweltbedingungen auf andere Alpenländer übertragbar sind, kann eine Abschätzung der mit Waldbränden verbundenen Kosten durchgeführt werden. Verwendet man die jährliche Gesamtbrandfläche als Grundlage, ergeben sich direkte Kosten von ungefähr **75 Millionen Euro** pro Jahr (exklusive Maßnahmen der Brandprävention). Die höchsten Kosten fallen dabei in **Italien** und **Frankreich** an. Die mit Waldbränden in Verbindung stehenden **sozialen Kosten**, z. B. seitens der Freiwilligen Feuerwehren, sind auf alpiner Ebene schwer abzuschätzen. Es wird jedoch angenommen, dass diese **zumindest doppelt so hoch** sind wie die direkten Kosten. In **Slowenien** erfolgt die zentrale Berichterstattung der Kosten für Waldbrandeinsätze mittels der Plattform „Spin“ (<https://spin3.sos112.si>), wobei Freiwillige Feuerwehren und Berufsfeuerwehren Eintragungen machen können.

1.6. Waldbrandmanagement

Das Management von Waldbränden beinhaltet lang- und kurzfristige Präventionsmaßnahmen, die vorbereitenden und direkte Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung, die Detektion von Bränden sowie Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden. Alle Aktivitäten der Behörden, von Waldbesitzern, Wissenschaftlern und Einsatzkräften sind Teil des Waldbrandmanagements. Die folgenden Bereiche können unterschieden werden:

1) BRANDPRÄVENTION

- Langfristige Präventionsmaßnahmen
- Kurzfristige Präventionsmaßnahmen

2) BRANDBEKÄMPFUNG

- Vorbereitende Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung
- Detektion von Bränden
- Direkte Waldbrandbekämpfung

3) RENATURIERUNGSMASSNAHMEN NACH WALDBRÄNDEN

Alle angeführten Maßnahmen sind miteinander verbunden und müssen für ein umfassendes Waldbrandmanagement zusammengeführt werden. **Langfristige Präventionsmaßnahmen** beinhalten die Waldbrandforschung, Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung, die Identifizierung von Waldbrand-Hotspots und die Brennstoffkontrolle (z. B. kontrolliertes Abbrennen der Vegetation, Weidewirtschaft oder eine adaptierte Waldbewirtschaftung). Die Frage nach einer angepassten Waldbewirtschaftung ist nicht nur für die Behörden relevant, sondern auch für Wald- und Landbesitzer. Laut einer im Jahr 2019 durchgeführten, alpinweiten Umfrage sind sich Grundbesitzer oft nicht bewusst, dass sie auf Waldbrände achten sollten, selbst wenn sich ihr Besitz in Gebieten mit einem hohen Brandrisiko befindet (EUSALP-Umfrage 2019). **Kurzfristige Präventionsmaßnahmen** umfassen die Abschätzung der aktuellen und kommenden Waldbrandgefahr, die Verbreitung entsprechender Warnungen und ggf. die Anwendung geeigneter behördlicher Mittel, etwa ein Verbot von Feuer in Wald und Waldnähe. Die **vorbereitenden Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung** stehen im Zusammenhang mit der Arbeit von Einsatzkräften. Sie beinhalten Aktivitäten zur Einsatzplanung, die Einstellung von Personal, Ausbildungstätigkeiten, aber auch die Wartung der Brandschutzausrüstung und die Verbesserung des Systems von Brandschutzschneisen, Straßen und Einrichtungen zur Wasserversorgung. Die frühzeitige **Detektion von Bränden** ist für eine effektive Brandbekämpfung von entscheidender Bedeutung. Eine rasche Entdeckung kann über automatisierte Rauchmeldesysteme, Überwachungsflüge oder Monitoring-Dienste gewährleistet werden. Ebenso ist es möglich, sich auf die hohe Meldebereitschaft von Einheimischen und Touristen zu verlassen. Während der **direkten Waldbrandbekämpfung** nutzen Feuerwehrleute, Hubschrauber-Teams und andere Einsatzkräfte unterschiedliche Methoden und eine an die Waldbrandintensität angepasste Ausrüstung für die Niederschlagung und das Ablöschen von Bränden. **Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden** umfassen die Sicherung und Wiederherstellung des Waldbestandes, den Schutz angrenzender Siedlungsgebiete, die Verhinderung von Naturgefahren und das Monitoring der verbrannten Gebiete. Der aktuelle Wissensstand zu den verschiedenen Aspekten des Waldbrandmanagements wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

1.6.1. Langfristige Präventionsmaßnahmen

Präventive Maßnahmen zur Waldbrandvorbeugung weisen verschiedene Aspekte auf. Langfristig gesehen sind die Verbesserung der Waldbewirtschaftungsplanung und die Erstellung von Waldbrand-Risikokarten Schlüsselaufgaben für die Verhinderung von negativen Auswirkungen von Bränden. Daneben sind die Antizipation der Folgen für Naturgefahren, eine aktive Bewusstseinsbildung, die Steuerung von traditionellen Feuern, eine interdisziplinäre Waldbrandforschung sowie kontrollierte Abbrennarbeiten wichtige Maßnahmen, um einem in Zukunft intensiveren Waldbrandregime in der Alpenregion zu begegnen.

WALDBEWIRTSCHAFTUNG

Erste Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf Brände in der Alpenregion wurden bereits vor einigen Jahren durchgeführt, beispielsweise in **Deutschland** (Goldammer et al. 1997; Badeck et al. 2003; Thonicke und Cramer 2006), **Frankreich** (Gatheron 1950; Meyer 2005; Genries et al. 2009), **Italien** (Tiller 1988; Bovio 1996; Kuntner 2001), **Österreich** (Gossow et al. 2009; Vacik et al. 2011) und der **Schweiz** (Berli 1996; Conedera et al. 1996; Gimmi et al. 2004; Weibel et al. 2009).

Hinsichtlich präventiver Maßnahmen in der Waldbewirtschaftung werden in einigen Alpenregionen (z. B. Seealpen in **Frankreich**, Region Piemont in **Italien**) **Brandschutzschneisen/-streifen** geschaffen. Diese bestehen entweder aus brandhemmender Vegetation, werden speziell behandelt (z. B. Entfernung der Strauchschicht und Astung bis in zwei Meter Höhe) oder sind komplett vegetationsfrei (Wundstreifen). Sie erfüllen die folgenden Funktionen:

- Verminderung des Auftretens von schwer zu bekämpfenden Kronenfeuern
- Unterbindung der Ausbreitung von Waldbränden
- Optimierung von taktischen Maßnahmen und Kapazitäten bei der Brandbekämpfung
- Verbesserte Sicherheit für die Einsatzkräfte

Weitere wirkungsvolle waldbauliche Maßnahmen umfassen eine intensivere **Durchforstung**, die **Entfernung** von **Schlagrücklass** und **Totholz** oder eine Veränderung der **Baumartenzusammensetzung** in Richtung einer weniger brennbaren Mischung (i. d. R. hoher Laubholzanteil). Die Auswahl der Baumarten wird jedoch meistens von den Präferenzen der Waldbesitzer bestimmt oder beruht auf den Erfordernissen zur Erhaltung der Ökosystemleistungen des Waldes. Eine dezidierte Veränderung der Baumartenzusammensetzung für die Reduktion der Brandanfälligkeit wird nur selten durchgeführt. In einigen Regionen (z. B. in **Österreich**) werden so gut wie keine waldbaulichen Maßnahmen zur Brandverhütung eingesetzt. In den Waldbrand-Präventionsplänen **Italiens** ist die Entschärfung der Brandgefahr für Nadelholzbestände über Durchforstungsmaßnahmen, natürliche Verjüngung und Neuanpflanzungen empfohlen. In **Frankreich** gibt es keine nationale Strategie zur adaptiven Bewirtschaftung von Wäldern zum Schutz vor Waldbränden. Die Planung erfolgt meist auf Ebene der Departments als PFCIs (Brandpräventionspläne für Wälder), wobei all jene Departments dazu verpflichtend sind, die sich in Gebieten mit einem hohen Brandrisiko befinden. In allen anderen Regionen, einschließlich Teilen der Südalpen, wird die Umsetzung nicht vorgeschrieben, sondern erfolgt auf freiwilliger Basis. Mehrere – aber nicht alle – alpinen Departments haben inzwischen PFCI-Pläne ausgearbeitet. In Brandenburg, **Deutschland**, konnten zahlreiche Vorteile durch die Unterteilung großer Nadelholzflächen mittels Streifen aus Laubhölzern oder die Einrichtung von Pufferzonen entlang von Straßen und Eisenbahnlinien dokumentiert werden (König 2007). Diese Maßnahmen wurden jedoch in trockenen, flachen Gebieten durchgeführt und sind im steilen Alpengelände nur schwer umzusetzen. In **Slowenien** wird in Gebieten mit einem hohen Brandrisiko eine Brandschutzinfrastruktur aufgebaut und gewartet, darunter Brandschutzschneisen, Schutzwege, Warntafeln und Infrastrukturschilder für die Brandbekämpfung. In Zusammenarbeit mit den Waldeigentümern gewährleistet der slowenische Forstdienst auch den Wiederaufbau von verbrannten oder durch andere Störungen geschädigten Wäldern. Dabei wird ein naturnahes Bewirtschaftungssystem praktiziert, das auch für andere Teile der Alpenregion geeignet ist:

- Erhaltung der natürlichen Umwelt und des ökologischen Gleichgewichts.
- Förderung der Nachhaltigkeit aller Waldfunktionen.
- Verfolgung eines integralen Ansatzes bei der Bewirtschaftung der Waldökosysteme.
- Nachahmung der natürlichen Prozesse und Formen.

- Nutzung von Baumarten, die an die spezifischen Standortbedingungen angepasst sind.
- Bewirtschaftung basierend auf Monitoring, Wissenserweiterung und langfristiger Wirtschaftlichkeit.
- Anwendung von Managementplänen, die interdisziplinär und detailliert entwickelt werden.

WALDBRANDFORSCHUNG

Im Juli 2008 hat die **Wildland Fire Advisory Group** (WFAS) der vormaligen UNISDR und jetzt UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) die Vorschläge der Alpenländer angenommen, sich mit den spezifischen Waldbrandproblemen in den Alpen auseinanderzusetzen und ein subregionales Waldbrand-Netzwerk (Sub-Regional Euro-Alpine Wildland Fire Network) aufzubauen. Mit dem Projekt ALP FFIRS (ALPine Forest Fire waRning System) im Jahr 2009 wurde deutlich, dass derartige Initiativen die Forschung und Entwicklung in der Alpenregion wesentlich vorantreiben können.

Derzeit arbeiten verschiedene wissenschaftliche Teams an Forschungsfragen zu alpinen Waldbränden. An der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in der **Schweiz** werden Faktoren des Waldbrandrisikos erforscht und Methoden zur Vorhersage der Brandgefahr entwickelt. Am WSL sind die Vorwarnsysteme *FireLess* und *FireNiche* entstanden, die den Forstbehörden eine bessere Abschätzung der aktuellen Gefahrensituation erlauben. Die landesweite Feuerdatenbank *Swissfire* dient als Grundlage für Vorhersagen und Waldbrand-Risikokarten. Im Jahr 2008 startete die **Österreichische** Forschungsinitiative Waldbrand (Austrian Forest Fire Research Initiative, AFFRI) am Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur Wien. Im Rahmen dieses und weiterer Projekte können heute Waldbrände österreichweit erfasst werden. Forschungen zu den Ursachen und Charakteristika von Waldbränden, Brennstoffherhebungen, Messungen der Streufeuchtigkeit und ein interdisziplinäres Monitoring auf Waldbrandflächen erlauben die Identifizierung relevanter Faktoren der Brandentstehung und des Brandverhaltens. Hierdurch sollen die Grundlagen für ein integriertes System zur Abschätzung der Brandgefahr im Ostalpenraum geschaffen werden. In **Italien** arbeiten die Regionen Lombardei, Piemont und Venetien mit den Universitäten von Mailand, Padua und Turin zusammen, um Brennstoffarten zu charakterisieren und Feuermodelle für die regionalen Wälder zu erstellen (Ascoli et al. 2015a, Rizzolo 2016). Auf Grundlage des Brandverhaltens soll damit das Brandrisiko besser abgeschätzt werden (Region Venetien 2018).

KONTROLLIERTES BRENNEN

Kontrollierte Abbrennarbeiten verfolgen den geplanten Einsatz von Feuer als Werkzeug für die Erreichung klar definierter Bewirtschaftungsziele. In der Alpenregion wird kontrolliertes Brennen aus folgenden Gründen durchgeführt:

- Reduktion des Potenzials für intensive Feuer in Wäldern und Buschlandschaften
- Unterstützung der Weidewirtschaft
- Erhaltung von Lebensräumen und Biodiversität
- Brandschutzübungen der Einsatzkräfte und Behörden

Unter bestimmten Voraussetzungen ist ein kontrolliertes Abbrennen der Vegetation die kosteneffizienteste Methode, um Waldbrände hoher Intensität bzw. bestandesvernichtende Kronenfeuer und darauffolgende Naturkatastrophen zu verhindern. In Südeuropa wird diese Maßnahme regelmäßig angewandt (Fernandes et al. 2013).

In den Alpenländern ist kontrolliertes Brennen hauptsächlich in **Frankreich** relevant. Hier wird diese Maßnahme regelmäßig geplant und durchgeführt. Im Department Alpes-Maritimes werden 1000-3000 ha pro Jahr behandelt, die allerdings nicht in der Alpenregion liegen. Es gibt zwei Hauptgründe für das kontrollierte Abbrennen der Vegetation in den südöstlichen Teilen Frankreichs. Erstens soll damit das Potenzial für intensive Feuer verringert werden. Zweitens unterbindet das Abbrennen von Jungwuchs ein exzessives Waldwachstum, womit sich bessere Möglichkeiten der Beweidung ergeben. In Frankreich werden kontrollierte Abbrennarbeiten von Brandschutztechnikern mit einer standardisierten Ausbildung praktiziert. Sie bilden eine Wissensgemeinschaft, teilen ihre Erfahrungen jedes Jahr im Zuge von Workshops und veröffentlichen die Ergebnisse online. In **Slowenien** sind kontrollierte Abbrenntätigkeiten Teil einer speziellen Brandschutzausbildung für Feuerwehrleute (Jeren und Turk 2014). In der Realität werden sie aber kaum durchgeführt. In **Italien** gibt es keinen nationalen Rahmen für kontrolliertes Brennen. Diese Maßnahme wird stattdessen durch regionale Gesetze und Managementpläne geregelt. Derzeit erfolgt die Anwendung nur sporadisch in der Region Piemont (Ascoli et al. 2013b; Ascoli und Bovio 2013), während sie z. B. in Venetien gar nicht geregelt ist. Positive Erfahrungen hinsichtlich kontrollierter Abbrenntätigkeiten wurden 2008 in der Region Friaul-Julisch Venetien gemacht, wobei auch der Bürgermeister der Gemeinde Taipana in Slowenien involviert war (Valese et al. 2011).

In den übrigen Alpenländern wird ein kontrolliertes Abbrennen der Vegetation nicht angewandt bzw. ist verboten, etwa aufgrund von existierenden Strategien zur Risikovermeidung, mangelndem Fachwissen, Erwägungen des Naturschutzes, Forstgesetzen oder aus Gründen des Immissionsschutzes (**Abbildung 9**). Regionale Ausnahmen finden sich z. B. in den südlichen Teilen von **Niederösterreich** und **Slowenien**, wo im Frühjahr entlang von Eisenbahndämmen Abbrennarbeiten durchgeführt werden, um zu verhindern, dass der Funkenflug von Zügen unkontrollierte Brände entfacht.

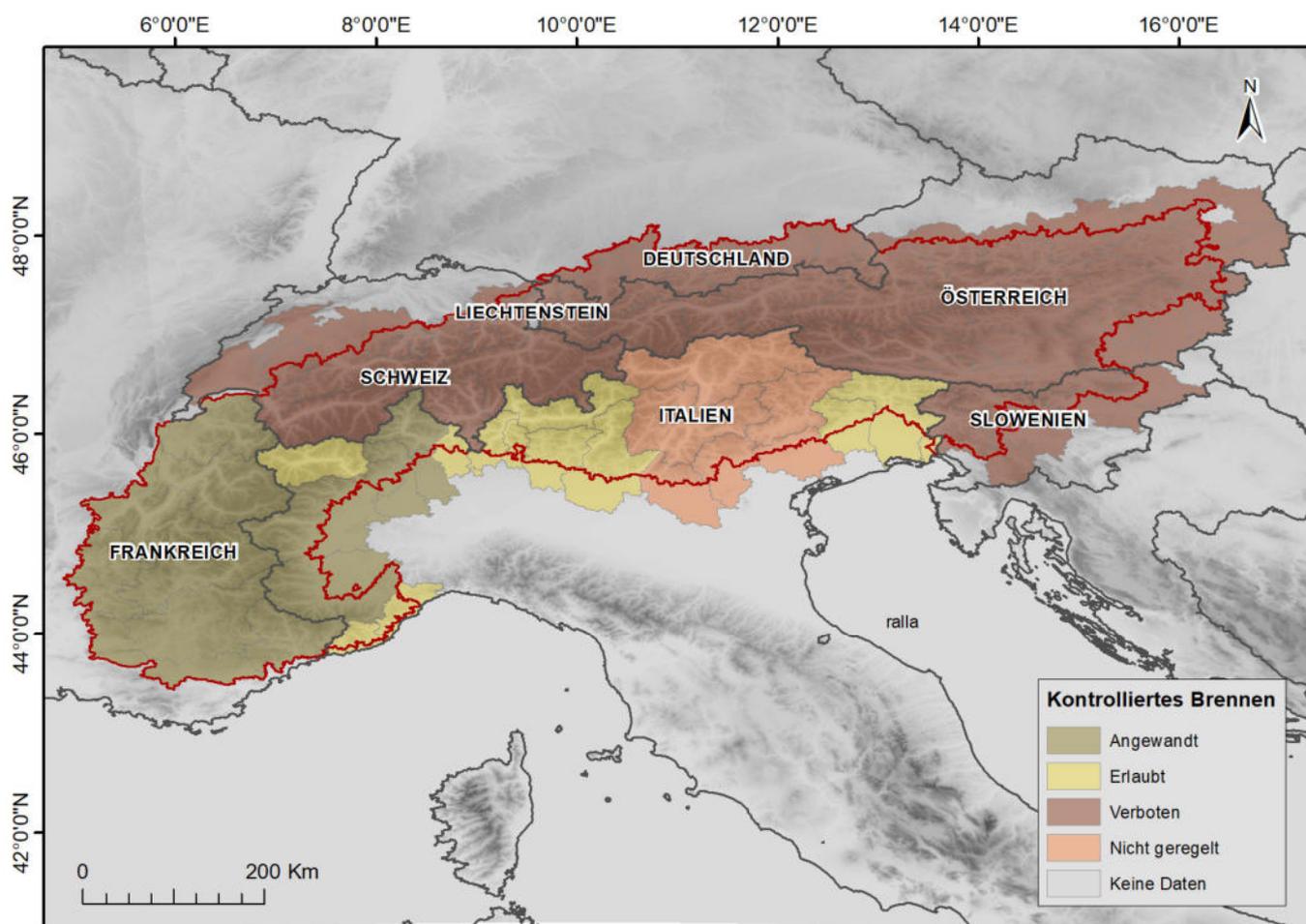


Abbildung 9: Bestimmungen zum kontrollierten Abbrennen der Vegetation nach Ländern und Regionen. Für Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung.

BEWUSSTSEINSBILDUNG

Derzeit werden für die Bevölkerung der Alpenregion nur wenige Maßnahmen getroffen, um das Bewusstsein und Wissen hinsichtlich Waldbrände zu verbessern. In **Oberösterreich** vermitteln die Freiwilligen Feuerwehren die Grundlagen der Waldbrandprävention während ihrer Schulbesuche. Nach großflächigen Bränden im Oktober 2017 im Alpenbereich **Italiens** etablierte sich in der Bevölkerung ein verstärktes Bewusstsein zu Waldbränden und es entstanden neue Bewirtschaftungsinitiativen für öffentliche und private Wälder. In der Region Piemont informierte eine Kampagne die Bürger über präventive Waldbrandmaßnahmen und Richtlinien seitens des „Piano Straordinario Incendio 2017“ (Region Piemont 2018) zur Wiederherstellung von Brandflächen. Das Innenministerium in Bayern, **Deutschland**, hat unlängst eine Informationsbroschüre zur Waldbrandbekämpfung für die Öffentlichkeit präsentiert. In der **Schweiz** wurden auf Ebene des Bundes und der Kantone zahlreiche Aktivitäten gesetzt, um die Kommunikation der aktuellen Brandgefahr an die Bevölkerung zu verbessern und die Bedeutung der Verhinderung großer Waldbrände

zu unterstreichen (Ghiringhelli et al. 2019; Reinhard et al. 2019; Roosli et al. 2019). In **Slowenien** werden speziell in Perioden mit hoher Brandgefahr Kampagnen zur Information der Bürger durchgeführt.

Das öffentliche Bewusstsein betreffend gefährliches Verhalten zur Auslösung von Waldbränden, das Wissen über Präventionsmaßnahmen und mögliche Maßnahmen zum Selbstschutz sind in der Alpenregion wenig ausgeprägt (EUSALP-Umfrage 2019). Dies kann zu fahrlässigen Handlungen im Wald (z. B. weggeworfene Zigaretten) oder unzureichenden Sicherheitsmaßnahmen während der Arbeit führen (z. B. Verbrennungsaktivitäten trotz Dürre). Auch unangemessene Freizeitaktivitäten können Waldbrände auslösen, etwa wenn Lagerfeuer oder Feuerwerke bei erhöhter Waldbrandgefahr in der ausgewiesenen Gefahrenzone des Waldes entzündet werden.

FORSTGESETZE

Je nach Alpenregion gibt es Forstgesetze auf nationaler oder regionaler Ebene. Sie beinhalten meist einen Abschnitt über Waldbrände und legen fest, wie im Fall einer hohen Brandgefahr vorzugehen ist. In **Italien** ist das wichtigste Gesetz betreffend Waldbrände der Erlass Nr. 353/2000. Nachdem die Waldbewirtschaftung in die regionale Kompetenz fällt, handelt es sich um ein Rahmengesetz. Es legt die wichtigsten Richtlinien für die Brandprävention und -bekämpfung fest. Jede Region und autonome Provinz hat ihr eigenes Waldbrandgesetz, das die Angelegenheit im Detail regelt. Die Richtlinie 353/2000 legt ebenfalls fest, dass jede Region einen verpflichtenden Waldbrand-Präventionsplan haben muss. In **Österreich** beinhaltet das nationale Forstgesetz Bestimmungen über die Organisation der Waldbrandbekämpfung, die Planung von Bekämpfungstaktiken, den Umgang mit Wiederherstellungsmaßnahmen und die Kostenzuteilungen für die Waldbrandbekämpfung (ForstG – Forstgesetz 1975, §42, Ermächtigung der Landesgesetzgebung). Darüber hinaus regelt das Bundesluftreinhaltegesetz (BGBl. I Nr. 137/2002, Fassung vom 05.06.2020) das Verbrennen von biogenen und nicht biogenen Materialien. Wald und Waldschutzgesetze sind in **Deutschland** Gegenstand der Bundesgesetzgebung. Der Freistaat Bayern ist laut Bayerischem Waldgesetz (BayWaldG) vom 22.07.2005 (GVBl. S. 313, BayRS 7902-1-L), zuletzt geändert am 24.07.2019 (§8, GVBl. S. 408), verantwortlich für die Alpenregion. In der **Schweiz** werden Waldbrandangelegenheiten durch verschiedene Gesetze auf Bundesebene, aber auch auf Kantonebene geregelt. Das Schweizer Bundesforstgesetz (Lfo SR 021.0) und die entsprechende Verordnung (Ofo SR 921.01) definieren die Präventions- und Wiederherstellungsmaßnahmen. Daneben zielt die Alarmierungsverordnung (OAIRRS, SR 20.12) auf den Schutz der Bevölkerung durch rechtzeitige Alarmierung bei hoher Brandgefahr ab (Reinhard et al. 2019). All diese Grundsätze und Regeln werden in den entsprechenden kantonalen Gesetzen detailliert angeführt. In **Slowenien** wird die Thematik Waldbrand auf nationaler Ebene durch das Brandschutzgesetz, das Forstgesetz und durch den *Erlass zum Brandschutz in der Natur* behandelt. Die Effizienz der rechtlichen Maßnahmen zur Verhinderung von Waldbränden in den Alpen wird in **Abbildung 10** dargestellt.

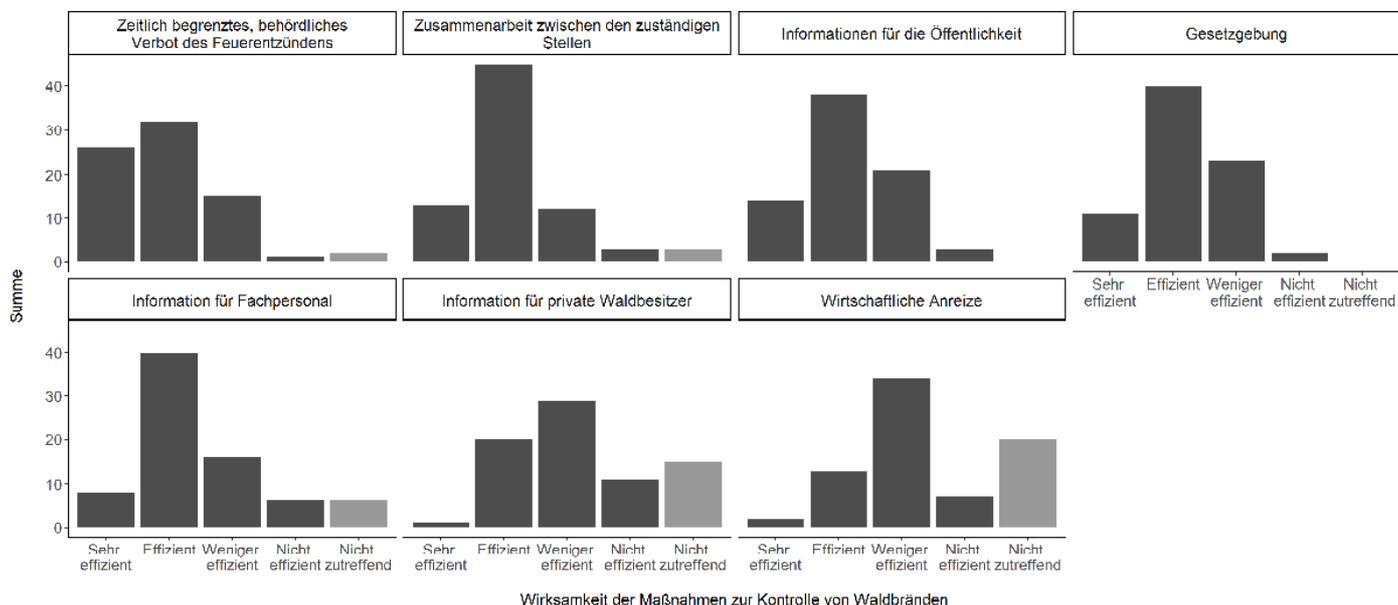


Abbildung 10: Effizienz der durchgeführten Maßnahmen zur Kontrolle der Waldbrandsituation in der Alpenregion. Die Abbildung zeigt die Werte für alle Länder. Quelle: EUSALP-Umfrage 2019.

BESCHRÄNKUNGEN UND GESETZLICHE FEUERVERBOTE

In **Österreich** gestattet das nationale Forstgesetz den Bezirksbehörden, im Fall hoher Waldbrandgefahr eine Waldbrandverordnung zu erlassen. Diese Verordnung verbietet die Entzündung von Feuern und das Rauchen im Wald sowie in seinem Gefährdungsbereich. Theoretisch ist es lt. Forstgesetz möglich, das Betreten gefährdeter Wälder zu verbieten, in der Praxis wird diese Maßnahme jedoch nicht angewandt. In einigen Regionen werden die Waldbrandverordnungen an einem festgelegten Datum erlassen (z. B. Anfang März) und gelten mehrere Monate lang, unabhängig von der tatsächlichen Witterung.

Die Bestimmungen betreffend Feuer im Wald sind in **Deutschland** in den Forstgesetzen der Länder geregelt. Jedes Bundesland hat seine eigenen Richtlinien und teilt die Kompetenzen auf die verschiedenen Verwaltungsebenen auf. Zumeist haben die Bezirksbehörden die Möglichkeit, Verordnungen zur Verhinderung von Waldbränden zu erlassen, z. B. ein Betretungsverbot für Waldgebiete mit hoher Brandgefahr oder ein Verbot der Feuerentzündung im Wald und seiner Umgebung. Diese Bestimmungen sind in den Bundesländern nicht einheitlich. Die Möglichkeit, Besuchern den Zugang zum Wald zu verbieten, besteht nur in einigen Ländern. In **Bayern** sind Genehmigungen erforderlich, um Feuer innerhalb einer 100 m Pufferzone zum Waldrand zu entzünden. Rauchen und kontrollierte Feuer in Wäldern sind vom 01.03 bis zum 31.10 nicht gestattet (Ausnahmen gelten für Waldeigentümer, Jäger und Rettungsdienste). Es werden keine zusätzlichen Feuerverbote angewandt.

In **Italien** sind Feuerverbote auf regionaler Ebene geregelt, manchmal auch auf Gemeindeebene. Im Allgemeinen ist das flächige Abbrennen verboten. Die Verbrennung von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Rückständen ist mit Genehmigung erlaubt, ausgenommen in Zeiten hoher Brandgefahr. Touristische Feuer (etwa Lagerfeuer) sind

in Picknickgebieten außerhalb der Brandsaison gestattet. Feuerverbote können auch auf Gemeindeebene zur Immissionsreduktion erlassen werden. Die Schließung von Wäldern bei hoher Brandgefahr ist nur dann möglich, wenn diese Maßnahme in den lokalen Waldbrand-Präventionsplänen enthalten ist.

In **Slowenien** ermöglicht es der *Erlass zum Brandschutz in der Natur* den Gemeinden, im Fall einer hohen Brandgefahr gesetzliche Feuerverbote für das Gemeindegebiet anzuordnen. Der Erlass sieht in Zeiten großer oder sehr großer Brandgefahr auch weiterführende Maßnahmen vor. Daneben dürfen laut Forstgesetz in den Wäldern keine Feuer entzündet werden, mit Ausnahme angelegter Feuerstellen oder kontrollierte Brände zum Zweck der Bekämpfung von Schadinsekten und gefährlichen Baumkrankheiten. Die Entzündung von Grün- und Brachland in Waldnähe ist verboten. Das Abbrennen von abgeernteten Feldern ist nur dann gestattet, wenn es in Anwesenheit eines Erwachsenen geschieht, der das Feuer unter Kontrolle hält.

In der **Schweiz** sind bei geringer Brandgefahr Lagerfeuer im Wald grundsätzlich gestattet. Feuerverbote werden durch die kantonalen Forstgesetze und die damit verbundenen Durchführungsverordnungen und -erlasse geregelt. Von der Gesetzgebung sind keine weiteren Einschränkungen vorgesehen.

1.6.2. Kurzfristige Präventionsmaßnahmen

Systeme zum Monitoring und zur Abschätzung der Waldbrandgefahr und eine Kundmachung der aktuellen Gefahrensituation sind Schlüsselbereiche für die Verhinderung von Waldbränden. Die Bewertung der Brandgefahr sollte dabei das Gefahrenpotenzial (Entzündung, Brandverhalten, Gefährdungsbereiche) möglichst umfassend und mittels hochauflösender Daten auf regionaler Ebene beschreiben.

SYSTEME ZUR ABSCHÄTZUNG DER BRANDGEFAHR IN DEN ALPEN UND EUROPA

In den meisten mitteleuropäischen Ländern liefern regionale oder nationale Wetterdienste und Behörden eine Abschätzung der Waldbrandgefahr auf nationaler Ebene, etwa der Deutsche Wetterdienst (DWD) in **Deutschland**, die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in **Österreich**, ARSO Meteo und das SFS Portal in **Slowenien** oder der nationale Zivilschutzdienst Dipartimento della Protezione Civile (DPC) in **Italien**. In der **Schweiz** und in **Liechtenstein** koordiniert und harmonisiert das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die von den einzelnen Kantonen und dem Fürstentum zur Verfügung gestellten Informationen und veröffentlicht sie in einer landesweiten Übersichtskarte (Reinhard et al. 2019). In der Alpenregion wird der **Canadian Fire Weather Index (CFWI)**, kurz **FWI**, welcher in erster Linie meteorologische Daten verarbeitet, am häufigsten eingesetzt; manchmal auch in Kombination mit Informationen zur Vegetation (**Abbildung 11**).

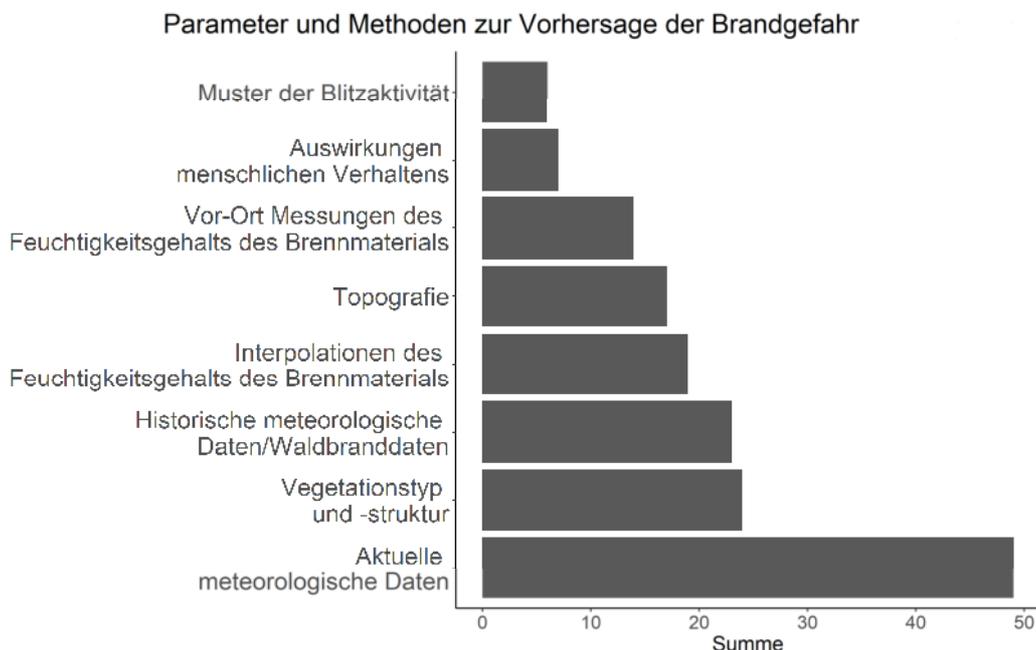


Abbildung 11: Eingesetzte Parameter und Methoden für die Vorhersage der Brandgefahr in der Alpenregion. Die Abbildung zeigt die Ergebnisse für alle Länder. Quelle: EUSALP-Umfrage 2019.

Die gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission, das **Joint Research Center (JRC)**, ist Sitz des Europäischen Waldbrandinformationssystems (**European Forest Fire Information System, EFFIS**), welches Teil des Krisen- und Katastrophenmanagements des EU Copernicus-Programms ist. EFFIS bietet eine flächendeckende, trans-europäische Abschätzung der Vegetationsbrandgefahr mit einer operativen räumlichen Auflösung von 8 x 8 km. Insbesondere in den Alpenländern ist diese grobe Auflösung wenig zielführend. Nationale Waldbrand-Gefahrensysteme verwenden regionale meteorologische Modelle, die zu einer räumlichen Auflösung von bis zu 1 x 1 km führen, z. B. das Waldbrandmodell der ZAMG in **Österreich** (ZAMG 2018).

In der **Schweiz** wurden zwei weitere Ansätze für die tägliche und regionale Gefahrenabschätzung entwickelt. Der statistische Ansatz **FireNiche** kombiniert geeignete meteorologische Variablen und Indizes für eine Modellierung der lokalen, brandfördernden Bedingungen (De Angelis et al. 2015). **FireLess** ist ein drahtloses Sensorensystem, das stündlich Messungen der Bodenfeuchtigkeit von ausgewählten, repräsentativen Waldbeständen liefert (Conedera et al. 2014). In **Deutschland** wird für Hochwälder der **Waldbrandgefahrenindex (WBI)**, ein adaptierter Index des kanadischen FWI, und für offene Flächen ein **Graslandfeuerindex** gemeinsam mit Expertenbeurteilungen verwendet. Im Winter werden die Indizes adaptiert, indem Daten von Alpenstationen sowie der Input von Bezirksförstern in die Gefahrenbewertung einfließt. In **Slowenien** wird das Entwicklungsstadium der Vegetation bei der Bewertung der Waldbrandgefahr berücksichtigt. Derzeit befindet sich ein neues System in Entwicklung, das auf dem Auftreten vergangener Brände beruht (Ogris 2018; Šturm et al. 2013). In **Italien** und **Frankreich** wird ein modifizierter Index basierend auf dem kanadischen FWI gemeinsam mit Expertenwissen zur Gefahrenabschätzung eingesetzt. In **Italien** wird das **RISICO**-System zentral angewandt und vom Zivilschutz betreut. Auf regionaler Ebene bereiten

Zivilschutzabteilungen (ARPA) sowie in autonomen Regionen die lokalen Forstbehörden tägliche Bulletins zur Brandgefahr vor. Dabei werden die aktuellen Wetterbedingungen für die Abschätzung der Brandgefahr berücksichtigt. In einigen Regionen beinhaltet die Gefahrenbeurteilung auch die Vegetationsform, die Landnutzung und Morphologie des Gebietes, wodurch ein komplexerer Index entsteht, als jene in Österreich, Deutschland oder der Schweiz. In **Frankreich** widmet sich während der Sommermonate ein Expertenteam von Meteorologen der Vorhersage des Feuerwetters (Lahaye 2018). Dabei werden Prognosen auf Flächen von ca. 668 km² mit jeweils homogenem Feuerwetter generiert (**Abbildung 12**). In den meisten Alpenländern wird der Output der Waldbrandmodelle validiert und kann von Experten überarbeitet werden (bekannt aus Deutschland, Frankreich, Italien und der Schweiz).

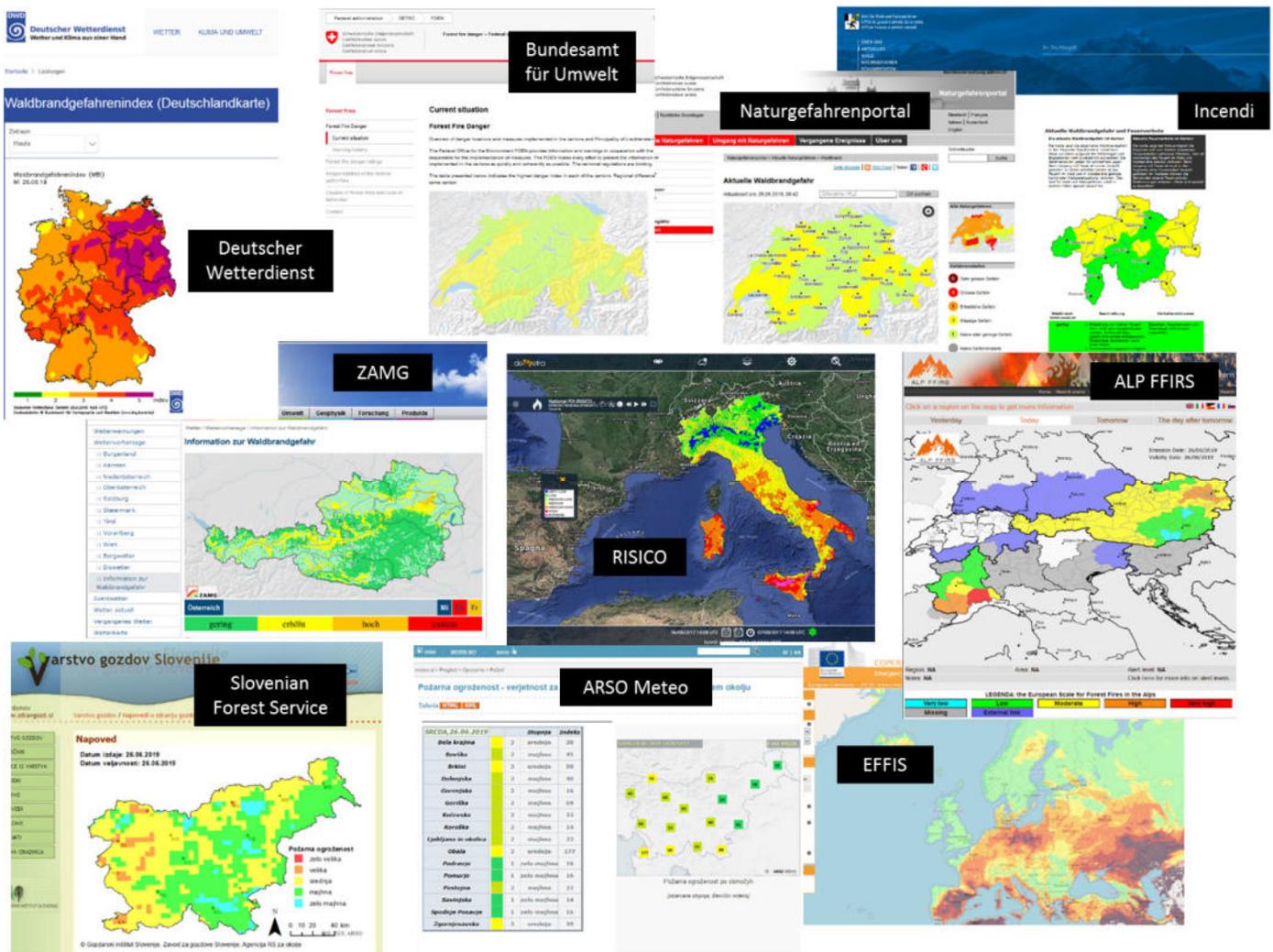


Abbildung 12: Screenshots der nationalen/regionalen Systeme zur Abschätzung der Brandgefahr in der Alpenregion.

KUNDMACHUNG DER AKTUELLEN GEFAHRENSITUATION

Die Verbreitung der Informationen zur aktuellen Feuergefahr ist in Zeiten von Trockenheit und hohen Temperaturen von entscheidender Bedeutung für die Brandprävention. In der **Schweiz** und in **Slowenien** wird die Bevölkerung im Fall einer hohen Waldbrandgefahr über das Internet und über traditionelle Medien (Zeitungen, Radio, Fernsehen) informiert. In **Österreich** werden Informationen zur Waldbrandgefahr über die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) sowie einen Waldbrandblog der Österreichischen Forschungsinitiative Waldbrand an der BOKU Wien kommuniziert (<https://fireblog.boku.ac.at>). Zudem gibt es bei einer hohen Waldbrandgefahr Aussendungen der Forstbehörden und Landesfeuerwehrverbände. In **Frankreich** steht eine Waldbrand-App zur Verfügung und wird zur Kundmachung der Brandgefahr genutzt. In **Deutschland** werden offizielle Warnungen über die Verkehrsnachrichten im Radio sowie über den Deutschen Wetterdienst (DWD) verbreitet. Eine landesweite Applikation ähnlich der in Frankreich ist in Planung. Beobachtungsflüge werden in den Fernsehnachrichten gezeigt und tragen ebenfalls zum öffentlichen Bewusstsein bei. In **Italien** erfolgt die Kommunikation der aktuellen Brandgefahr hauptsächlich über die regionalen Verwaltungen. Waldbrände in der Alpenregion geraten durch die ausgedehnten sommerlichen Buschbrände im Mittelmeerraum oft ins Hintertreffen. Der starke mediale Fokus erschwert auch die Rechtfertigung der Finanzierung von Präventionsmaßnahmen in der Alpenregion. Die Medien sind mehr an Feuern unter extremen Bedingungen im Sommer interessiert, als an alpinen Bränden im Winter, die sich jedoch bei entsprechend trockenen und windigen Bedingungen ebenfalls zu Großbränden entwickeln können.

Besucherinformationen in den Wäldern, welche die lokale Brandgefahr darstellen, sind in der Alpenregion selten. Wenn es sie gibt, handelt es sich meist um statische Hinweistafeln, die fix montiert sind, unabhängig von der tatsächlichen Brandgefahr. Daher erscheint eine effektive Besucherlenkung fraglich. Ein bekanntes Beispiel für eine dynamische Besucherinformation ist „**Smokey Bear**“ in den USA. An allen Haupteingängen der Wälder befinden sich eingängige Symbole, welche die Besucher über die aktuelle Waldbrandgefahr in einer spezifischen Region informieren.

Eine Zusammenfassung der Brandpräventionsmaßnahmen in der Alpenregion zeigt **Tabelle 3**.

Tabelle 3: Brandpräventionsmaßnahmen in den Alpenländern. Für Liechtenstein stehen keine Daten zur Verfügung. Die verschiedenen Waldbrand-Indizes werden in Kapitel 1.6.2. erläutert. Quellen: Nationale/regionale Datenbanken, Waldbrand-Workshop Wien, EUSALP-Umfrage 2019.

	Österreich	Frankreich	Deutschland	Schweiz	Slowenien	Italien
Feuerindizes, die für die Abschätzung der Brandgefahr verwendet werden	FWI	FWI (adaptiert)	WBI	FWI (adaptiert), Fire Niche, Fireless	FWI (adaptiert)	FWI und adaptierter FWI (RISICO)
Differenzierung zwischen Entzündung und Feuerverhalten bei der Einschätzung der Brandgefahr?	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein
Anwendung gesetzlicher Feuerverbote?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Einbeziehung von Waldbrand-Präventionsmaßnahmen in die Waldbewirtschaftungspläne?	Nein	Ja	Teilweise	Teilweise	Ja	Ja
Kontrolliertes Abbrennen der Vegetation?	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja (außerhalb von Waldgebieten)	Teilweise

INTEGRIERTE SYSTEME ZUR ABSCHÄTZUNG DER BRANDGEFAHR (IFDS)

Die integrale Abschätzung der Brandgefahr verbindet die lang- und kurzfristige Prognose der Entzündungsgefahr mit dem Brandverhalten und der Vulnerabilität (siehe **Kapitel 1.2**). Die meisten derzeitigen Gefahrensysteme basieren ausschließlich auf meteorologischen Parametern. Der menschliche Einfluss auf das Brandregime kann jedoch klimatische und natürliche Faktoren überprägen und hat in manchen Gebieten die größte Erklärungskraft für das Auftreten von Waldbränden (Arpaci et.al. 2013; Pezzatti et al. 2013).

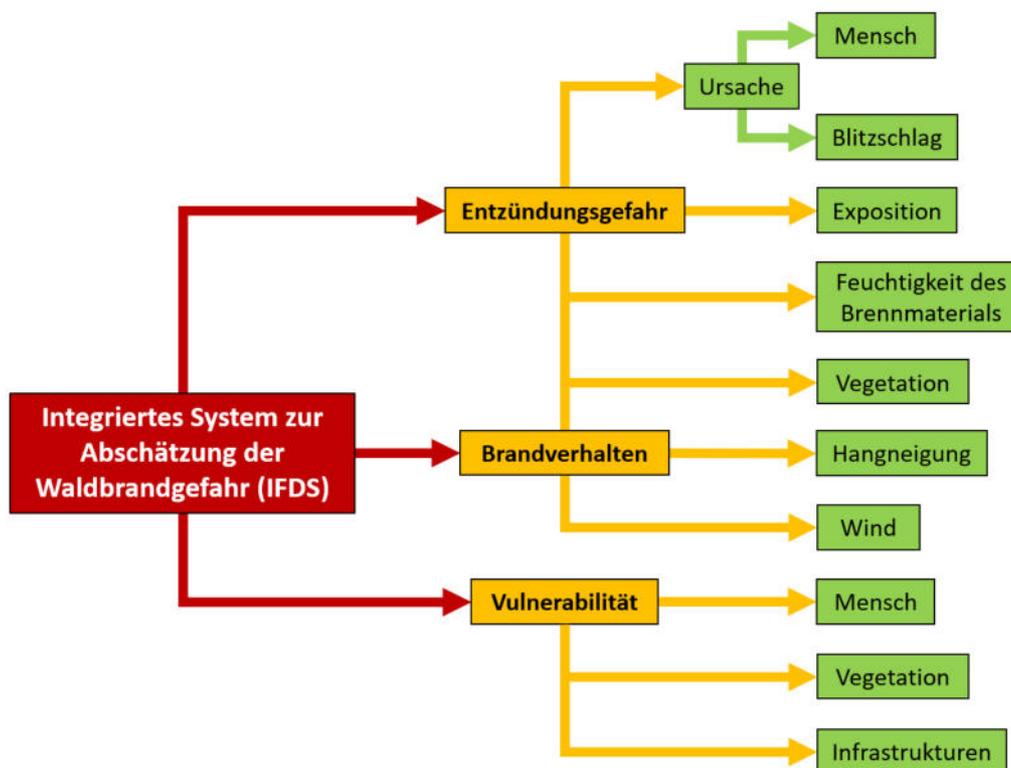


Abbildung 13: Modell eines integrierten Systems zur Abschätzung der Waldbrandgefahr (IFDS) mit Komponenten (orange) und erforderlichen Datensätzen (grün). Adaptiert nach San-Miguel-Ayanz et al. 2018.

Um eine integrierte Abschätzung der Brandgefahr zu ermöglichen, müssen die unterschiedlichen Vegetationsformen und -zusammensetzungen, Brennstoffmengen, topographische Faktoren (Seehöhe, Hangneigung, Exposition) sowie die regionale Heterogenität von Wetter und Klima in der Alpenregion berücksichtigt werden. Zusätzlich sollten potenzielle Brandursachen (einschließlich des menschlichen Einflusses) sowie die Vulnerabilität bzw. das Gefährdungspotenzial (hinsichtlich sozialer Auswirkungen, gefährdeter Vegetation, kritischer Infrastrukturen, Verlust von Menschenleben) für eine umfassende Risikomodellierung mit einbezogen werden (**Abbildung 13**). Erste Versuche in diese Richtung wurden in der **Schweiz** unternommen (Conedera et al. 2011; Conedera et al. 2015). In **Österreich** ist der Prototyp eines integrierten Systems zur Abschätzung der Waldbrandgefahr mit einer räumlichen Auflösung von 100 x 100 m entwickelt worden (Müller et al. 2020). Dabei ist das Wissen über kleinräumige Merkmale von Wäldern für die Entzündungsgefahr und das Verhalten von Waldbränden von entscheidender Bedeutung.

1.6.3. Vorbereitende Maßnahmen zur Waldbrandbekämpfung

In diesen Bereich fallen sämtliche Aktivitäten in Zusammenhang mit der Vorbereitung der Brandbekämpfung. Eine moderne **Ausrüstung** und zielgerichtete **Ausbildung** von Feuerwehrleuten und Einsatzkräften sind von entscheidender Bedeutung für die rasche, effiziente und sichere Bekämpfung von Waldbränden in den Alpen. In einigen Regionen beinhalten die Schulungen realistische Brandszenarien und den Austausch mit anderen Ländern. Beispielsweise

unterhält **Niederösterreich** eine Kooperation mit Waldbrandexperten in **Portugal**, um den Wissensstand zur Brandbekämpfung in Österreich zu verbessern.

Eine gut geplante und ausgebaute **Waldinfrastruktur** ist vor allem in den entlegenen Gebieten der Alpen wichtig für die Bekämpfung unkontrollierter Brände. Im Allgemeinen ist die Dichte der Forststraßen in den Alpen im Vergleich zu anderen europäischen Regionen hoch (z. B. Mittelmeerraum, skandinavische Länder). Im Jahr 2009 hat der Forstdienst in **Slowenien** gemeinsam mit der Verwaltung für Zivilschutz und Katastrophenhilfe einen Atlas der Brandschutzeinrichtungen erstellt. Dieser kartographische Atlas zeigt die Brandschutzinfrastruktur in der Karstregion, im Brkinigebirge, in Čičarija und im slowenischen Istrien. Zudem werden weitere Elemente wie Stromleitungen, Gasrohre, die Hydrologie, Orographie, Siedlungen und der jeweilige Waldtyp abgebildet. An der Grenze zu **Italien** wird der Atlas auf italienischer Seite durch denselben Inhalt ergänzt. Die Planung und Erstellung des Kartenmaterials erfolgt langfristig mit klar definierten Prioritäten und in Zusammenarbeit mit den SFS Förstern, Feuerwehrleuten und lokalen Gemeinden. Wesentliche Darstellungselemente der Brandbekämpfung beinhalten Sicherheitszonen, Zufahrtswege sowie Umkehr- und Interventionspunkte. Die wichtigsten strukturellen Arbeiten in **Italien** umfassen den Bau von Forststraßen in Hochrisikogebieten und das Anlegen offener und unterirdischer Wassertanks. In **Deutschland** existieren einsatztaktische Karten für die Feuerwehren. Diese enthalten Informationen über Forststraßen, etwa das zulässige Gesamtgewicht für Einsatzfahrzeuge, aber auch die Lage von Wasserentnahmestellen und Fluchtpunkten. In einigen Regionen der **Schweiz** gibt es auf Ebene der Gemeinden/Forstbezirke waldbandspezifische Notfallpläne. In **Liechtenstein** existiert eine landesweite Notfall- sowie Interventionsplanung.

1.6.4. Detektion von Waldbränden

Obleich das Bewusstsein betreffend Waldbrände in der Bevölkerung der Alpenregion gering ist, existiert eine **aktive Bereitschaft, diese zu melden**. Wenn in einem Waldgebiet Rauch oder sogar Flammen zu sehen sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Alarmzentralen binnen weniger Minuten informiert werden. Aus diesem Grund können die meisten Waldbrände in der Alpenregion kurz nach deren Ausbruch unter Kontrolle gebracht werden, insbesondere in Ländern mit einem dichten Netz an Freiwilligen Feuerwehren, wie in **Österreich** oder der **Schweiz**. In **Italien** hat sich in den letzten Jahren die Überwachung der Forstgebiete bei hoher Brandgefahr verbessert. Diese Kontrollen werden durch die Carabinieri forestali, durch Mitglieder des Zivilschutzes, der lokalen Polizei und von Freiwilligen Feuerwehren durchgeführt. In **Deutschland** erfolgt eine Überwachung mittels kleiner Motorflugzeuge. Das Flugteam besteht üblicherweise aus einem speziell ausgebildeten Feuerwehrmann und einem Förster, die nach Rauch und Feuer Ausschau halten.

In den besonders brandgefährdeten Regionen **Deutschlands** wurde in den letzten Jahrzehnten ein **automatisiertes Kameraüberwachungssystem** entwickelt und installiert, das Brände bzw. Rauchentwicklungen in einem frühen Stadium entdecken und damit die Einsatzkräfte rasch zum Brandherd leiten kann. Ein ähnliches Vorgehen findet sich auch im Süden **Sloweniens**. Das deutsche System wird als AWFS („Automatisches-Waldbrand-Früherkennungssystem“) bezeichnet. Untersuchungen haben gezeigt, dass dieses automatisierte Monitoring die Brandfläche deutlich verringern kann (Chtioui und Kaulfuß 2019). Es ist zu überlegen, ob derartige Systeme auch in anderen feuergefährdeten Alpenregionen eingerichtet werden können. Die derzeit installierten Sensoren befinden sich hauptsächlich in flachen Gebieten. Daher genügen relativ wenige, auf Türmen montierte Kameras, um große Flächen zu überwachen. Dies dürfte in einem komplexen Gelände wie den Alpen wesentlich schwieriger sein.

In Zukunft könnten **Drohensysteme** dabei helfen, Waldbrände in entlegenen Gebieten zu entdecken. In der **Schweiz** werden Drohnen gelegentlich eingesetzt, um versteckte Glutnester zu identifizieren. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass selbst professionelle Drohnen äußerst windempfindlich sind. In Verbindung mit einem dichten Baumkronendach scheinen ihre Einsatzmöglichkeiten daher begrenzt. In **Österreich** und **Deutschland** werden ebenfalls Versuche mit Drohnen durchgeführt, um Hotspots und neue Brandstellen zu finden. An der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München (TUM) haben Wissenschaftler und der eigene Feuerwehrdienst ein Drohnensystem entwickelt, um Echtzeitbilder während der Brandbekämpfung zu erhalten (TUM 2018). Ein ähnlicher Ansatz könnte auch für die Waldbrandbekämpfung in den Alpen verwendet werden.

1.6.5. Direkte Waldbrandbekämpfung

Die Waldbrandbekämpfung in der Alpenregion erfordert durch das schwierige Terrain eine spezielle **Ausrüstung** und angepasste **Taktiken zur Brandbekämpfung**. Wo es möglich ist, werden Tanklöschfahrzeuge in Verbindung mit Wasserentnahmestellen (Tanks, Hydranten, Teiche, Bäche) verwendet. Bei größeren Entfernungen erfolgt die Brandbekämpfung über einen Pendelverkehr mit Tankfahrzeugen und/oder das Verlegen von Löschleitungen. Einzelne Wasserpumpen werden dabei im Fall großer Höhenunterschiede hintereinander zusammengeschlossen. In entlegenen Gebieten erfolgt die Erstbekämpfung oft mit Feuerrechen und Feuerpatschen. Damit soll die initiale Ausbreitung von Bodenfeuern unterbunden werden. Löschrucksäcke und Hochdrucklanzen werden üblicherweise verwendet, um tief im Boden versteckte Glutnester zu erreichen. Sprinklersysteme zur Befeuchtung der Vegetation finden gelegentlich in den Südalpen Anwendung, insbesondere während der Nachtstunden und entlang von Brandschutzschneisen. Geländegängige Feuerwehrfahrzeuge und Quads stehen im Alpenraum nur sporadisch zur Verfügung. In **Italien** haben sämtliche auf Waldbrände spezialisierten Einheiten Allrad-Pickups, die mit Brandschutzmodulen ausgerüstet sind und sich auf schmalen, alpinen Forststraßen bewegen können. Ebenso steht eine geringere Anzahl von allradgetriebenen Tanklöschfahrzeugen zur Verfügung, die hauptsächlich zur Unterstützung von Pickup-Einsätzen verwendet werden. In **Frankreich** basiert die Brandbekämpfung am Boden hauptsächlich auf Allrad-Tankfahrzeugen und einer koordinierten Zusammenarbeit in Gruppen. In **Slowenien** wurden in der Vergangenheit für die Anschaffung von Waldbrand-Spezialfahrzeugen und für persönliche und allgemeine Schutzausrüstung nationale Sondermittel (KRAS-Mittel) an freiwillige und professionelle Brandbekämpfungseinheiten ausgegeben.

Hubschrauber und die Unterstützung von Motorflugzeugen sind für eine wirkungsvolle Brandbekämpfung in den heterogenen und kleinstrukturierten Alpen entscheidend. In sämtlichen Alpenländern gibt es Feuerwehreinheiten, die speziell ausgebildet sind, um mit Helikoptern, Befüllstationen, Seilwinden usw. zu arbeiten. In **Österreich** und **Bayern** werden Hubschrauber vermehrt dafür verwendet, Wasser zu mobilen Becken zu transportieren, die sich in der Nähe des Brandherdes befinden. Von dort werden Schläuche zur Brandbekämpfung gelegt, insbesondere in der finalen Phase des Ablöschens von Glutnestern.

Schwellbrände und Bodenfeuer können direkt an der Feuerfront oder an den Flanken mit Bodentruppen bekämpft werden. Im Fall von Kronenfeuern oder steilem, unzugänglichem Gelände benötigt es zur Verhinderung der weiteren Brandausbreitung oftmals Luftunterstützung. Aufgrund des alpinen Geländes sind zahlreiche **Sicherheitsaspekte** zu beachten, etwa die Gefahr von Steinschlag, ein erhöhtes Absturzrisiko oder die Entfachung neuer Brände durch herabrollende Baumteile. Wenn das Gelände besonders steil ist, sind Teams der Bergrettung zur Sicherung der Feuerwehrleute im Einsatz. Auf Truppenübungsplätzen, aber auch in Gebieten, die während des Ersten oder Zweiten

Weltkriegs besonders hart umkämpft waren, können sich durch die Munitionsbelastung und vergrabene Bomben Explosionen ereignen, wodurch spezielle Sicherheitsvorkehrungen für die Einsatzkräfte notwendig sind.

Während das kontrollierte Abbrennen der Vegetation eine langfristige Maßnahme zur Brandprävention darstellt, sind **taktische Feuer** eine Maßnahme, die dazu eingesetzt wird, um Großbrände unter Kontrolle zu bringen. Dies geschieht beispielsweise über die Entzündung eines Gegenfeuers, welches das Hauptfeuer stoppen soll. Taktische Feuer werden primär in **Frankreich** und **Italien** eingesetzt. In den anderen Alpenländern sind sie nicht üblich und werden – auch mangels entsprechender Ausbildung – nicht verwendet.

1.6.6. Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden

Aus dem Englischen stammt der Begriff des **Post-fire-Managements**, das sämtliche Maßnahmen umfasst, die nach dem Löschen eines Brandes getroffen werden. So können Handlungen erforderlich sein, um die Waldbedeckung wiederherzustellen, den Schutz vor Naturgefahren zu gewährleisten, den Druck von Reh- und Rotwild auf die aufkommende Verjüngung zu steuern oder um die Entwicklung auf Waldbrandflächen zu beobachten. Die notwendigen Schritte hängen vom jeweiligen Ereignis ab, da jeder Waldbrand differenzierte Auswirkungen hat und die Landschaft auf unterschiedliche Weise beeinträchtigt. In den **italienischen** Alpen hat der Wissensstand zu Maßnahmen nach Brandereignissen in den letzten Jahrzehnten zugenommen, sowohl für Nadelwaldbestände (Marzano et al. 2013), als auch für Laubwälder (Ascoli et al. 2015b). Forschungsergebnisse haben dazu beigetragen, dass nach den großflächigen Waldbränden im Oktober 2017 in den Südwestalpen (Region Piemont 2018) eines der größten Post-fire Sanierungsprogramme konzipiert werden konnte. In der **Schweiz** zielen Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbrandereignissen vor allem darauf ab, Naturgefahren wie Erosion oder Hangmuren auf ein Minimum zu reduzieren. Die Aufforstung von abgebrannten Flächen wird unterstützt, indem standort- und feuerangepasste Arten zum Einsatz kommen, welche die Resilienz des Waldes gegenüber Bränden erhöhen (Ghiringhelli et al. 2019). Ein ähnliches System des Post-fire-Managements findet sich auch in **Slowenien**. In **Österreich** gibt es nur in Einzelfällen auf Waldbrände abgestimmte Maßnahmen, etwa nach dem Brand bei Absam im Frühjahr 2014 (vgl. **Tabelle 2**).

SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN

Stehendes Totholz nach Waldbränden, also abgestorbene Bäume, schützen für mehrere Jahre vor **gravitativen Naturgefahren**. Geschwächte Bäume (etwa aufgrund versengter Nadeln oder Xylemschäden) können jedoch von primären Schadinsekten wie dem Borkenkäfer befallen werden und nach dem Brand absterben (Bär et al. 2018; Michaletz und Johnson 2007). Derzeit gibt es in der Alpenregion kein einheitliches Vorgehen beim Umgang mit durch Waldbrand geschädigten oder abgestorbenen Bäumen. Sofern die Brandfläche gut erreichbar ist, werden in der Regel die meisten Bäume gefällt, um noch einen Ertrag zu erzielen; ungeachtet dessen, ob dies aus forstlicher und waldbrandtechnischer Sicht der beste Ansatz ist.

Selbst nach intensiven Waldbränden sprießt normalerweise innerhalb weniger Tage das erste Grün – vorausgesetzt, die Wetterbedingungen spielen mit und es sind ausreichend Samenmaterial und lebende Rhizome im Mutterboden verblieben. Auf steilen Hängen und in Schutzwäldern werden rasch wachsende Gräser ausgesät, um diese Entwicklung zu unterstützen. Dies wurde etwa auf dem Gebiet des größten Waldbrandes der letzten Jahre in **Österreich** (Absam in Tirol, vgl. **Tabelle 2**) durchgeführt. Starke Regenfälle innerhalb der ersten Wochen nach einem Feuer können zu deutlichen Erosionserscheinungen, Sturzfluten oder **Schlammlawinen** führen (Gehring et al. 2019). Entsprechende Modelle erlauben es, die Regenintensität und potenzielle Schäden für ein bestimmtes Brandgebiet zu berechnen. In

einigen Alpenländern werden im Fall vorhergesagter, großer Regenmengen Alarmierungen veranlasst und Sicherheitsvorkehrungen getroffen, etwa die Sperre gefährdeter Straßen. In **Frankreich** sind jene Wälder am meisten von Waldstörungen betroffen, die vor etwas mehr als einem Jahrhundert zum Zweck der Stabilisierung der Böden gepflanzt wurden (RTM Wälder). Die Behandlung von Brandflächen ist hier schwierig und es sind heutzutage oft Maßnahmen zum Wiederaufbau aufgrund von Erosion notwendig.

WIEDERHERSTELLUNG DER WALDBEDECKUNG

Eine natürliche Regeneration des Waldbestandes ist in Gebieten ohne extreme topographische, klimatische oder pedologische Bedingungen zu erwarten. Je nach Standort kann dieser Prozess jedoch Jahrzehnte in Anspruch nehmen (Sass et al. 2019), weshalb unterstützende Maßnahmen wie das Pflanzen von Bäumen oder eine Behandlung der Bodenvegetation erforderlich sein können. An ungünstigen Standorten müssen erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um den Waldbestand zu sichern oder wiederherzustellen. In den Westalpen haben Forschungsprojekte wirkungsvolle Maßnahmen identifiziert, um den Waldkieferbestand (Beghin et al. 2010) und Birkenwälder (Ascoli et al. 2013a) nach Großbränden wiederaufzubauen.

MONITORING UND FALLSTUDIEN

Speziell in den Südalpen existieren einige Monitoring-Standorte und Fallstudien auf ehemaligen Waldbrandflächen. So haben Wissenschaftler nach dem Waldbrand 2003 bei Leuk in der **Schweiz** (vgl. **Tabelle 2**) ein umfassendes Monitoring-Programm aufgebaut, das neue Erkenntnisse zum Brandverhalten, der Verjüngung und den Aufforstungsmaßnahmen gebracht hat (Wohlgemuth et al. 2003). Einige alpine Baumarten wie die Europäische Lärche (*Larix decidua*), die Zirbelkiefer (*Pinus cembra*) oder Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) sind äußerst widerstandsfähig gegenüber Bodenbränden, da ihre dicke Borke das lebende Kambium vor hohen Temperaturen schützt.

Nach einem Waldbrand in Jochberg, **Deutschland** (vgl. **Tabelle 2**), wurde ein Wiederherstellungsplan erarbeitet, der den Bau eines Wegenetzwerks und das Anpflanzen von Waldkiefern beinhaltet. Die Kosten hierfür wurden den brandverursachenden Personen bzw. deren Haftpflichtversicherungen in Rechnung gestellt. Auf einer Brandfläche in **Niederösterreich** haben Untersuchungen ergeben, dass Schwarzkiefern selbst dann eine hohe Überlebensrate aufweisen, wenn 60-70 % ihrer Baumkronen versengt sind. Auf der Waldbrandfläche bei Absam, **Österreich** (vgl. **Tabelle 2**), hat man festgestellt, dass überlebende Individuen der Fichte mehr geschädigt waren, als ebenfalls vom Feuer betroffene Waldkiefern. Daher werden bei Fichten höhere Sterblichkeitsraten erwartet (Bär et al. 2019).

INVASIVE NEOPHYTEN

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass eingeschleppte neue Arten in den europäischen Wäldern und in der Alpenregion bereits ein Thema sind (z. B. Pötzelsberger et al. 2018). In **Italien** und in der **Schweiz** haben sich einige Untersuchungen auf die Verbreitung von invasiven Neophyten nach Bränden konzentriert (Lonati et al. 2009; Maringer et al. 2012). Als Beispiel für eine in der Alpenregion häufige invasive Art sei der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) genannt. Diese Spezies kann mit ungünstigen Boden- und Klimabedingungen gut umgehen und verdrängt andere Arten durch die Freisetzung von Toxinen (Lawrence et al. 1991).

1.7. Rechtsgrundlagen, Förderungen und Verwaltung

Auf EU-Ebene gibt es keine einheitliche Forstpolitik. Das vorhandene Instrument ist die **Europäische Forststrategie**, die als holistischer Rahmen für die nationale, forstpolitische Entwicklung dient. Das Thema Waldbrand wird nicht von einer einzigen Richtlinie abgehandelt, sondern auch von anderen, mit Wald in Zusammenhang stehenden Erlasse beeinflusst. Die Mitgliedsstaaten der EU setzen auf finanzielle Unterstützung ihrer nationalen Aktivitäten zur Waldbrandprävention und Wiederherstellung von Brandflächen aus Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes und des EU-Solidaritätsfonds nach Naturkatastrophen (Europäische Kommission 2019). Im Jahr 2018 hat die Europäische Kommission beschlossen, das rescEU System zu verbessern, um Mitgliedsstaaten bei der Bewältigung überregionaler Naturkatastrophen beizustehen. Ein Teil der Einrichtung besteht darin, Unterstützung durch Löschflugzeuge und Helikopter anzubieten. Die Waldbrand-Expertengruppe der EU ist ebenfalls in der Europäischen Kommission angesiedelt.

Es ist davon auszugehen, dass transnationale Waldbrand-Managementpläne nicht realistisch sind. Zweckmäßiger erscheint es, sie auf lokaler Ebene zu erstellen, da sie derzeit in einigen Regionen ohnehin nicht vorhanden sind (z. B. in **Österreich**). In den Nordalpen gibt es oft keine spezifischen Programme oder Förderungen für Waldbrand-Präventionsmaßnahmen. In den Mittelmeerregionen **Frankreichs** und **Italiens** wird ein Feuerverbot in Dürreperioden als notwendige und sinnvolle Maßnahme erachtet, um die Anzahl unbeabsichtigter Brände zu reduzieren. Gleichzeitig ist diese Anordnung unter extremen Bedingungen nicht ausreichend, da in jedem Fall Feuer entzündet werden (durch Brandstifter oder fahrlässiges Verhalten von Landwirten und Hirten). In **Frankreich** werden unabhängig von der Landbewirtschaftungsform zahlreiche Präventionsmaßnahmen von den lokalen Behörden finanziert und umgesetzt, teilweise mit staatlicher Unterstützung oder EU-Förderung zur Entwicklung des ländlichen Raumes. Diese Maßnahmen können öffentliche Bewusstseinsbildung, die Detektion von Bränden, Waldbrandwarnungen oder Patrouillendienste enthalten. Die Mittel für die Finanzierung der technischen Ausrüstung können direkt den Landbesitzern (Behörden und privaten Eigentümern) ausbezahlt werden. In **Italien** beinhalten die regionalen Präventionspläne Maßnahmen zum Brandschutz und oft auch ein Budget zur Umsetzung dieser Maßnahmen. Der Hauptteil des Budgets kommt aus jenem Teil des ländlichen Entwicklungsplans, der auf Interventionen zur Risikoreduktion abzielt. Sowohl Privatpersonen als auch öffentliche Organisationen haben Zugang zu diesem Fonds. In **Slowenien** ist die Subventionierung von Brandschutzmaßnahmen in gefährdeten Gebieten an die Bestimmungen über die Finanzierung von Investitionen in Wäldern geknüpft, beispielsweise die Errichtung von Brandschutzinfrastruktur, das Aufstellen von Warnschildern oder Arbeiten zum Waldschutz. Die meisten Präventionsmaßnahmen werden durch Förderungen aus dem staatlichen Budget abgedeckt. In der **Schweiz** unterstützen Förderungen für die Landwirtschaft die Erhaltung von Wäldern und Kulturlandschaften. Spezielle Beihilfen sind der Wiederherstellung landwirtschaftlicher Flächen gewidmet, beispielsweise Wiesen, Weiden oder Kastanienalleen. Letztere werden oft in der Nähe von Siedlungen gepflanzt. Sie spielen damit eine Rolle für das Wildland-Urban-Interface und reduzieren die Gefahr der Ausbreitung unkontrollierter Feuer auf den benachbarten Waldbestand.

Nicht nur die Forstpolitik ist für die Verhinderung von Waldbränden von Bedeutung, sondern auch die **Gesetzgebung für den ländlichen Raum**. Landwirte, Waldbesitzer und die Öffentlichkeit müssen miteinbezogen werden, um umfassende Waldbrandmanagementpläne zu erstellen. Da die Ursachen von Waldbränden eng mit dem menschlichen Verhalten zusammenhängen, können andere Bereiche der Gesetzgebung ebenfalls Auswirkungen auf Waldbrände haben. In Ticino, **Schweiz**, führte das Ende der 80er Jahre aus Gründen der Luftqualität erlassene Verbot zum Verbrennen von Gartenabfällen zu einer Halbierung der Zahl unkontrollierter Feuer im darauffolgenden Jahrzehnt.

PROGRAMME ZUR BRANDPRÄVENTION

In **Frankreich** existieren seit ungefähr 20 Jahren die „Plans de Prévention du Risque Incendie de Forêt“, welche zur Entwicklung von Brandrisikokarten geführt haben. Diese Karten werden dazu verwendet, Gebiete abzugrenzen, in denen Neubauten und die Etablierung anderer Aktivitäten nicht gestattet sind. In **Slowenien** werden die Waldbewirtschaftungspläne alle zehn Jahre erneuert und beinhalten ein Kapitel über die Prävention von Waldbränden. Der forstliche Dienst erstellt jährlich Brandpräventionspläne, um Förderungen aus dem staatlichen Budget zu erhalten. In **Österreich** und **Deutschland** gibt es keine spezifischen Programme zur Waldbrandvorbeugung. In **Italien** wurden regionale Präventionspläne durch das nationale Gesetz Nr. 47/1975 (abgeändert durch Nr. 353/2000) eingeführt. Die Brandpräventionspläne müssen alle drei Jahre aktualisiert werden. 2018 wurde das neue italienische Forstgesetz (Nr. 34/2018) verabschiedet, das u. a. die relevanten Aspekte der Brandprävention anführt. Sowohl Artikel 3.2c als auch Artikel 7.1 beinhalten Methoden zum Brennstoffmanagement im Rahmen waldbaulicher Praktiken, wobei den Autorisierungsprotokollen besondere Bedeutung zukommt. Ebenso von Interesse ist Artikel 12. Hier wird festgehalten, dass in Gebieten mit einem hohen Brandrisiko und gleichzeitiger Priorisierung der öffentlichen Sicherheit die lokalen Behörden in Abstimmung mit den Landeigentümern Brennstoff-Managementpläne umsetzen können. Sind diese nicht vorhanden, darf die Bewirtschaftung der Flächen Firmen oder Konsortien zugeteilt werden. Kleinere Pläne zur Brandprävention („operationa“) werden in Italien derzeit nur außerhalb des Alpenraums entwickelt. Eine Übersicht der Integration des Waldbrandmanagements in die Forstpolitik der Alpenregion gibt **Abbildung 14**.

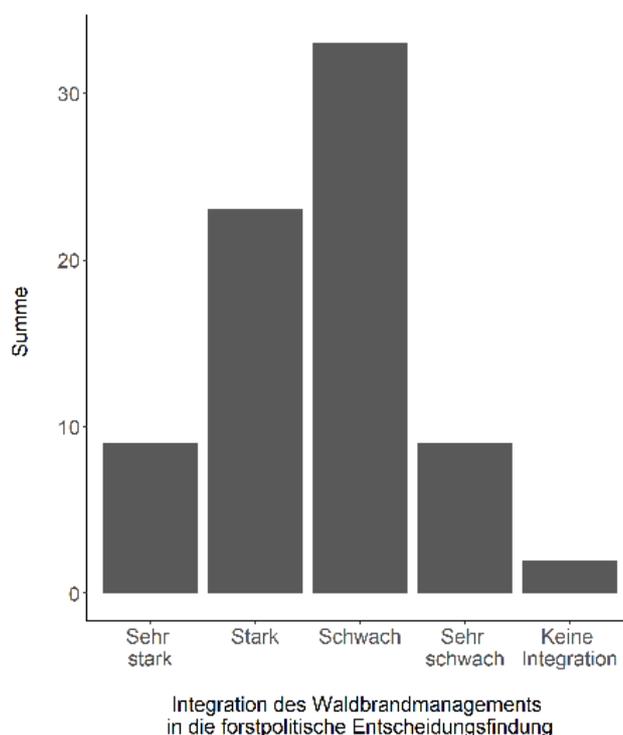


Abbildung 14: Berücksichtigung des Waldbrandmanagements in die Gestaltung der Forstpolitik in der Alpenregion. Die Abbildung zeigt die Werte für alle Länder. Quelle: EUSALP-Umfrage 2019.

2. Aktuelle und zukünftige Herausforderungen

Eine wesentliche Herausforderung des zukünftigen Waldbrandmanagements liegt darin, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Präventionsmaßnahmen, der Brandbekämpfung und Maßnahmen nach Waldbrandereignissen zu finden. Derzeit gilt das Hauptaugenmerk – auch finanziell – der Brandbekämpfung. Speziell in der Alpenregion wird Präventionsmaßnahmen nicht ausreichend Beachtung geschenkt und es gibt zu wenig entsprechende Initiativen. Sie werden allerdings unter dem erwarteten, intensiveren Waldbrandregime notwendig sein.

Eine wichtige **Grundlage für die Identifizierung relevanter Herausforderungen** ist eine **umfassende Dokumentation von Waldbränden in den Alpen**. Derzeit findet eine vollständige Erhebung und Aufarbeitung nur in wenigen Ländern (z. B. in der **Schweiz**) statt. Besonders Kleinbrände werden aus unterschiedlichen Gründen nicht dokumentiert (etwa falsche Klassifizierung oder mangelnde Sichtbarkeit). Sie sind jedoch für eine umfassende Beschreibung des vergangenen und derzeitigen Waldbrandregimes erforderlich. Daneben wäre eine einheitliche Archiv-Datenbank nützlich, um eine alpinweite Kartierung und wissenschaftliche Auswertung von Vegetationsbränden durchzuführen.

2.1. Änderung der ökologischen, sozioökonomischen und politischen Bedingungen

Mehrere Faktoren beeinflussen als Treiber das Waldbrandregime in den Alpen und sind damit als Herausforderung für ein integriertes Waldbrandmanagement zu sehen: Die sich verändernde Umwelt, insbesondere der Klimawandel, sozioökonomische Veränderungen, etwa die Aufgabe ländlicher Gebiete und vermehrte Freizeitaktivitäten, sowie neue politische Strategien, wie die europäische Biodiversitätsstrategie und die geforderte Öffnung der Wälder für neue Nutzer.

KLIMAWANDEL

Die Alpen gehören zu jenen Regionen, die am stärksten vom Klimawandel betroffen sind (Cane et al. 2013; Dupire et al. 2019; Lindner et al. 2010; Pauli et al. 2003; Wastl et al. 2012). In den letzten Jahren gab es in der Alpenregion einige Rekorddürren und Phasen mit außergewöhnlich hohen Temperaturen, beispielsweise der trockenste Juli seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 2013 in **Österreich** oder der extrem heiße Sommer des Jahres 2015 (Müller et al. 2017). Diese Trockenheit führte zu Anomalien beim Auftreten und der Verteilung von Waldbränden (vgl. **Kapitel 1.4**). Je nach angenommenem Klimaszenario ist in den kommenden Jahrzehnten ein Temperaturanstieg von +2 bis +5 °C zu erwarten. Während die Winterniederschläge möglicherweise zunehmen werden, wird es im Sommer wahrscheinlich zu **längeren Hitzewellen** und **Trockenperioden** kommen (Gobiet et al. 2014; IPCC 2014; Trnka et al. 2016). Dadurch steigt die Anzahl der Tage mit hoher Waldbrandgefahr in den Alpen. Dürre kann ebenso zu einer höheren Baumsterblichkeit führen und auf diesem Weg das Gefährdungspotential für Brände erhöhen (Allen et al. 2010; Anderegg et al. 2015; Choat et al. 2018). Gleichzeitig ist eine Zunahme extremer Niederschlagsereignisse zu erwarten. Intensivere Schwankungen zwischen sehr trockenen und sehr feuchten Bedingungen werden künftig zu neuen Herausforderungen bei der Ausrüstung und den taktischen Maßnahmen bei Feuerwehren und Einsatzkräften führen. Eine hinsichtlich Dauer und Oberfläche **reduzierte Schneedecke** wird in Zukunft aus Waldbrandsicht Probleme bereiten, etwa aufgrund größerer Flächen, die durch Winterbrände gefährdet sind.

Im Rahmen des Projektes **FIRIA** (Fire Risk and vulnerability of Austrian forests under the impact of climate change) wurde das zukünftige Auftreten von Waldbränden in Tirol, **Österreich**, abgeschätzt. Hierfür wurde der kanadische Build-Up-Index (BUI) verwendet, eine Subkomponente des FWI, der gut mit dem Auftreten von Sommerbränden in Österreich korreliert (Arapaci et al. 2013). Die Anzahl der Tage in den höchsten BUI-Warnstufen wurde untersucht. Mittels regionaler Klimamodelle (ALADIN, RegCM3 und REMO) durchgeführte Berechnungen haben gezeigt, dass die Anzahl der Tage mit hoher Waldbrandgefahr bis zum Jahr 2100 regional um mehr als 40 Tage zunehmen wird. Selbst Gegenden, in denen bislang kein relevantes Risiko geherrscht hat, werden zunehmend gefährdet sein (Sass 2014). Dies gilt vor allem für alpine Schutzwälder. Die Ergebnisse der Tiroler Studie können auch auf andere Alpenregionen übertragen werden.

Die Intensivierung des Waldbrandregimes in den Alpen wird voraussichtlich innerhalb der nächsten Jahrzehnte erfolgen. Eine rasche und disruptive Veränderung ist wahrscheinlicher als eine allmähliche Umstellung, was bedeutet, dass auf einige schwache oder durchschnittliche Waldbrandsaisonen jeweils ein extremes Waldbrandjahr folgen wird. Wetterbedingungen wie im Jahr 2003 werden um 2030/2040 alle zwei Jahre auftreten (Global and European temperature report 2019; Cane et al. 2013). In den Südalpen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit trockenere und brandgefährlichere Bedingungen zu erwarten, für die Nordalpen ist die Tendenz noch ungewiss. Zahlreiche indirekte Auswirkungen und klimatische Kipp-Punkte könnten weltweit, aber auch in der Alpenregion, den Wandel erheblich beschleunigen (z. B. ein Rückgang des arktischen Eisschildes zusammen mit einem veränderten atmosphärischen Zirkulationsmuster in der nördlichen Hemisphäre).

Die Anzahl der **Blitzentladungen** zwischen Wolke und Erde ist in Mitteleuropa zwar seit einigen Jahren rückläufig, doch die Summe der durch Blitzeinschläge ausgelösten Waldbrände nimmt in den meisten Alpenländern zu (nationale Waldbrand-Datenbanken; Coneda et al. 2006). Eine Studie aus **Österreich** hat gezeigt, dass eine hohe Blitzaktivität nicht mit einer höheren Zahl an Blitzschlagbränden korreliert, aber lokale Trockenheit trotz einer geringeren Zahl an Wolke-Erde-Blitzen zu einem Anstieg der Entzündungen führen kann (Müller et al. 2013).

In den letzten Jahren wurde deutlich, dass sich die Brandsaisonen verschieben und verlängern oder sogar neue Gefahrenzeiträume entstehen können (Müller et al. 2015; Schunk et al. 2013). So haben die Jahre 2011, 2015 und 2018 gezeigt, dass Brände im Spätherbst und Winter immer relevanter werden. Während unkontrollierte Vegetationsbrände in der kalten Jahreszeit meist nur begrenzte Auswirkungen auf Waldgesellschaften haben, führen Sommerbrände unter sehr trockenen Bedingungen zu einer hohen Mortalitätsrate (Dupire et al. 2019).

SOZIOÖKONOMISCHE TREIBER DES WALDBRANDREGIMES

Abgesehen vom Klimawandel muss das Hauptaugenmerk hinsichtlich des zukünftigen Waldbrandregimes auf den menschlichen Einfluss gelegt werden. Aufgrund der zunehmenden Nutzung der Wälder für Freizeitaktivitäten und mehr Touristen steigt die Zahl potentieller Zündquellen. Durch die Verlängerung der Vegetationszeit kommen die Waldbesucher früher im Jahr und verbleiben länger. Daneben können Landflucht und die Abnahme der Bewirtschaftung von Kleinwäldern sowie die damit verbundene Zunahme an Totholz die Intensität von Waldbränden und das Risiko von Kronenfeuern erhöhen (Agee et al. 2000).

Die **Aufgabe ländlicher Gebiete** ist in **Frankreich** und **Italien** der wichtigste Treiber von Großbränden. Neben der Klimaerwärmung sind die Mengenzunahme und die Veränderung der Struktur des Brennmaterials die wesentlichen, sich verändernden Faktoren. Durch die Aufgabe ländlicher Gebiete geht Weideland verloren, womit sich kultivierte

Flächen in brandanfälliges Buschland verwandeln. Aber auch das unkontrollierte Abbrennen von Weideland nimmt zu (Pezzatti et al. 2013). Gesetzliche Regelungen, welche die unterschiedlichen Interessen betroffener Gruppen berücksichtigen, sind erforderlich, um illegales Verhalten sowie heimliche – und damit brandgefährliche – Nutzungen von Feuer zu vermeiden. Darüber hinaus ist eine **alternde ländliche Bevölkerung** bei Brandereignissen einer höheren Gefährdung ausgesetzt. In den Südalpen wird in Zukunft der Erhaltung des Waldes und seiner Infrastruktur (Wasserverfügbarkeit, Zugänglichkeit des Waldes, Brennstoffkontrolle, Straßenerhaltung) eine entscheidende Rolle zukommen. Maßnahmen zur Sicherstellung der Waldinfrastruktur sind auch für Erntezwecke oder touristische Aktivitäten nötig. **Tourismus und Freizeitaktivitäten** stellen die wichtigsten sozioökonomischen Treiber für Waldbrände in **Deutschland, Liechtenstein, Österreich** und der **Schweiz** dar (**Abbildung 15**).

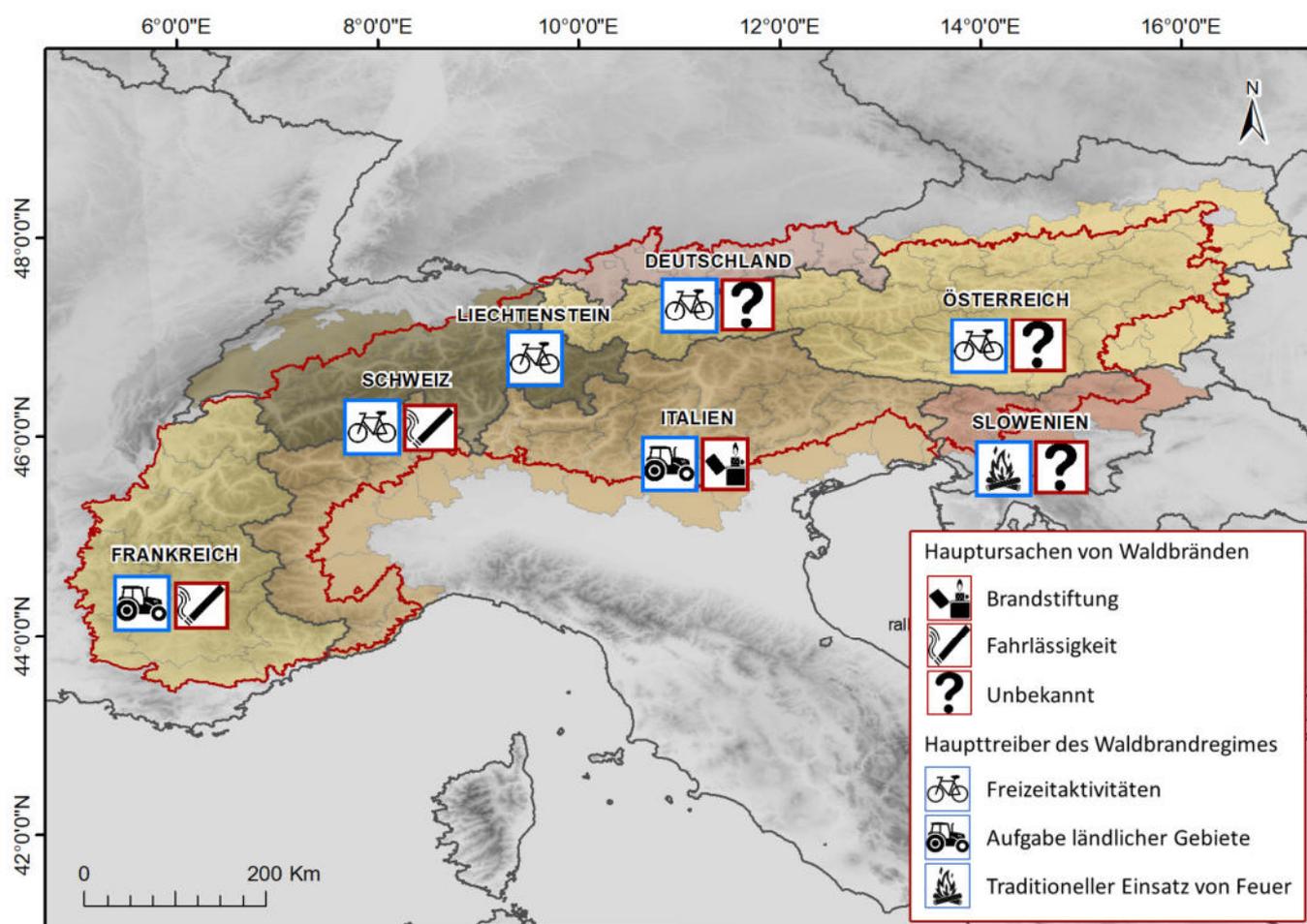


Abbildung 15: Hauptursachen unkontrollierter Vegetationsbrände und maßgebliche Treiber des Brandregimes in den Alpenländern. Quelle: Nationale/Regionale Datenbanken, EUSALP-Umfrage 2019.

Ein weiteres Thema, das in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird, ist die Bedrohung für das **Wildland-Urban-Interface (WUI)**. Dabei handelt es sich um jene Zone, in der urbane Flächen (Gebäude, Geschäfte, kritische Infrastrukturen) direkt an Wald und offene Vegetation grenzen. Solche Bedingungen können häufig im Umland von Großstädten oder am Rand von Siedlungen beobachtet werden, oft infolge des Wunsches der Bevölkerung nach mehr Naturnähe. Bei Bränden in Schutzwäldern sind daher nahegelegene, expandierende Stadtgebiete besonders gefährdet. Früher waren die meisten Dörfer in den Alpen von Kultur- oder Weideland umgeben. Besonders in den Südalpen wurden diese Wiesen und Felder zum Großteil aufgegeben. Es entwickelte sich eine rasch entflammbare Vegetation, wodurch auch eine höhere Brandgefahr resultiert. In Ländern wie den USA oder Australien ist das Problem des WUI hinlänglich bekannt. Auch in Südeuropa haben sich viele Waldbrände erst dann zu Katastrophenereignissen mit zahlreichen Toten entwickelt, als die Flammen auf bewohnte Gebiete oder Verkehrsverbindungen übergegriffen haben.

In der Alpenregion wird das Thema des Wildland-Urban-Interface noch kaum diskutiert. Jüngste Waldbrandereignisse (z. B. Absam 2014 oder Lurnfeld 2015 in **Österreich**) haben gezeigt, dass Kronenfeuer unter dem Einfluss von Starkwind kaum kontrollierbar sind und die hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit eine Gefahr für Mensch, Infrastruktur und Siedlungen darstellt. Wenn Hauseigentümer ihr Heim direkt am Waldrand oder sogar im Wald errichten, unterschätzen sie – speziell in feuergefährdeten Wäldern – dieses Risiko. Ein aktuelles Beispiel für ein solches Szenario ereignete sich im August 2018 in **Ostdeutschland**, als ein Bahndamm in der Nähe von Siegburg durch Funkenflug in Brand geriet. Die Flammen griffen auf die angrenzende Siedlung über, beschädigten acht Gebäude und hinterließen 32 verletzte Personen (Extra-Blatt 2018).

NEUE POLITISCHE STRATEGIEN

Bestehende und angestrebte neue politische Strategien, Gesetze und Richtlinien werden im Alpenraum zu möglichen Konflikten und verstärkt notwendigen Kompromissen bei der Nutzung natürlicher Ressourcen führen. Die Forderungen, vorhandene Holzreserven zu nutzen und die **Bioökonomie** zu stimulieren, müssen gegen die Erhaltung der Biodiversität und den Schutz von Lebensräumen abgewogen werden. **Zahlreiche Nutzergruppen** drängen vermehrt in die heimischen Wälder, beispielsweise Mountainbiker und Kletterer. Durch eine Öffnung und die Zurverfügungstellung von Infrastruktur können sich neue potenzielle Zündquellen oder/und gefährdete Gebiete ergeben. Die europäische Biodiversitätsstrategie und der damit zusammenhängende **Biodiversitätsgedanke** sind einer der Gründe für die Empfehlung, möglichst viel Totholz im Bestand zu belassen. Eine solche Maßnahme kann jedoch das Ausbreitungspotenzial und die Intensität von Waldbränden erhöhen. Aus Richtung des **Naturschutzes** kommt mitunter die Forderung, das Wegenetz im Wald zu reduzieren. Fehlende oder unzureichende Forststraßen können jedoch bei der Waldbrandbekämpfung zu Problemen führen. Daneben kann eine **Einstellung der Beweidung**, z. B. aufgrund zu geringer Förderungen für die Almbewirtschaftung, zu einer verstärkten Verbuschung und damit erhöhter Brandgefahr führen, wie es bereits in den Südalpen der Fall ist.

Angesichts der genannten Veränderungen bei den maßgeblichen Treibern des alpinen Waldbrandregimes werden die **Häufigkeit, Ausdehnung und Intensität von Waldbränden voraussichtlich zunehmen**. Daraus ergeben sich unter anderem höhere Kosten für die Waldbrandbekämpfung, etwa durch häufigere und längere Hubschraubereinsätze. Bei mehreren Großbränden zur gleichen Zeit könnte es in Zukunft zu einem **Engpass** bei der Verfügbarkeit von **Helikoptern** kommen, was eine effektive Brandbekämpfung in den Alpen erschwert. Eine größere Zahl intensiver Brände bedeutet auch höhere Wiederherstellungskosten für die betroffenen Waldflächen und führt zu mehr und kostenintensiveren Sicherungsmaßnahmen gegen Folgegefahren wie Erosion, Steinschlag, Lawinen oder Muren.

2.2. Präventionsmaßnahmen

Wesentliche Herausforderungen im Gebiet der Prävention von Waldbränden liegen in der Erstellung von Waldbrand-Risikokarten, einer adaptierten Waldbewirtschaftung, Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung und einer verbesserten Abschätzung der aktuellen Feuergefahr.

LANGFRISTIGE PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Um geeignete Aktivitäten und Maßnahmen für die langfristige Vorbeugung von Waldbränden zu entwickeln, müssen zunächst die **Hotspots** für das Auftreten von Waldbränden identifiziert werden. **Waldbrand-Risikokarten** mit Informationen zum erwarteten Feuerverhalten, den Brandursachen (Mensch und Blitzschlag) und der Vulnerabilität (bedrohte Infrastruktur, Siedlungen und potenzielle Schäden) gibt es nur in manchen Alpenländern, beispielsweise in der **Schweiz**. Für die Modellierung des Brandverhaltens auf lokaler Ebene und damit die Identifizierung gefährdeter Waldtypen benötigt es einen kombinierten Ansatz unter Berücksichtigung von Vegetation und topographischen Effekten. In **Österreich** wurden unlängst erste Versuche zur Einbeziehung von Vegetation, Topographie und potentiellen Brandauslösern für eine landesweite Risikobewertung gestartet. Derzeit ist die Vulnerabilität noch nicht berücksichtigt. In **Italien** muss jede Region im Rahmen lokaler Brandmanagementpläne Risikokarten erstellen. Es gibt jedoch keinen nationalen Standard für die Risikobewertung auf lokaler Ebene. Daher variieren die Methoden von Region zu Region. Ältere Einschätzungen beruhen hauptsächlich auf empirischen Ansätzen. Für die aktuelle Generation der Risikokarten erfolgt die Beurteilung mittels Simulationen des Brandverhaltens, über die Ökosystemleistungen des Waldes sowie über die Abschätzung der Vulnerabilität gefährdeter Personen und kritischer Infrastrukturen. In **Slowenien** muss jede Region in lokalen und nationalen Waldplänen Risikokarten erstellen, welche das Brandverhalten und die Ursachen von Bränden beinhalten und hauptsächlich auf empirischen Ansätzen basieren. Die Methoden zur Definition der Waldbrand-Risikostufen werden in den Waldschutzverordnungen geregelt.

Für die **forstwirtschaftliche Planung** ist es essentiell, aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse einzubeziehen. Eine **Veränderung der Baumartenzusammensetzung** in stark feuergefährdeten Gebieten ist ein guter Weg, um die brandhemmende Wirkung und Resilienz des Waldes zu erhöhen. Die Baumartenwahl wird jedoch wesentlich durch die Standortbedingungen und die Interessen der Waldeigentümer bestimmt. Darüber hinaus sind manche Arten feuerresistenter als andere (Dupire et al. 2019). Auf der Brandfläche am Jochberg in **Deutschland** (vgl. **Tabelle 2**) wurde erneut die Waldkiefer als Hauptbaumart gewählt, da sie an die lokalen Bedingungen gut angepasst ist und sich die vorhandenen Bäume als überraschend feuertolerant erwiesen haben. Der **Mangel an Standortkarten**, welche auch die in Zukunft veränderten Niederschlags- und Temperaturbedingungen in den Alpen berücksichtigen, stellt für die lokale Auswahl geeigneter Baumarten eine Herausforderung dar. Neben der Entscheidung für die richtigen Baumarten ist es wichtig, Kleinwaldbesitzer zu informieren, andere Risikobewertungen in die forstliche Planung zu integrieren (z. B. Klimawandelszenarien, invasive Pflanzen) und in Gebieten mit hoher Entzündungsgefahr die Rückstände nach Forstarbeiten zu entfernen. Gezielte waldbauliche Brandschutzmaßnahmen werden in der Alpenregion nur sporadisch umgesetzt. **Fichtenreinbestände** auf Laubholzstandorten sind anfällig für verschiedene Schadfaktoren und zeigen eine geringe Resistenz hinsichtlich der prognostizierten klimatischen Änderungen im Rahmen der globalen Erwärmung (Ganthaler et al. 2014; Lexer et al. 2014). Darüber hinaus enthalten Fichtenwälder wesentlich höhere Brennstoffmengen als Kiefernwälder, wodurch potentielle Waldbrände höhere Intensitäten erreichen und sich rascher zu Kronenfeuern entwickeln können (Arpaci et al. 2013). Aus **Deutschland** gibt es Beispiele, bei denen das Unterholz von Kiefernbeständen durch Laubholzarten ersetzt worden ist. Dadurch konnte eine positive Änderung des Waldklimas und eine Reduktion der Entzündbarkeit erreicht werden (Otto 1980). Die Ergebnisse dieser Studie

stammen aus dem Tiefland von Niedersachsen, das weit von den Alpen entfernt liegt. Eine Übertragung der Ergebnisse auf den Alpenraum ist daher nur bedingt zulässig.

Brandschutzschneisen/-streifen und/oder **Wundstreifen** sind in gefährdeten Gebieten mit häufigen Bränden sinnvoll. Für die Südalpen betrifft das neben Waldkiefernbeständen auch Laubholzwälder, Busch- und Grasland, am Alpenostrand die Schwarzkiefernwälder. In alpinen Gebieten, speziell im steilen Gelände, wurde diese Maßnahme bislang aufgrund der hohen Durchführungskosten und der potentiellen Gefahr von Erosion, Steinschlag und möglichen Windwürfen kaum umgesetzt.

Biotische und abiotische **Störungen** sind in den Wäldern der Alpen bereits ein zentrales Thema. So hat der Borkenkäferbefall in Fichtenbeständen in den letzten Jahren zugenommen und wird in immer höheren Lagen beobachtet. Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Störungen können auch das Brandregime beeinflussen. Beispielsweise werden mehr Brände auf Kahlschlag- oder Windwurfflächen beobachtet, was mit dem veränderten Mikroklima und der erhöhten Verfügbarkeit von leicht brennbarem Material zusammenhängt.

Probleme ergeben sich auch durch die **Eigentümerstruktur** der alpinen Wälder. Etwa 50 % der gesamten Waldfläche in den Alpen sind Kleinwaldbesitzern zuzurechnen, die im Schnitt weniger als fünf Hektar besitzen. Manchen Waldeigentümern fehlt die nötige Expertise für die Bewirtschaftung, was zu einer extensiven Bewirtschaftung oder teilweise ungeeigneten Pflegemaßnahmen führt. Dabei ist es besonders schwierig, Kleinwaldbesitzer von der Notwendigkeit präventiver Schritte zur Vermeidung von Waldbränden zu überzeugen. Selbst die Bedeutung von prophylaktischen Maßnahmen nach Borkenkäferbefall oder Sturmereignissen sind für viele Waldeigentümer oft nur schwer zu vermitteln.

Derzeit sind nur wenige nationale und regionale Forsttechniker, Entscheidungsträger oder Wissenschaftler in internationalen **Multi-Stakeholder-Gremien** für Waldbrandpräventionsstrategien vertreten. Die Gründe hierfür sind vielfältig, etwa ein Mangel an verfügbarem Personal, hohe Reisekosten und Sprachschwierigkeiten (internationale Veranstaltungen finden meist in englischer Sprache statt). Da das Wissen und Bewusstsein zu Waldbränden im Alpenraum in der Bevölkerung gering sind, stellt auch die **Bewusstseinsbildung** einen wesentlichen Aspekt der langfristigen Waldbrandprävention dar. Es besteht ein hoher Bedarf an integrierten Methoden mit Bottom-up-Ansatz, die idealerweise in den Schulen beginnen. Das Wissen zu Maßnahmen der Waldbrandprävention und das richtige Verhalten im Wald bei hoher Brandgefahr müssen in der Bevölkerung den Status der Allgemeinbildung erlangen.

KURZFRISTIGE PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Ein wesentliches Element der kurzfristigen Vorbeugung von Waldbränden sind **Abschätzungen der aktuellen Waldbrandgefahr**. Die Erstellung einer länderübergreifenden Gefahrenkarte für die Alpenregionen, welche sämtliche Bedürfnisse abdeckt, erscheint allerdings unrealistisch. Abschätzungen der Waldbrandgefahr in so kleinstrukturierten Landschaften wie den europäischen Alpen sind mit zahlreichen technischen und konzeptionellen Schwierigkeiten verbunden. Bei regionalen Wettermodellen ist eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km der aktuelle Stand der Technik. Diese Auflösung reicht jedoch nicht aus, um die Auswirkungen von engen Tälern, Bergen und Nord-/Südhängen auf Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Wind und Sonneneinstrahlung darzustellen (Carrega 1995). Bei Verwendung eines solch groben Rasters entsteht ein unzureichendes Bild zum Feuchtigkeitsgehalt des Brennmaterials am Boden, dem wesentlichen Aspekt einer potentiellen Entzündung (Schunk et al. 2013). Für Modelle mit sehr hoher Auflösung fehlen die Daten oder sie sind kompliziert zu interpretieren. Aber nicht nur die atmosphärischen

Bedingungen und die Topographie spielen eine wichtige Rolle bei der Feuchtigkeit des Brennmaterials. Auch der **Vegetationstyp** und die Vegetationsstruktur, die Baumarten, der Totholzgehalt, die Bodenbedeckung und der Bodentyp verändern die Feuchtigkeit (Carrega und Geronimo 2007; Schunk et al. 2013). Derzeitige Systeme zur Abschätzung der Brandgefahr beziehen meist keine Vegetationsparameter mit ein. In **Deutschland** werden für den Waldbrandgefahrenindex (WBI) drei Waldtypen mit nominell unterschiedlichen Boden- und Vegetationsparametern eingesetzt. Für den alpinen Teil Deutschlands wird jedoch nur ein Waldtyp verwendet. In einigen häufig von Bränden betroffenen Subregionen der **Schweiz** wird der von De Angelis et al. (2015) vorgeschlagene Ansatz des FireNiche-Index erfolgreich umgesetzt. Auf nationaler Ebene findet für die Abschätzung der Waldbrandgefahr das kanadische FWI-System Verwendung.

Derzeit werden bei Abschätzungen zur Waldbrandgefahr **potentielle Auslöser von Bränden** nicht berücksichtigt. San-Miguel-Ayaz et al. (2018) haben gezeigt, dass in einem integrierten System zur Abschätzung der Brandgefahr auch **soziale Auswirkungen** und die räumliche Verteilung von **kritischen Infrastrukturen** (etwa mögliche Todesopfer, potenziell gefährdete Siedlungen, wichtige Verkehrswege) einbezogen werden sollten. Eine Risikoabschätzung, die von der Bevölkerungsdichte, Touristenzahl, dem Wochentag, der Entfernung zu Straßen, der Vegetationsstruktur usw. beeinflusst wird, ist schwierig zu interpretieren und zu parametrisieren – zumindest im Nordalpenraum, wo wenige Großbrände auftreten.

Ein kritischer Punkt bei den derzeit in der Alpenregion verwendeten Modellen zur Abschätzung der Brandgefahr ist ihre **schlechte Eignung für die Wintersaison** und den Vorfrühling. Südseitige Hänge sind aufgrund höherer Temperaturen und stärkerer Sonneneinstrahlung früher schneefrei. Zusammen mit dem toten, feinorganischen Material des Vorjahres (Gras, Laub, Nadelstreu) ergibt sich eine oft frühere und höhere Entzündungsgefahr als auf Nordhängen. In der Alpenregion spielen auch das Auftreten von Inversionswetterlagen mit höheren Temperaturen und trockeneren Bedingungen über der Nebelgrenze eine entscheidende Rolle. Mittels Stationsdaten aus den Tälern lässt sich hier die reale Waldbrandgefahr nicht abbilden. Generell lassen sich diese Winterphänomene mit Waldbrandgefahrenindizes wie dem kanadischen FWI nur unzureichend beschreiben, da sie nicht für die Verwendung während der kalten Jahreszeit vorgesehen sind (Van Wagner 1987).

Es genügt nicht, Waldbrand-Gefahrenkarten zu erstellen und sie über das Internet zu verbreiten – die **Information muss effektiv übermittelt werden**. Die technischen Aspekte (Gefahrenbeurteilung) sollten von der Umsetzung (Übersetzung in Warnstufen, praktische Maßnahmen, Weitergabe an alle potentiellen Anwender) getrennt behandelt werden. Auch andere Punkte sind zu berücksichtigen, beispielsweise in welcher Form ausländische Personen (z. B. Touristen) informiert werden können. Sprachliche Hindernisse führen dazu, dass Menschen uninformatiert sind und sich falsch verhalten. Zu beachten ist ebenfalls, dass in der Alpenregion die Tendenz besteht, die größtmögliche Brandgefahr auszurufen (v. a. durch die Medien), wodurch die **Gefahr der Überwarnung** großer Gebiete entsteht.

KOSTEN

Die Kosten für Waldbrand-Präventionsmaßnahmen sind in der Alpenregion aufgrund des Mangels an flächendeckenden Daten schwierig zu berechnen. Sie werden jedoch im Vergleich zu den Aufwendungen für Brandbekämpfung und Post-fire-Management als vergleichsmäßig gering eingeschätzt. Allerdings werden die Kosten aufgrund der erforderlichen Änderungen des Waldbrandmanagements und einem stärkeren Fokus auf Präventionsstrategien zukünftig deutlich zunehmen und vermutlich die Ausgaben für die Brandbekämpfung übersteigen. Die Autoren der vorliegenden Studie gehen davon aus, dass in Zukunft für die Reduktion der

Auswirkungen eines intensiveren Waldbrandregimes in den Alpen jährliche Kosten von mindestens **5-7 Mio. Euro** für Brandpräventionsmaßnahmen anfallen werden (vgl. **Kapitel 3**). Diese Geldmittel sind zwischen den Alpenländern je nach angenommener zukünftiger Bedrohung und dem Bedarf an Präventionsmaßnahmen aufzuteilen.

2.3. Waldbrandbekämpfung

Da die Anzahl der Tage mit hoher Waldbrandgefahr und das Ausmaß sowie die Intensität von Bränden im Alpenraum voraussichtlich zunehmen werden, stellen die vorbereitende und die direkte Brandbekämpfung wesentliche Aspekte des zukünftigen Waldbrandmanagements dar.

VORBEREITENDE MASSNAHMEN ZUR WALDBRANDBEKÄMPFUNG

Der stete Anstieg der Waldfläche im Alpenraum ist nicht immer im Interesse der Feuerwehren. Allerdings ist die Dichte des **Forststraßennetzes** verglichen mit anderen Teilen Europas als gut anzusehen. Benötigt werden jedoch Verbesserungen bei der Befahrbarkeit (Planungsbreite von Forststraßen, Wendemöglichkeiten) oder den Zufahrtsmöglichkeiten für Feuerwehrfahrzeuge (z. B. vorhandene Schranken). Beide Aspekte verursachen bereits häufig Probleme. Ein weiterer wesentlicher Teil der vorbereitenden Waldbrandbekämpfung ist die Sicherstellung der **Wasserversorgung**. In manchen Regionen wurden Wassertanks und Teiche angelegt oder zusätzliche Hydranten installiert. Durch die fehlende flächendeckende Verfügbarkeit von Risikokarten in der Alpenregion ist jedoch besonders in abgelegenen Gebieten oft nur wenig Wasser für Löscharbeiten verfügbar. Auch alpine Seen oder künstliche Teiche von Beschneiungsanlagen sind nicht immer rasch und einfach zu erreichen. **Waldbrandübungen der Feuerwehren** weisen regionale Unterschiede auf. Wichtig ist, dass die Einsatzkräfte auch lernen, das Verhalten eines Feuers zu verstehen. Eine verbesserte Ausbildungsstrategie kann Zeit und Geld sparen und führt zu einem geringeren Verletzungsrisiko während des Einsatzes. Realistische Brandszenarien sind nicht einfach zu trainieren, aber wesentlich für die Ausbildung. Es ist notwendig, die Einsatzkräfte auf extreme Bedingungen vorzubereiten, beispielsweise mehrere Großbrände in räumlicher Nähe oder ein eruptives Brandverhalten auf Berghängen und in Schluchten.

DIREKTE WALDBRANDBEKÄMPFUNG

In den letzten Jahren und Jahrzehnten hat sich das Feuerwehrwesen in der Alpenregion laufend weiterentwickelt. Analysen nach extremen Brandereignissen haben zu einer Verbesserung der Einsatztaktiken, Einsatzabläufe und der Brandbekämpfung geführt. Man kann davon ausgehen, dass Waldbrände heute schneller und effektiver bekämpft werden als noch vor zwanzig oder dreißig Jahren. Verglichen mit anderen europäischen Ländern sind die Ressourcen für die Brandbekämpfung im Alpenraum erheblich und übersteigen die verfügbaren Mittel der meisten Länder weltweit. Dies zeigen auch aktuelle Waldbrandstatistiken, die einen lokalen Anstieg bei der Summe an Waldbränden, aber auch einen Rückgang hinsichtlich der durchschnittlichen Größe von Bränden vermuten lassen.

In **Italien** kam es nach 2016 zu einer umfangreichen institutionellen Restrukturierung, da die Corpo Forestale mit den Carabinieri fusioniert und Kompetenzen zu den Feuerwehren verschoben wurden. Dies führte in manchen Regionen durch den Verlust der Koordination hinsichtlich staatlicher Luftunterstützung und durch Unklarheiten bei den Zuständigkeiten zu organisatorischen und politischen Problemen. Eine weitere Schwierigkeit in Italien besteht darin, dass die normale Feuerwehr mit gewöhnlicher Notfall-Kombi-Ausrüstung und TLFs ausgestattet ist, aber keine spezielle Ausrüstung und Fahrzeuge für die Bekämpfung von Waldbränden besitzt. Dieses Problem ist auch aus **Österreich, Deutschland** und der **Schweiz** bekannt, insbesondere was die **Bekleidung** der Feuerwehrleute betrifft. Die

normalen Einsatzuniformen wurden für die Bekämpfung von Gebäudebränden entwickelt. Bei Waldbränden im Sommer kann Hitzestau zu Kreislaufproblemen führen. Auch die eingeschränkte Mobilität stellt im schwierigen Gelände eine Herausforderung dar. Dies führt mitunter zu einer Brandbekämpfung in „Shirts und Shorts“ und damit erhöhter Verletzungsgefahr.

Durch Blitzschläge verursachte Waldbrände treten oft im steilen, unzugänglichen Gelände auf, was die Brandbekämpfung erschwert oder sogar lebensgefährlich werden lässt. Geländeformen wie **Schluchten** oder Steilhänge können unberechenbare Auswirkungen auf das Brandverhalten und die Sicherheit der Einsatzkräfte haben (z. B. sind Löschunfälle mit zahlreichen Verletzten aus Portugal bekannt). Dasselbe gilt für **starken Wind** oder die plötzliche Änderung der Windrichtung – im Alpenraum nichts Ungewöhnliches. Zuletzt können auch die vorhandenen Baumarten und die **Veränderung der Vegetationsstruktur** eine Gefahr für die Feuerwehrleute darstellen, beispielsweise wenn sich ein Bodenfeuer schlagartig in ein Kronenfeuer verwandelt oder wenn Nadelbäume aufgrund ihres hohen Harzgehaltes regelrecht explodieren. Durch eine große **Totholzmenge** sind weitere Probleme möglich, etwa Sekundärbrände, wenn brennendes Totholz oder Baumteile den Hang hinunterrollen. Dies beeinträchtigt auch die Sicherheit der Feuerwehrleute und es kommt zu erschwerten Bedingungen während der Aufräumarbeiten.

Die Effizienz und der Umfang von **Hubschraubereinsätzen** bei Waldbränden sind ein häufiges Diskussionsthema. In der Alpenregion ist die Verwendung von Helikoptern zur Aufklärung, Eindämmung und Bekämpfung von Waldbränden von großer Bedeutung, da Flugzeuge aufgrund der engen Täler und steilen Hänge meist nicht geeignet sind. Wenn der Brand für die Feuerwehrleute am Boden schwer zugänglich ist, kann ein rascher Einsatz aus der Luft die Ausbreitung wesentlich beeinflussen. In manchen Alpenregionen verursachen **bürokratische Hürden** bei der Anforderung von Luftunterstützung Probleme. Der Einsatz von Hubschraubern zur Brandbekämpfung kann **hohe Kosten für Maschinen und Personal** verursachen, die nicht immer von der Bundes- oder Landesregierung übernommen werden (**Abbildung 16**). Ein laufendes Monitoring sollte eingerichtet werden, um nicht adäquate Lufteinsätze zu vermeiden. Eine weitere Herausforderung sind die in manchen Ländern geltenden Nachtflugverbote (z. B. **Österreich, Schweiz**). Auch die Erstattung für **direkte Einsatzkosten** wie Treibstoff, Verpflegung der Crew oder beschädigtes Equipment ist nicht überall klar geregelt und bedarf der Verbesserung.

Aktuelle und zukünftige Herausforderungen bei der Waldbrandbekämpfung

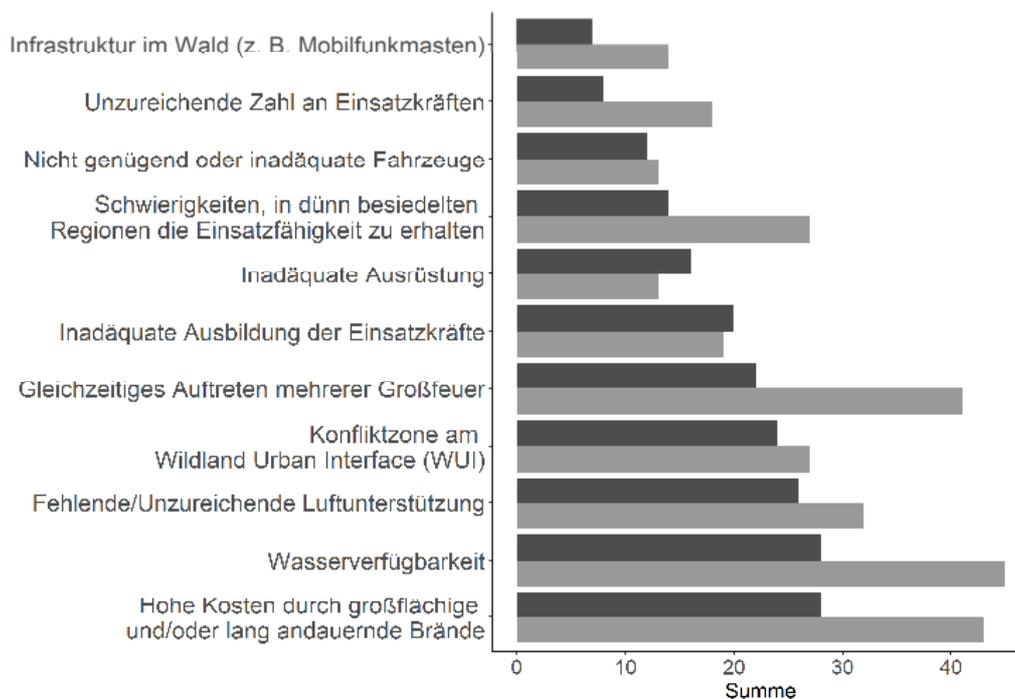


Abbildung 16: Aktuelle (dunkelgrau) und zukünftige (hellgrau) Herausforderungen bei der Waldbrandbekämpfung in der Alpenregion, ermittelt durch die Teilnehmer der EUSALP-Umfrage 2019. Dargestellt sind die Werte für alle Länder.

Von den Feuerwehren werden mehr **technische Expertenteams** mit einem hohen Ausbildungsniveau gefordert, da diese in der Lage sind, einen Brand zu analysieren und sein Verhalten vorherzusagen, was in steilen Gebirgsregionen ein entscheidender Vorteil ist. Der Einsatz von **taktischen Feuern** hängt vom Land und der Region ab und sollte nur durchgeführt werden, wenn genügend Wissen und Erfahrung vorhanden ist. In manchen Gegenden ist die junge Feuerwehrgeneration schlecht mit dem ländlichen Gebiet und dessen Bewirtschaftung vertraut, was bei der Brandbekämpfung im steilen, unwegsamen Gelände zu Schwierigkeiten und Verletzungen führen kann. In **dünn besiedelten Gebieten**, in denen Migration und Landflucht ein Thema sind (z. B. Teile **Frankreichs**, nördliches **Österreich**), kämpfen die Feuerwehren um die Erhaltung ihres Personalstandes. Die Anzahl der Feuerwehrmitglieder sinkt aufgrund altersbedingter Pensionierungen und einem Mangel an neuen Einritten, wodurch die effektive Weiterführung einer Freiwilligen Feuerwehr nicht mehr möglich ist.

KOSTEN

Ein Großteil der relevanten Regierungsgelder in der Alpenregion fließt in die direkte oder indirekte Bekämpfung von Waldbränden. Hohe Ausgaben finden sich etwa in **Frankreich, Italien** und **Österreich**. Taktiken mit Luftunterstützung durch Helikopter stellen einen wesentlichen Kostenpunkt dar, werden aber häufig eingesetzt und sind im steilen und unwegsamen Gelände eine Notwendigkeit. Laut Berechnungen der Universität für Bodenkultur in Wien betragen die durchschnittlichen Kosten der direkten Brandbekämpfung im Alpenraum derzeit etwa **45 Mio. Euro** pro Jahr. Um diese Kosten zu senken, und entsprechend der Annahme der Autoren dieser Studie, sind in Zukunft auf alpiner Ebene

mindestens **1,5-2,5 Mio. Euro** (5 % der aktuellen direkten Kosten) an jährlichen Investitionen erforderlich (vgl. **Kapitel 3**). Diese Mittel werden die einzelnen Alpenländer anhand der aktuellen und für die Zukunft vermuteten Brandauswirkungen aufbringen müssen.

2.4. Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden

Zu den derzeitigen und zukünftigen Herausforderungen im Bereich des Post-fire-Managements zählen die Schwierigkeiten bei der Baumartenwahl in der Aufforstung, der Schutz vor Naturgefahren, das Management von Wildtieren, der Umgang mit Neophyten und ein umfangreiches Monitoring von Brandflächen.

AUFFORSTUNG UND BAUMARTENWAHL

In klimatisch oder topografisch benachteiligten Lagen werden Aufforstungsmaßnahmen nach Waldbränden aufgrund des Klimawandels schwieriger werden. Manche Baumarten mögen unter den jetzigen Bedingungen für die Aufforstung an einem bestimmten Standort geeignet sein. Dies kann sich aber ändern, wenn die Temperaturen ansteigen und es zu einer Veränderung der Niederschlagsmuster kommt. Die Herausforderung besteht darin, vorausschauend zu erkennen, welche Arten in Zukunft für einen bestimmten Brandort geeignet sind. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Artenzusammensetzung das Auftreten und die Intensität zukünftiger Waldbrände beeinflussen wird (vgl. **Kapitel 1.6.1** und **2.2**).

SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN

In der Alpenregion hat die Schutzfunktion des Waldes höchste Priorität, da eine Zerstörung gravitative Naturgefahren wie Erosion, Steinschlag und Lawinen sowie Sturzfluten und Muren begünstigen kann (Gehring et al. 2019; Maringer et al. 2016a; Sass et al. 2019). Je nach Lokalität (geologisches Ausgangssubstrat, Boden, Hangneigung, Topographie), Vegetation (Arten, Bestandesstruktur, Altersklassen), Intensität des Brandes und den getroffenen waldbaulichen Maßnahmen, ergeben sich unterschiedliche Sukzessionspfade und Zeitspannen bis zur Wiederherstellung des Waldes. Sofern die organische Bodenschicht aufgrund intensiver Schwelbrände verloren geht (oder im Zuge der Löscharbeiten entfernt wird), kann dies zu langfristigen Schäden und einer **fehlenden Waldbedeckung für Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte** führen. Aufgrund der erwarteten Zunahme intensiver Waldbrände in der Alpenregion ist dadurch die Schutzfunktion der Wälder gefährdet und es besteht ein erhöhtes Risiko von Naturgefahren. Darüber hinaus ist künftig mit deutlich **höheren Kosten** im Rahmen der Aufforstung zu rechnen. Dies betrifft einerseits die Renaturierung von Brandflächen nach Bodenverlust und beim Auftreten von gravitativen Gefahren, andererseits auch künstliche Schutzbauten, welche die Schutzfunktionen des Waldes temporär übernehmen müssen.

MONITORING UND FALLSTUDIEN

Derzeit werden in der Alpenregion nur auf wenigen ausgewählten Brandflächen detaillierte Monitoringprogramme oder Untersuchungen in Form von Fallstudien durchgeführt. Wissen zum Brandverhalten, den Auswirkungen von Feuern und der Regeneration nach Bränden ist jedoch unverzichtbar, um Vegetationsbrände in den Alpen zu verstehen und die Auswirkungen eines intensiveren Waldbrandregimes antizipieren zu können. Künftige Herausforderungen finden sich auch im Zusammenhang mit der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens nach Bränden, der Rauchentwicklung und damit verbundener gesundheitlicher Fragen, der Vitalität betroffener Wälder sowie der Überlebenschancen einzelner Baumindividuen (Bär et al. 2018; Bär et al. 2019).

WILDTIERMANAGEMENT

Wildverbiss an Jungwuchs stellt auf Brandflächen ein erhebliches Problem dar, z. B. auf der Brandfläche von 2014 in Absam, **Österreich** (vgl. **Tabelle 2**). Die Regulierung der Schalenwildbestände ist eine in Zukunft vordringliche Aufgabe. Wildbestände sind so zu gestalten, dass Schutzmaßnahmen für den Wald nicht die Regel werden, sondern die Ausnahme bleiben. Die Herausforderungen durch einen steigenden Wilddruck könnten speziell in der kalten Jahreszeit zunehmen. Für Reh-, Rot- und Gamswild verschlechtert sich der Zustand der Wildtierlebensräume, einerseits durch geänderte klimatische Bedingungen und andererseits durch eine höhere Stressbelastung durch Waldbesucher.

NEOPHYTEN

Das Problem der Einwanderung von Neophyten auf Brandflächen sollte nicht unterschätzt werden, speziell angesichts des sich wandelnden Klimas, das neue Pflanzenarten fördern kann. Einerseits müssen Neophyten als negativer Faktor betrachtet werden, weshalb ein laufendes Monitoring für das Aufspüren und die eventuelle Bekämpfung notwendig ist. Andererseits ist in Betracht zu ziehen, bestimmte unproblematische Neophyten (im Hinblick auf die Waldbrandsituation und die lokalen Standortseigenschaften) wachsen zu lassen, um den ungeschützten Boden zu sichern und die Wiederherstellung der Schutzfunktion des Waldes zu beschleunigen. Eine solche Entwicklung muss jedoch laufend überwacht werden. Gegebenenfalls sind Maßnahmen zu treffen, um eine ausgewogene Biodiversität zu erreichen.

KOSTEN

Die mittleren jährlichen Direktkosten für Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden werden anhand der Berechnungen der Universität für Bodenkultur Wien auf derzeit etwa **30 Mio. Euro** für die gesamte Alpenregion geschätzt (vgl. **Kapitel 1.5**). Um diese Kosten zu senken, und gemäß der Annahme der Studienautoren, sind für den Alpenraum jährliche Investitionen in der Höhe von mindestens **1-2 Mio. Euro** (etwa 5 % der derzeitigen Direktkosten) erforderlich (vgl. **Kapitel 3**). Wenn die Anzahl, Ausdehnung und Intensität von Waldbränden wie erwartet ansteigt, werden auch die negativen Auswirkungen zunehmen. Die Annahmen der jährlichen Kosten und Investitionen für das Post-fire-Management im Alpenraum sind daher als konservative Schätzung zu betrachten.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Meinungen zu den Herausforderungen und relevanten Faktoren für das Waldbrandregime in den Alpenländern. Für Liechtenstein liegen keine Daten vor. Quellen: Waldbrand-Workshop Wien, EUSALP-Umfrage 2019.

		AT	FR	DE	IT	SI	CH
Änderung der ökologischen und sozioökonomischen Bedingungen (Relevanz der Faktoren)	Natürliche Treiber des Waldbrandregimes						
	Temperatur	X	X	X	X	X	X
	Niederschlag	X	X	X	X	X	X
	Wind	X	X		X	X	o
	Brände durch Blitzschläge	X	X	X	X	X	X
	Sozioökonomische Treiber des Waldbrandregimes						
	Landflucht und Aufgabe ländlicher Gebiete	X	X	o	X	X	o
	Freizeitaktivitäten und Tourismus	X	X	o	o	X	X
	Traditionelle Nutzung von Feuer	X	o	X	o	X	X
	Fahrlässigkeit	X	X	X	X	X	X
	Brandstiftung	X	o	X	X	X	X
	Interaktion zwischen Klimawandel und Waldbränden						
	Dürren und Hitzewellen	X	X	X	X	X	X
	Ökosystemstörungen	o					
Gesundheit der Wälder							
Waldbrand-Effekte	... auf Naturgefahren	X	o	X	o	X	X
	... auf die Ökosysteme und Biodiversität	o				X	
	... auf die Gesundheit (z. B. Rauch)	o	o	o	o	X	o
Brandvorbeugung & Risikoabschätzung (Bedeutung)	Präventionsmaßnahmen im Allgemeinen	X	X	o	X	X	o
	Integration von Waldbrand-Managementplänen	o	X	X	X	X	o
	Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung	X	X	X	X	X	X
	Abschätzung der Brandgefahr	X	X	X	X	X	X
	Waldbrandforschung	X	X	o	o	X	X
Brandbekämpfung & Post-fire-Management	Brandbekämpfung – Bedeutung von						
	... Luftunterstützung	X	X	X	o	X	X
	... Ausbildung/Training der Feuerwehren	X	X	o	X	X	X
	... Einsatztechniken/-taktiken	X	X	o	X	X	o
	Post-fire-Management – Bedeutung von						
	... Wiederherstellung von Brandflächen	X	o	o	o	X	X
	... Kosten	X	X	o	X	X	o
... Monitoring und Fallstudien	X	o	o	o	X	X	

	HOCH (sehr wichtig/relevant)
	MITTEL
	GERING
	UNKLAR / KEINE INFORMATION

X	HOCH
o	gering

ZUSAMMENFASSUNG DER HERAUSFORDERUNGEN

Tabelle 4 fasst die wichtigsten Treiber des Brandregimes und die Herausforderungen bei der Waldbrandbekämpfung in der Alpenregion zusammen. Temperatur und Niederschlag – mit anderen Worten **Hitzewellen** und **Dürren** – sind

die wichtigsten klimatischen Faktoren, die das Brandregime in der Alpenregion beeinflussen. Entzündungen durch Blitzschläge sind v. a. in den Zentral- und Ostalpen relevant.

Hinsichtlich der sozioökonomischen Treiber des Brandregimes hat die **Aufgabe ländlicher Gebiete** in Frankreich und Italien die größte Bedeutung. In Österreich, Deutschland und der Schweiz sind hingegen **Freizeitaktivitäten und Tourismus** besonders relevant. Bezogen auf die gesamte Alpenregion ist **Fahrlässigkeit** die häufigste Ursache von Waldbränden.

Derzeit gibt es nur wenige Informationen zu den Wechselwirkungen zwischen Klima, Waldbränden, anderen **Ökosystemstörungen** und der **Waldgesundheit**. Allgemein ist über die **Auswirkungen von Waldbränden** auf Naturgefahren, Ökosysteme, Biodiversität und die menschliche Gesundheit in alpinen Gebieten nur wenig bekannt. **Bewusstseinsbildung**, die **Abschätzung der Brandgefahr** und **Waldbrandforschung** sind überall für den vorbeugenden Brandschutz wichtig. Die Bedeutung der Integration von präventiven Maßnahmen bei der Erstellung von **Managementplänen** ist in den Ländern unterschiedlich ausgeprägt.

Hinsichtlich der Waldbrandbekämpfung sind die **Ausbildung der Feuerwehren** und **Luftunterstützung** in den meisten Alpenländern entscheidend. In Österreich und der Schweiz ist die Bedeutung der **Wiederherstellung von Brandflächen** als Teil des Post-fire-Managements hoch, in anderen Ländern hingegen indifferent. **Hohe Kosten** sind besonders in Frankreich und Italien ein Thema, während das **Monitoring auf Brandflächen** und die Durchführung von **Fallstudien** in Slowenien und der Schweiz wichtiger sind.

3. Optionen für ein integriertes Waldbrandmanagement

3.1. Rahmenwerk eines integrierten Waldbrandmanagements

Es gibt verschiedene Herangehensweisen für ein **integriertes Management von Vegetationsbränden**. Sie alle zielen darauf ab, die Gesundheit der Ökosysteme zu erhöhen, die Brandgefährdung von Gemeinden zu reduzieren und kosteneffizientere Strategien für die Brandbekämpfung zu entwickeln. Die **Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO)** hat freiwillige **Richtlinien zum Brandmanagement** für Behörden und Stakeholder-Gruppen vorgeschlagen. Dementsprechend soll das Waldbrandmanagement ein integraler Teil einer kohärenten und ausgeglichenen politischen Strategie sein, welche nicht nur auf Wälder, sondern auch auf andere Formen der Landnutzung Anwendung findet.

Ausgehend vom derzeitigen Wissensstand zu Waldbränden in der Alpenregion und den festgestellten Herausforderungen, schlagen wir ein **Rahmenwerk für ein integriertes Waldbrandmanagement** vor. Dieses Rahmenwerk setzt sich mit den Treibern des derzeitigen und zukünftigen Brandregimes in Bergwäldern auseinander, berücksichtigt die Bedürfnisse der in der Alpenregion lebenden Menschen und zielt darauf ab, die negativen Auswirkungen von Waldbränden zu minimieren (**Abbildung 17**).

Für die Alpenregion wurden drei wesentliche Treiber des Waldbrandregimes identifiziert: der **Klimawandel**, **sozioökonomische Veränderungen** und **neue politische Strategien** (vgl. **Kapitel 2.1**). Diese Treiber werden nicht in allen Gebieten gleichermaßen relevant sein und mit unterschiedlicher Intensität und Ausprägung auftreten. Es sind jedoch differenzierte und/oder kombinierte Auswirkungen zu erwarten, die einen integrierten Ansatz erfordern. Bei der praktischen Anwendung des vorgeschlagenen Rahmenwerks ist die sozioökonomische und ökologische Situation jeder Alpenregion separat zu beurteilen. Die wichtigsten Elemente müssen im **regionalen Kontext** erkannt und die konkreten Maßnahmen auf Basis dieser vorrangigen Komponenten angepasst werden.

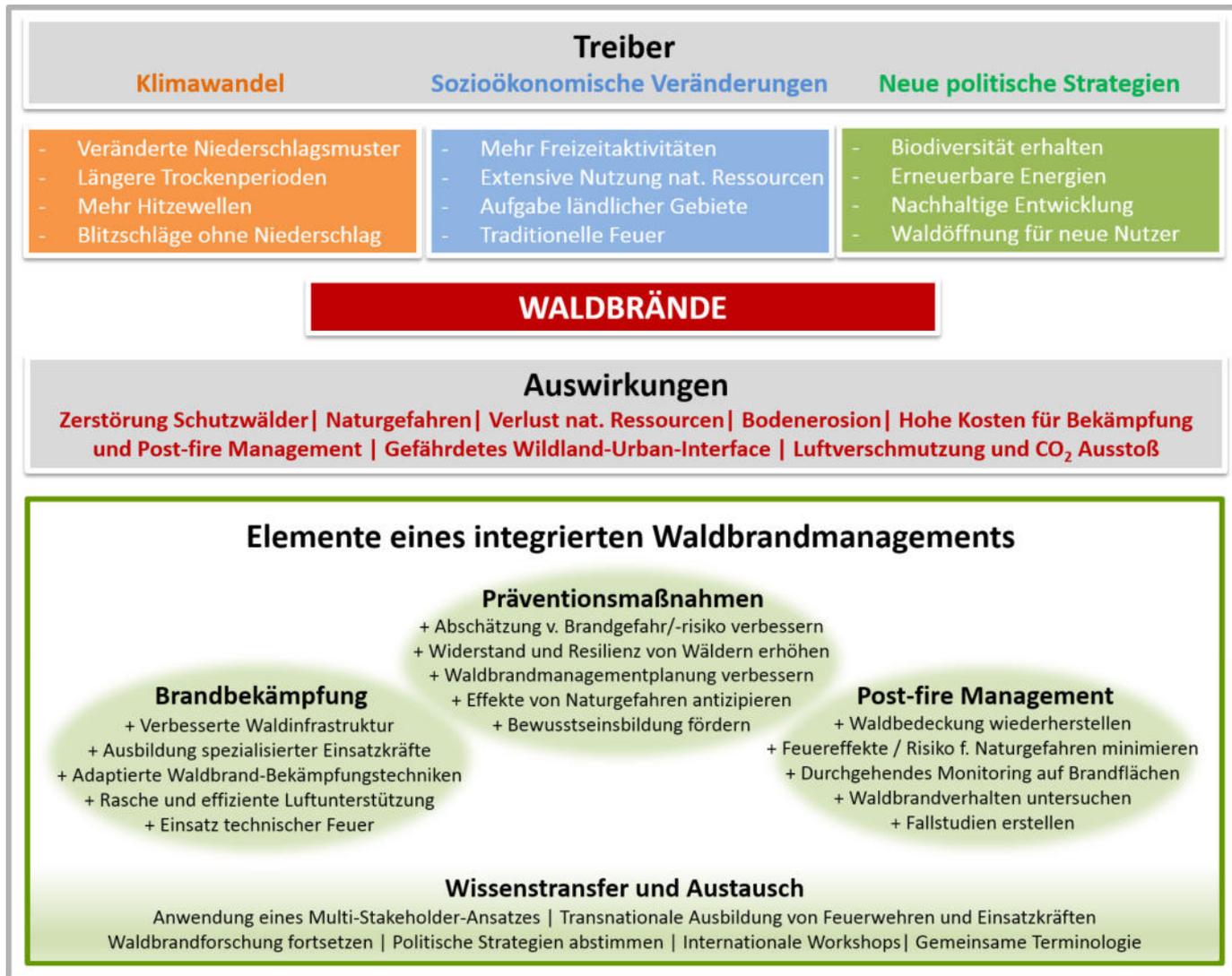


Abbildung 17: Treiber und Auswirkungen von Waldbränden und Elemente eines integrierten Waldbrandmanagements für die Alpenregion.

Die dringendsten Themen wurden vorab im Rahmen des 2019 durchgeführten Waldbrand-Workshops und der EUSALP-Umfrage identifiziert (**Tabelle 5**). Offenbar sind in den meisten Ländern die Implementierung von Präventionsmaßnahmen in das Forstmanagement, Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung und die Ausbildung von Spezialeinsatzkräften von besonderer Bedeutung.

Table 5: Bedeutung einzelner Maßnahmen des Waldbrandmanagements in den Alpenländern. Für Liechtenstein liegen keine Daten vor. Quellen: Waldbrand-Workshop Wien, EUSALP-Umfrage 2019.

	AT	FR	DE	IT	SI	CH									
1. Etablierung eines Multi-Stakeholder-Ansatzes	X	o		o	X	X	GEWICHTUNG: <table border="1"> <tr><td></td><td>HOCH (sehr wichtig/relevant)</td></tr> <tr><td></td><td>MITTEL</td></tr> <tr><td></td><td>GERING</td></tr> <tr><td></td><td>UNKLAR / KEINE INFORMATION</td></tr> </table>		HOCH (sehr wichtig/relevant)		MITTEL		GERING		UNKLAR / KEINE INFORMATION
	HOCH (sehr wichtig/relevant)														
	MITTEL														
	GERING														
	UNKLAR / KEINE INFORMATION														
2. Training von Feuerwehren und spezialisierten Einsatzkräften	X	X	o	o	X	X									
3. Minimierung negativer Effekte der Aufgabe ländlicher Gebiete	X	X	o	o	X	X									
4. Präventionsmaßnahmen ins Forstmanagement implementieren	X	X	X	X	X	X									
5. Vorwarnung und Abschätzung der Waldbrandgefahr verbessern	X	X	o	X	X	X									
6. Risiko von Naturgefahren nach Waldbränden minimieren	o	o		o	X	o									
7. Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung	X	X	X	X	X	X	QUALITÄT DER INFORMATION: <table border="1"> <tr><td>X</td><td>HOCH</td></tr> <tr><td>o</td><td>gering</td></tr> </table>	X	HOCH	o	gering				
X	HOCH														
o	gering														
8. Waldbrandforschung	X	o	o	o	X	X									

Im Folgenden präsentieren wir einige **Erfolgskonzepte bestehender Lösungen zur Waldbrandthematik in den Alpenländern**. Sie sollen als Anregung für ein integriertes Waldbrandmanagement dienen.

3.2. Präventionsmaßnahmen

3.2.1. Systeme zur Vorwarnung und Abschätzung der Brandgefahr

Für die Abschätzung der Brandgefahr sind die speziellen meteorologischen Bedingungen in den Alpen, die Eigenschaften der Vegetation und die Topographie zu berücksichtigen. Hierfür müssen Vorwarnsysteme eine geeignete räumliche und zeitliche Auflösung bieten. Zusätzlich benötigt es für ein integriertes Modell zur Abschätzung der Brandgefahr die Rolle des menschlichen Einflusses und eine Bewertung der Vulnerabilität kritischer Infrastrukturen und Siedlungen. Eine alpenweite Identifizierung von Waldbrandhotspots trägt dazu bei, eine solide Datenbasis für die Adaptierung solcher integrierten Systeme zu schaffen. Als Grundlage hierfür müssen ein **gemeinsames Dokumentationssystem** und eine **Definition von Waldbrandereignissen** festgelegt werden. Es ist wichtig, eine **vollständige Erfassung von Waldbränden** auf nationaler Ebene sicherzustellen. Ein Vergleich des früheren Brandregimes mit den aktuellen und zukünftigen Bedingungen kann zu neuen Erkenntnissen für die Gestaltung und Parametrisierung von Waldbrand-Vorwarnsystemen führen.

Meteorologische Waldbrandindizes sollten optimiert oder angepasst werden, um den saisonalen Verlauf und mögliche Änderungen besser darstellen zu können. Eine Verbesserung der Vorhersage von Winter- und Frühjahrsbränden könnte erreicht werden, indem ein hochaufgelöster Datenlayer der aktuellen Schneebedeckung in Kombination mit einem Graslandfeuerindex verwendet wird. Damit lässt sich das Feuchtigkeitsverhalten des toten, feinen Brennmaterials im Winter und Frühling besser beschreiben. In **Deutschland** und **Frankreich** gibt es Initiativen zur Verbesserung der Abschätzung der Brandgefahr auch unter schwierigen Standortverhältnissen (**Abbildungen 18, 19** und **20**). Zusätzliche Stationsdaten werden in den Gesamtprognoseprozess einbezogen, um Probleme hinsichtlich Inversionswetterlagen und einer geringen räumlichen Auflösung zu beseitigen.

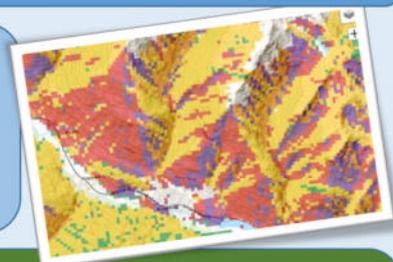
Abschätzung der Brandgefahr im alpinen Gelände



Land: Deutschland
Umfang: Regional (Alpen)

Problembeschreibung

- Unterschätzung der Brandgefahr in Wäldern mittlerer Höhenlage aufgrund fehlender Stationsdaten, komplexer Orographie und Inversionswetterlagen in der Winterzeit.
- Der derzeit verwendete Waldbrandindex (WBI) eignet sich nicht für Bedingungen, die Waldbrände mit Merkmalen von Flurbränden fördern.



Lösung

- Verwendung meteorologischer Stationen des Lawinenwarndienstes zur Berechnung eines adaptierten Waldbrandindex.

Ergebnisse

- Die Verbesserung erforderte keine zusätzlichen Wetterstationen.
- Korrekte Bewertung der tatsächlichen Waldbrandgefahr im Bergland.
- Eine bessere Gefahrenabschätzung erhöht die Sensibilisierung und verringert die Anzahl der Waldbrände.

Abbildung 18: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Brandgefahrenbewertung im komplexen Gelände.

Erforschung und Umsetzung neuer Indizes zur Vorhersage der Brandgefahr im Winter



Land: Frankreich
Umfang: Landesweit

Problembeschreibung

- Geringe Effizienz des kanadischen Fire Weather Index (FWI) zur Abschätzung der Brandgefahr im Winter (besonders in gebirgigen Regionen).
- Brände treten auf, auch wenn der FWI eine geringe Brandgefahr anzeigt.



Lösung

- Entwicklung neuer Indizes durch die Kombination von Fine Fuel Moisture Code (FFMC) und Windgeschwindigkeit.
- Vermehrte Forschung zur Beziehung zwischen Schneedecke und Auftreten von Bränden in Bergregionen wie den Alpen.

Ergebnisse

- Verbesserte Vorhersage der Brandgefahr in den Wintermonaten.
- Antizipation der erforderlichen präventiven und operativen Maßnahmen.
- Erfassung jener Flächen, die stärker durch Winterbrände gefährdet sind, und Entwicklung von standortangepassten Maßnahmen.

Abbildung 19: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Umsetzung neuer Indizes zur Vorhersage der Brandgefahr im Winter.

Evaluierung raumzeitlicher Trends bei der meteorologischen Brandgefahr



Land: Frankreich
Umfang: Regional (Französische Alpen)

Problembeschreibung

- Fehlender Überblick der meteorologischen Brandgefahr in den Französischen Alpen, was zu einer unklaren Situation der lokalen Brandbedingungen führt.

Lösung

- Verwendung von historischen Wetterdaten, um die meteorologische Brandgefahr und das Brandregime zu beschreiben.
- Evaluierung verschiedener Methoden und Schwellen für Waldbrandindizes (FWI, FFMC) anhand des Auftretens von Bränden.

Ergebnisse

- Objektiver Überblick über die meteorologische Brandgefahr in einem bestimmten Gebiet.
- Feststellung von Hotspots mit hoher meteorologischer Brandgefahr.
- Übermittlung der Ergebnisse an lokale Behörden und die Feuerwehren.
- Eine ähnliche Methode kann auf andere Alpenländer angewendet werden, sofern die meteorologischen Daten verfügbar sind.

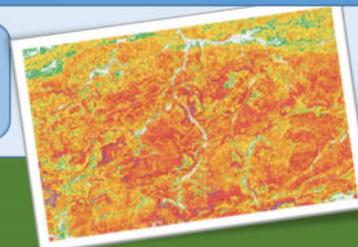


Abbildung 20: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Evaluierung raumzeitlicher Trends der meteorologischen Brandgefahr.

3.2.2. Aktivitäten zur Bewusstseinsbildung

Es wird empfohlen, dass Vertreter von Behörden, Einsatzkräften und Wissenschaftlern aktiv an öffentlichen **Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung** auch auf regionaler Ebene teilnehmen. Sinnvoll wäre die Zusammenstellung nationaler Teams aus Waldbrandexperten, die bei Schulungen, Seminaren, Workshops und praktischen Lehrgängen als Kontaktpersonen agieren. Forscher sollten mit den verschiedenen Interessensgruppen zusammenarbeiten, um Projekte zur Prävention von Waldbränden zu entwickeln und damit gleichzeitig den steigenden Bedarf an Expertenwissen zu decken. Auch die Erstellung von Empfehlungen/Richtlinien zu verschiedenen Waldbrandthemen (z. B. richtiges Verhalten im Brandfall, waldbauliche Präventionsmaßnahmen) kann zur Sensibilisierung beitragen. Regelmäßige Treffen zwischen Forschungseinrichtungen, Behörden, Einsatzkräften und Warnzentralen gewährleisten eine bessere Vernetzung und den laufenden Austausch. Nützlich sind auch erweiterte Sensibilisierungsmaßnahmen in Kooperation mit Schulen, beispielsweise der Besuch von Brandflächen oder die Erstellung von Unterrichtsmaterial.

Maßnahmen der Bewusstseinsbildung müssen sich **zielgruppenorientiert** an die allgemeine Bevölkerung, Einsatzkräfte, Waldbesitzer, Behörden und Politiker in der Alpenregion richten. Dabei können junge Menschen über Social-Media-Kanäle und ältere Menschen über die klassischen Medien wie Radio, Fernsehen und Printmedien angesprochen werden. Lokale Land- und Waldbesitzer können eine wichtige Rolle spielen, wenn sie in die Umsetzung von Präventionsmaßnahmen wie dem kontrollierten Abbrennen der Vegetation eingebunden werden. Um zu verhindern, dass kontrollierte Brände auf landwirtschaftliche oder forstliche Flächen übergreifen, sind etwa Informationsmaterialien zu Sicherheitsvorkehrungen oder Anreize zur Verwendung von Ernterückständen für die Biomasseproduktion sinnvoll. Dabei sollte man mit der Frage „Was und wie ist es zu sagen?“ sorgfältig umgehen, um

eine klare, leicht verständliche Botschaft zu vermitteln. Wichtig ist ebenso, die aktuelle Gefahrensituation zu erläutern und die öffentliche Bewusstseinsbildung an die Höhe des Waldbrandrisikos in der jeweiligen Region anzupassen. In **Italien** wurde eine landesweite Initiative gestartet, um das Bewusstsein für die Bedeutung kontrollierter Abbrenntätigkeiten zu erhöhen (**Abbildung 21**).

Präsentation von kontrollierten Abbrenntätigkeiten am wichtigsten nationalen TV-Wissenschaftskanal



Land: Italien
Umfang: Landesweit

Problembeschreibung

- Brandvorbeugung steckt in Italien noch in den Kinderschuhen, speziell hinsichtlich kontrollierter Abbrenntätigkeiten. Ein überwiegender Teil von Naturschutzfachleuten und Umweltschutzorganisationen spricht sich aufgrund einer angenommenen Gefährdung der Biodiversität vehement gegen kontrolliertes Abbrennen der Vegetation aus.



Lösung

- Umsetzung eines Dokumentarfilms über kontrolliertes Brennen für das Hauptwissenschaftsprogramm im nationalen TV („Superquark“).
- Sendung wurde 2018 ausgestrahlt und hatte mehr als 3 Mio. Zuseher.
- Es war das erste Mal, dass kontrolliertes Brennen von den nationalen Medien erwähnt worden ist.

Ergebnisse

- Erster Schritt in Richtung einer Bewusstseinsbildung hinsichtlich der Bedeutung von Brandprävention sowie der Rolle der Vegetation und des Klimas bei der Ausbreitung eines Feuers.
- Die Maßnahme hat die nationalen Waldbrandforscher an die Öffentlichkeit gebracht und ihnen eine Stimme gegeben.

Abbildung 21: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Kontrollierte Abbrenntätigkeiten im Fernsehen.

In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, **sozialwissenschaftliche Studien** zu initiieren. Damit sollen die Interaktionen zwischen der Bevölkerung und Interessengruppen in Bezug auf Waldbrände in der Alpenregion analysiert und mehr über die Präferenzen der Bürger in Erfahrung gebracht werden. Alle geplanten und getroffenen Maßnahmen müssen an die **regionalen Rahmenbedingungen** angepasst werden und **zu einem frühen Zeitpunkt alle Stakeholder einbinden**. Da ein solcher integrierter Ansatz Zeit benötigt und die Umsetzung von Präventionsmaßnahmen (z. B. die Errichtung von Infrastrukturen im Wald) teuer ist, werden entsprechende Förderprogramme zur Anpassung des Waldmanagements an das sich ändernde Klima benötigt. In Regionen mit einem besonders hohen Brandrisiko kann die politische Steuerung darauf abzielen, dass lokale Gemeinden die Feuerresistenz von Häusern, Infrastrukturen und der Landschaft selbst verbessern („Fire-smart Communities“). Solche Initiativen wurden beispielsweise in Australien als Auswirkung der Black-Friday-Tragödie von 2009 mit mehr als 170 Toten ins Leben gerufen (McLeod et al. 2009). In den USA verfolgen das von der National Fire Protection Association (NFPA) entwickelte FIREWISE-Programm und die aus Südafrika stammende Initiative Working on Fire (WoF) dasselbe Ziel.

3.2.3. Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz gegenüber Waldbränden

Extreme Waldbrandereignisse in den Alpen bedeuten nicht unbedingt große Brandflächen. Bereits eine relativ geringe Brandfläche auf instabilem Boden über einem dicht besiedelten Tal kann hohe Schäden anrichten und die Wohnbarkeit einschränken. Es ist deshalb wichtig, **gefährdete Flächen exakt zu identifizieren und Maßnahmen zur Verbesserung der Brandresistenz von Bergwäldern durchzuführen**. Hierfür sollten verschiedene Herangehensweisen kombiniert werden, etwa waldbauliche Maßnahmen, Bewirtschaftungsstrategien für Flächen in Waldnähe und eine verbesserte Infrastrukturplanung (z. B. Gebäude, Straßen und Wege für Touristen). Daneben ist eine Integration von Klimawandelprognosen und eine Abschätzung des Waldbrandrisikos samt Vorschlägen für Präventionsmaßnahmen in die Waldbewirtschaftung dringend erforderlich.

Lokale Initiativen zur **Minimierung der negativen Auswirkungen der Aufgabe ländlicher Gebiete** sollten erweitert und in andere Maßnahmen eingebunden werden. Dies kann zunächst als Bottom-up-Ansatz erfolgen, für den langfristigen Erfolg ist jedoch die Unterstützung seitens der Politik erforderlich. Wenn bestehende Erfolgskonzepte geteilt und gefördert werden, kann dies die Bemühungen vorantreiben. Ein außergewöhnliches Beispiel aus Katalonien (Spanien) zeigt, wie Schafe und ihre Hirten, Fleischhauer, lokale Restaurants und Kunden zusammengebracht werden können, um ein Label zu schaffen, bei dem der Verzehr von Schaffleisch der Landschaftserhaltung dient und gleichzeitig die Prävention von Bränden verbessert wird (**Abbildung 22**).

Nachhaltige Wiederherstellung extensiver Beweidung



Land: Spanien
Umfang: Regional (Girona)

Problembeschreibung

- Mehr Brennmaterial für Vegetationsfeuer aufgrund einer Verringerung der Beweidung und weniger landwirtschaftlicher Brände.
- Mehr unerwünschte Brände.

Lösung
 Vermeidung von Vegetationsbränden in strategisch ausgewählten Gebieten durch Entwicklung einer Partnerschaft zwischen

- **Feuerwehrlenten:** legen das Gebiet fest und führen kontrollierte Abbrennarbeiten durch
- **Hirten:** bringen ihre Tiere dorthin
- **Fleischhauer:** kaufen hochwertiges, gekennzeichnetes Fleisch
- **Restaurants:** verkaufen das gekennzeichnete Fleisch
- **Kunden:** konsumieren das Fleisch und nehmen damit an der Landbewirtschaftung teil

Ergebnisse

- Mehr Wald- und Weidewirtschaftung in den gefährdeten Gebieten und damit Reduzierung der brennbaren Biomasse.
- Der Einsatz von Weidetieren hilft, Vegetationsbrände zu vermeiden.
- Durch die Produktion und den Konsum von gekennzeichnetem Fleisch wird die Brandgefahr vermindert.



Abbildung 22: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Nachhaltige Wiederherstellung extensiver Beweidung in Spanien.

Die Schaffung von **Brandschutzschneisen/-streifen** lässt sich mit der Anlage bestehender oder geplanter Almen und Skipisten kombinieren. Damit ist auch eine Optimierung hinsichtlich der Bewirtschaftung und den Erfordernissen der Brandbekämpfung möglich. Solche künstlichen Brandschutzschneisen spielen bei der indirekten Brandbekämpfung eine wesentliche Rolle. Sie können verhindern, dass sich ein Waldbrand ausbreitet, oder die Umwandlung eines intensiven Kronenfeuers in ein Bodenfeuer gewährleisten.

Stromleitungen können die Ursache extremer Waldbrände sein, wie dies unlängst in Portugal, den USA, aber auch in **Italien** während des La-Muda-Brandes (2011) und dem Brand am Monte San Lucano (2018) der Fall war. Daher sollten Stromleitungstrassen in Hochrisikogebieten von entzündlicher Biomasse freigehalten werden. Es wird empfohlen, entsprechende Sicherheitszonen einzurichten und zu überwachen (z. B. die Fällung gefährdeter Bäume). Bei der Errichtung neuer Stromleitungen sollte man Schutzwälder meiden und besser unterirdische Alternativen wählen. Für Stromleitungen mit Niederspannung wird die Verwendung geschützter Kabel empfohlen.

Die exzessive Ausweitung des **Wildland-Urban-Interface** sollte in Zukunft speziell im Bergland begrenzt werden. In Ländern mit einem hohen Waldbrandrisiko wie den USA oder Australien existieren Instruktionen für Hauseigentümer, die Möglichkeiten zum Schutz des Eigentums aufzeigen. Dies kann beispielsweise durch das Anlegen eines Brandschutzstreifens, die Entfernung von brennbarem Material aus dem Umkreis des Gebäudes oder die Installation einer externen Wasserentnahmestelle erfolgen (NFPA 2019). Solche Präventionsmaßnahmen sind in der Alpenregion unüblich und für die Bevölkerung Neuland, weshalb es entsprechender Initiativen zur Wissensvermittlung und Bewusstseinssteigerung bedarf (siehe Hinweis zu „Fire-smart Communities“).

Das **kontrollierte Abbrennen der Vegetation ist ein effektives und kostengünstiges Mittel**, um die Ansammlung von Biomasse zu kontrollieren. In Teilen Südeuropas, wo die Waldökosysteme an das Auftreten von Vegetationsbränden angepasst sind, ist kontrolliertes Brennen eine häufig praktizierte und hilfreiche Methode zur Vermeidung zerstörerischer Waldbrände. Für den alpinen Raum sollten die Auswirkungen besser analysiert und die Fertigkeiten für einen sicheren Einsatz optimiert werden. Hierbei kann man auf die umfangreichen Erfahrungen aus den Pyrenäen und den Seealpen zurückgreifen.

Die **Entfernung von Totholz** aus den Wäldern ist mit zusätzlichen Kosten für die Waldeigentümer oder Gemeinden verbunden. Diese Maßnahme sollte nur nach einer umfangreichen Vor-Ort-Bewertung des lokalen Brandrisikos und einem Abgleich mit Naturschutzziele durchgeführt werden. Als möglicher Kompromiss bietet sich an, Totholz nur in ausgewählten Wäldern mit hohem Brandrisiko zu entfernen. Dabei kann das gesammelte Holz als Biotreibstoff dienen oder in Biomasseheizwerken verbrannt werden, wodurch Kosten eingespart werden können.

Die **Integration des Brandverhaltens in Managementpläne** kann für ein zukünftig intensiveres Waldbrandregime wesentlich sein. Ist das Brandverhalten bekannt, hilft dies bei der Feststellung geeigneter Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz gegenüber Waldbränden. Diese Arbeit ist nur auf lokaler Ebene möglich, indem homogene Flächen mit ähnlichem Feuerverhalten identifiziert und ausgewiesen werden. Das Erkennen geeigneter Maßnahmen zur Verhinderung hoher Brandintensitäten oder eines gefährlichen Brandverhaltens bedarf einem Verständnis der potenziellen Entwicklung eines Waldbrandes (Ausbreitung, Intensität, Funkenflug, thermische Effekte, Herabrollen brennender Baumteile usw.). Für die Erstellung homogener Karten des Brennmaterials sind die Zusammenarbeit und der Wissensaustausch im Alpenraum notwendig. Solche Karten sowie die kontinuierliche Überwachung der Streufeuchtigkeit in unterschiedlichen Waldtypen sind für die Verbesserung der Prognosen zum Brandverhalten

wesentlich. In der **Schweiz** konzentriert man sich auf die laufende Erhebung des Wassergehalts im Brennmaterial, um Präventionsmaßnahmen des Waldbrandmanagements zu unterstützen (**Abbildung 23**).

Integration von Forschungsarbeiten mit den Bedürfnissen des Waldbrandmanagements



Land: Schweiz
Umfang: Regional (Tessin)

Problembeschreibung

- Mangel an sauberen und konsistenten Waldbranddaten für statistische Auswertungen und Modellierungen.
- Mangel an einer regionalen Abschätzung der Brandgefahr und fehlende Waldbrand-Risikokarten.
- Die Auswahl von Wiederherstellungsmaßnahmen nach dem Brand bleibt unklar.



Lösung

- Management der Waldbrand-Datenbank auf nationaler Ebene unter Einbezug der Waldbrandforscher.
- Entwicklung eines Systems für die Abschätzung der lokalen Brandgefahr (Fire Niche).
- Entwicklung von regionalen Waldbrand-Risikokarten, die für alle Jahreszeiten geeignet sind.
- Vermeht Forschungen zu den Auswirkungen von Bränden auf Wälder.

Ergebnisse

- Enge Zusammenarbeit zwischen Waldbrandforschern und der Forstbehörde.
- Aktives Feedback.
- Die Forschung richtet sich nach den praktischen Erfordernissen der Brandvorbeugung.

Abbildung 23: Erfolgskonzept für Präventionsmaßnahmen: Integration von Forschung und Waldbrandmanagement.

Derzeit wird aufgrund des geringen Bewusstseins für Waldbrände nur selten waldbauliches Wissen für die Adaptierung der Waldbewirtschaftung eingesetzt. Aktuell ist ein Großteil der Waldschäden in den Alpen biotischer Natur oder die Folge von Sturmereignissen. Eine **Änderung der Baumartenzusammensetzung** in Richtung eines höheren Laubholzanteils ist vielleicht die am besten geeignete Maßnahme, da sie die Wahrscheinlichkeit von (intensiven) Waldbränden reduziert und die Widerstandsfähigkeit gegenüber anderen Störungen wie Borkenkäferbefall oder Windwürfen erhöht. Bei **Strategien zum Waldumbau** oder zur Überführung müssen bei der Baumartenwahl die Standortbedingungen berücksichtigt werden. Rotbuchen sind u. a. auf ausreichend feuchten und tiefgründigen Standorten erfolgreich, während sich Ahorn (*Acer spp.*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*) auch für trockenere Standorte eignen. Grünerle (*Alnus viridis*) sowie Mehl- und Vogelbeere (*Sorbus spp.*) haben sich in den Nordalpen bewährt.

Aufgrund langjähriger **Erfahrungen im Mittelmeerraum** gibt es ein breites Spektrum an forstlichen Präventionsmaßnahmen. Die bestehenden waldbaulichen Empfehlungen sind auf ihre Eignung in Gebirgsregionen zu überprüfen und an die Behörden sowie Forsteigentümer in gefährdeten Gebieten zu übermitteln. Allfällige Konfliktbereiche müssen berücksichtigt werden, beispielsweise Skepsis gegenüber kontrollierten Abbrennarbeiten,

Auswirkungen einer veränderten Baumartenzusammensetzung oder Widersprüche zwischen einer Totholzanzreicherung aus Naturschutzgründen und seiner Entfernung als präventive Maßnahme des Waldbrandmanagements. In **Italien** werden entsprechend dem überarbeiteten Forstgesetz (D Lgs 34/2018) aktualisierte Richtlinien für die forstliche Planung erarbeitet. Die neuen verpflichtenden Waldbewirtschaftungspläne sollen Risikokarten und Überlegungen zum Schutz vor Waldbränden beinhalten und müssen mit regionalen Waldbrand-Managementplänen abgestimmt werden.

3.3. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

3.3.1. Ausbildung von spezialisierten Einsatzkräften

Ein **umfassendes Training** von Feuerwehrmitgliedern und Einsatzkräften ist das wesentliche Element einer erfolgreichen Waldbrandbekämpfung. Diese Ausbildung sollte übertragbare Erfahrungen und Sicherheitsaspekte aus anderen Ländern – beispielsweise Nordamerika oder dem Mittelmeerraum – beinhalten. Es ist notwendig, dass in Grenzgebieten Protokolle für länderübergreifende Einsätze aufgesetzt und mehr gemeinsame Übungen organisiert werden. Ein Ziel sollte es sein, das Training gut ausgerüsteter Spezialeinsatzkräfte zu forcieren, die im Bedarfsfall auch grenzüberschreitend eingesetzt werden können. In **Österreich** und der **Schweiz** werden in den letzten Jahren vermehrt Feuerwehrleute speziell für Waldbrände im Gebirgsraum ausgebildet, um auf nationaler Ebene einen einheitlichen hohen Standard für Taktiken, Techniken und Einsatzsicherheit bieten zu können (**Abbildung 24**).

Spezialisierte Feuerwehrleute für Waldbrände im Gebirgsraum



Land: Schweiz / Österreich
Umfang: Landesweit

Problembeschreibung

- Mangel an spezialisierten Feuerwehrleuten für den Gebirgsraum.
- Verwendung ungeeigneter Materialien und Techniken.
- Damit verbunden sind hohe Kosten, eine längere Brandbekämpfungszeit und größere Schäden am Waldbestand.

Lösung

- Etablierung eines Netzwerks von spezialisierten, ausgebildeten und gut ausgerüsteten Feuerwehrleuten in Gebirgsgegenden.

Ergebnisse

- Gemeinsame Ausbildung von regionalen Feuerwehren und Einsatzkräften.
- Einheitlicher Standard beim Können, Wissen und in der Einsatztaktik.
- Moderne Ausrüstung und adaptierte Brandbekämpfungstechniken.



Abbildung 24: Erfolgskonzept für die Brandbekämpfung: Ausbildung spezialisierter Feuerwehrleute für Waldbrände im Gebirge.

In der Alpenregion besteht die Notwendigkeit, **effektive Waldbrand-Bekämpfungstechniken** für unterschiedliche Einsatzszenarien auszutauschen, etwa von Methoden, die wenig Wasser benötigen. Eine mangelnde Verfügbarkeit von Löschwasser könnte im Zuge des Klimawandels auch in den Nord- und Zentralalpen ein zunehmendes Problem

werden. Daneben ist die **Organisation realitätsnaher Übungen** wichtig, etwa solche, die intensive Waldbrände entlang des WUI simulieren. Kritische Infrastrukturen und ihr möglicherweise erhöhtes Risiko in der Zukunft, beispielsweise Mobilfunkmasten im Wald, müssen berücksichtigt werden. Feuerwehren in Hochrisikogebieten sollten mit Equipment für die Waldbrandbekämpfung ausgestattet sein und müssen entsprechend geschult werden, um diese Ausrüstung korrekt verwenden zu können. Durch die Definition von Gebieten mit ähnlichem Brandverhalten können Modellszenarien erstellt werden, die eine verbesserte Ausbildung, Vorbereitung und Evaluierung nach dem Brandereignis ermöglichen. Die **aktive Unterstützung von Waldbrandforschern** und Meteorologen für die Abschätzung des Brandverhaltens ist bei Großbränden hilfreich, auch um die Sicherheit der Feuerwehrleute zu erhöhen. Dies erfordert Trainings mit allen Betroffenen und eine kurzfristige Verfügbarkeit im Fall eines Brandes.

Der Einsatz von **taktischen Feuern** (z. B. Gegenfeuern) ist im Süden der Alpen eine unverzichtbare Methode für effektive Löscharbeiten und eine höhere Sicherheit der Einsatzkräfte. Die Verwendung solcher Feuer erfordert gute Kenntnisse des Gebietes, des Feuerverhaltens und der eingesetzten Spezialgeräte. Übungen zur Verbesserung des praktischen Wissens sollten auf andere Teile der Alpenregion ausgeweitet werden. In diesem Zusammenhang ist die Rolle der **natürlich ausgelösten Brände (Blitzschlagbrände)** durch eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen Feuerwehren, Behörden, meteorologischen Instituten und der Waldbrandforschung zu überdenken. Es sind Expertendiskussionen erforderlich, z. B. betreffend der Möglichkeit, auf ausgewählten Flächen natürlich entstandene Feuer brennen zu lassen. Damit soll eine sinnvolle Balance zwischen dem Aufwand und den Kosten für die Brandbekämpfung und zeitgemäßen Waldbrand-Präventionsmaßnahmen gefunden werden.

3.3.2. *Aufbau der erforderlichen Infrastruktur*

In Gebieten mit einem hohen Waldbrandrisiko müssen für Feuerwehrleute und Einsatzkräfte detaillierte analoge und digitale Karten der vorhandenen, waldbrandrelevanten Infrastruktur zur Verfügung stehen. Ein Erfolgskonzept ist die neue Regelung in **Deutschland** hinsichtlich der Erstellung von Waldbrand-Bekämpfungskarten für Hochrisikogebiete. Um im Brandfall effizient agieren zu können, ist es wichtig, vorab die erforderliche **Infrastruktur** im Hinblick auf die präventive und direkte Waldbrandbekämpfung zu planen. Dazu gehören der Bau von Forststraßen, Sicherheitszonen und Wendepunkten, permanente Löschteiche, unterirdische Tanks oder Hydranten. Besonders in entlegenen Teilen der Alpenregion besteht oft ein Mangel an notwendiger Infrastruktur. In Zusammenarbeit mit den lokal betroffenen Waldeigentümern, Forstbehörden und Feuerwehrleuten, müssen auf einer gemeinschaftlichen und wissenschaftlich gestützten Basis geeignete Maßnahmen entwickelt und gute Förderinstrumente konzipiert werden. In **Slowenien** besteht der ehrgeizige Plan, in feuergefährdeten Gebieten fünfundzwanzig Meter Forststraßen je Hektar Waldfläche zu errichten (**Abbildung 25**).

Dichtes Netz an Forststraßen



Land: Slowenien
Umfang: Regional (Süden)

Problembeschreibung

- Langer Zeitraum bis zur ersten Bekämpfung eines Waldbrandes.
- In abgelegenen und für die Forstwirtschaft unprofitablen Gebieten herrscht ein Mangel an für Einsatzkräfte verfügbaren Forststraßen.



Lösung

- Bau von 600 km Forststraßen in einem Gebiet von 60.000 ha.
- Ziel ist die Errichtung von 25 m Forststraße pro Hektar in Gebieten mit einem hohen Brandrisiko.

Ergebnisse

- Das Gebiet ist nun für Feuerwehrleute und ihre Fahrzeuge erreichbar.
- Die durchschnittliche verbrannte Fläche pro Waldbrand nimmt ab und beträgt unter einem Hektar.
- Geringere Folgeschäden nach Waldbränden.
- Die Maßnahme garantiert forstliche Bewirtschaftung auch auf nicht profitablen Standorten.

Abbildung 25: Erfolgskonzept für die vorbereitende Waldbrandbekämpfung: Dichtes Netz an Forststraßen in Slowenien.

Der wichtigste Faktor für die Eindämmung eines Waldbrandes ist der **rasche Beginn der Löscharbeiten**. Bei einem Eingreifen innerhalb der ersten fünfzehn bis dreißig Minuten nach der Entzündung bzw. Meldung ist es möglich, das Feuer in der Entstehungsphase zu löschen und Schäden sowie Kosten gering zu halten. Dieses rasche Eingreifen wird durch eine enge Zusammenarbeit und Koordination zwischen den Boden- und Luftmannschaften ermöglicht.

Im Folgenden wird ein Schema beschrieben, das für den Alpenraum aktiviert werden könnte, sobald eine bestimmte Waldbrand-Gefahrenstufe überschritten wird:

- Gegebenenfalls (etwa in entlegenen Gebieten): Aufklärungsflüge, Beobachtungsposten an Aussichtspunkten oder automatische Systeme zur Rauchererkennung. In Zukunft könnte der Einsatz von Drohnen mit langer Flugzeit und hochauflösenden Kameras für die Branddetektion nützlich sein.
- Bereitschaft eines Helikopters inklusive Löschmannschaft (4-5 auf Waldbrand spezialisierte Feuerwehrleute) mit Handlöschgeräten, 1-2 Wasserkanistern mit ca. 1000 Liter Fassungsvermögen, leichten Rohren und Pumpen (vgl. Feuerspringer-Crew in den USA). Diese Einsatztruppe ist selbst an abgelegenen Orten sofort einsatzfähig.
- Bereitschaft eines leichten und flexiblen Hubschraubers mit einer Mindestkapazität von 800-1000 Liter Wasser oder feuerhemmendem Mittel.

Wird ein Waldbrand entdeckt, sollten gemeinsam mit dem spezialisierten Löschteam unverzüglich ein Hubschrauber angefordert und die lokalen Feuerwehren verständigt werden. Damit die Brandbekämpfung erfolgreich verläuft, müssen der Helikopter und die lokalen Feuerwehren via Funkkontakt koordiniert werden.

Das Hubschrauberteam wird am Boden abgesetzt, beurteilt die Situation und interveniert sofort. Kleine Drohnen können bei diesem Setting hilfreich sein, um a) die Übersicht zu bewahren, b) die aktuelle Situation an die Kommandozentrale weiterzugeben und c) mithilfe von thermischen Infrarotkameras ohne einen zusätzlichen Helikopter Schwelbrände zu finden. Es sind ggf. Schwierigkeiten bei der Koordination im Luftraum zu berücksichtigen, etwa wenn im Brandgebiet gleichzeitig Drohnen und Hubschrauber eingesetzt werden. Je nach Brandentwicklung gibt es zwei Szenarien:

- Der Waldbrand ist gelöscht oder unter Kontrolle gebracht: Das Hubschrauberteam übergibt die Fläche an die lokalen Feuerwehren für das Ablöschen und eine finale Kontrolle.
- Der Waldbrand dehnt sich weiter aus: Ein zweiter Helikopter wird angefordert und die Löscharbeiten werden fortgesetzt. Sind nicht genügend Einsatzkräfte oder Luftfahrzeuge vorhanden, wird weitere Unterstützung angefordert.

Ein solches Interventionsmodell kann – je nach Ausmaß der Waldbrandgefahr – eine Fläche von 1500 bis 5000 km² abdecken. Die Organisation dieses Schemas ist in den Alpen auf regionaler, aber auch auf nationaler oder europäischer Ebene umsetzbar. Allerdings ist eine Koordination auf europäischer Ebene wünschenswert, um a) keine Ressourcen für den Erwerb von Luftfahrzeugen/Drohnen zu verschwenden, b) deren Verwendung zu optimieren und c) im Fall einer hohen Brandgefahr über einem ausgedehnten Gebiet die gegenseitige Unterstützung garantieren zu können.

Eine solche Koordination bildet einen integralen Bestandteil des **RescEU**-Projekts der Europäischen Union für überregionale Katastrophen. Dieses System wurde bereits aktiviert und müsste an die Bedingungen im Alpenraum angepasst werden. Hierfür sollten die Rahmenbedingungen für den Einsatz und die **Kostenerstattung bei Helikopterunterstützung** auf staatlicher Ebene einheitlich geregelt werden. In **Deutschland** sind sämtliche Kosten für die Brandbekämpfung von den lokalen Gemeinden zu tragen, es sei denn, ein Katastrophenfall wird ausgerufen, was gewöhnlich bei allen Großbränden der Fall ist. In **Italien** sind die Kompetenzen klar: Die Regionen bezahlen ihre eigenen Leichthubschrauber, der Staat die nationale Feuerlöschflotte. In Tirol, **Österreich**, wurde unlängst eine neue Verordnung beschlossen, um den Gemeinden allfällige Kosten im Zusammenhang mit Luftunterstützung bei Waldbränden abzunehmen.

Eine andere Möglichkeit für den **raschen Beginn der Löscharbeiten** ist ein dichtes Netz an Freiwilligen Feuerwehren wie in **Österreich**. Dieses erlaubt selbst in entlegenen Gebieten einen prompten Erstangriff, gefolgt von spezialisierten Einsatzkräften und der Unterstützung durch Helikopter (**Abbildung 26**).

Dichtes Netz an Freiwilligen Feuerwehren



Land: Österreich
Umfang: Landesweit

Problembeschreibung

- In abgelegenen Gebieten der Alpen dauert es lange, bis die Feuerwehren mit der Bekämpfung eines Waldbrandes beginnen können. Die schlechte Erreichbarkeit und eine geringe Zahl an Einsatzkräften kann zu größeren und unkontrollierten Bränden führen, die nur schwer unter Kontrolle zu bringen sind.



Lösung

- Aufbau eines dichten Netzwerks an Freiwilligen Feuerwehren auf Gemeindeebene.
- Erste Anstrengungen wurden vor dem Jahr 1900 unternommen. Heute decken ca. 340.000 Mitglieder in 4500 Freiwilligen Feuerwehren eine Fläche von 84.000 km² ab.

Ergebnisse

- Die mittlere Erstangriffszeit bei Waldbränden in Österreich beträgt unter 20 Minuten.
- Freiwillige und gut ausgebildete Einsatzkräfte sind jederzeit verfügbar.
- In Österreich ist jeder 25ste Einwohner Mitglied einer Freiwilligen Feuerwehr. Dadurch wird auch das Bewusstsein zu Waldbränden auf breiter Basis erhöht.
- Die Kosten für Ausrüstung und Ausbildung werden von den Gemeinden, den Ländern und dem Bund gemeinsam getragen.

Abbildung 26: Erfolgskonzept für die Brandbekämpfung: Dichtes Netz an Freiwilligen Feuerwehren in Österreich.

3.4. Renaturierungsmaßnahmen nach Waldbränden

3.4.1. Monitoring und Fallstudien

Es ist notwendig, ein **umfassendes Monitoringprogramm** zu entwickeln, das möglichst viele **regionale Fallstudien** in unterschiedlichen Vegetationsformen abdeckt und dabei verschiedene Brandarten, geomorphologische Bedingungen sowie Intensitäten von Waldbränden berücksichtigt. Dieses Monitoringprogramm sollte als gemeinsame Initiative aller Alpenländer durchgeführt werden. In **Frankreich** wird eine Datenbank geführt, in der auftretende Naturgefahren nach Brandereignissen erfasst werden. Dieses System könnte als Prototyp für die Beobachtung von Waldbrandflächen dienen (**Abbildung 27**). Die größte Bedeutung hat dabei ein kontinuierliches Monitoring, beispielsweise im Hinblick auf die Überlebenswahrscheinlichkeit geschädigter Bäume, die Vegetationsentwicklung sowie die Dokumentation des Auftretens von Naturgefahren. Auch Erosionserscheinungen und die Rolle von Schädlingen und Krankheiten (Borkenkäfer, Pilze) sollten festgehalten werden.

Datenbank für Naturkatastrophen nach Bränden



Land: Frankreich
Umfang: Regional (Süden)

Problembeschreibung

- Fehlendes Wissen zu den Auswirkungen von Waldbränden hinsichtlich nachfolgender Naturgefahren.
- Es ist schwierig, rasch Entscheidungen zu notwendigen Maßnahmen für die Verhinderung von Naturgefahren zu treffen.



Lösung

- Erstellung einer Datenbank für naturgefahrenbedingte Schäden nach Waldbränden.
- Teilen und Verbreiten der Datenbank unter Stakeholdern und in der Öffentlichkeit.

Ergebnisse

- Erhöhtes Risikobewusstsein unter den Entscheidungsträgern und in der Bevölkerung.
- Bessere Grundlage für die lokale Risikobewertung und vereinfachter Beschluss notwendiger Schutzmaßnahmen.
- Die Datenbank unterstreicht die Notwendigkeit von Maßnahmen für die Minimierung des Risikos von Naturgefahren.

Abbildung 27: Erfolgskonzept für die Reduzierung der negativen Auswirkungen von Waldbränden: Datenbank für Naturgefahren nach Brandereignissen in Frankreich.

3.4.2. Minimierung des Auftretens von Naturgefahren

Erste Maßnahmen zur Minimierung des Auftretens von **Naturgefahren** können bereits **während der Löscharbeiten** erforderlich sein. Es ist zu überlegen, ob nicht nur an der Feuerfront, sondern auch innerhalb der verbrannten Fläche eingegriffen werden muss, um Schäden aufgrund anhaltender Schwelbrände an Baumwurzeln und der Humusdecke zu begrenzen. In **Österreich** wird dies bereits häufig durchgeführt, allerdings mehr aus Gründen der Vermeidung von Sekundärbränden. Insbesondere auf steilen Hängen, die nach dem Brand instabil werden und Naturgefahren begünstigen können, ist das Ablöschen von Glutnestern mit Luftunterstützung und spezialisierten Bodenteams erforderlich. Allerdings sollte man bei den angewandten Löschtechniken die **Sensibilität des Bodens** bedenken, da z. B. durch die Verwendung von Hochdruckrohren die Humusschicht weggeschwemmt werden kann.

Nach einem Waldbrand geringer Intensität sind gewöhnlich keine waldbaulichen Maßnahmen erforderlich, da die Bäume kaum geschädigt sind und die Schutzfunktion des Waldes erhalten bleibt. Wenn es sich jedoch um einen intensiven Schwelbrand oder sogar um ein Kronenfeuer handelt, müssen unter Umständen intensive Maßnahmen zur Wiederherstellung der Waldfunktionen durchgeführt werden (Heel 2015). Es sind allerdings keine technischen oder forstlichen Maßnahmen bekannt, mit denen man die von einem intensiven Waldbrand betroffene Fläche innerhalb eines annehmbaren Zeitraums und mit vertretbarem Aufwand unmittelbar gegen **Erosion** schützen kann. Das rasche **Aussäen ortstypischer Gräser** und mehrjähriger Stauden eignet sich, um kurzfristig erosionsgefährdete Bereiche zu schützen – sofern nach dem Feuer noch eine intakte Humusschicht vorhanden ist. Bei erheblichen Schäden unterstützen **Pflanzungen** mit standortsangepassten Baumarten die natürliche Regeneration. Sind Bäume massiv geschädigt oder bereits abgestorben, muss ein Kompromiss zwischen dem Entfernen der betroffenen Individuen und

ihrem Belassen am Brandort gefunden werden. Ein Teil der überlebenden Individuen kann, auch wenn sie stark geschädigt sind, auf der Fläche belassen werden, damit sie als Samenbäume und Schutz für die Sämlinge dienen. Selbst **abgestorbene Individuen** schützen einige Jahre lang vor Steinschlag und Lawinen und können sich auf Hängen mit starker Sonneneinstrahlung durch die Schattenwirkung positiv auf das Überleben der Jungpflanzen auswirken. Zusätzlich können Bäume gefällt und zwischen anderen Bäumen oder Wurzelstöcken parallel zum Hang angeordnet werden. Diese Maßnahme kann die Gefahr von Steinschlag reduzieren oder sogar ein laufendes Ereignis stoppen.

Die Regeneration nach einem Waldbrand lässt sich durch eine ökologisch basierte Bewirtschaftung verbessern. Dabei sollte berücksichtigt werden, wann Baumstämme absterben und es zur Öffnung des Kronendaches kommt. Auf Brandflächen geringer bis mittlerer Intensität sollte man mit **Schlägerungsarbeiten** 1-5 Jahre warten, um die Wahrscheinlichkeit einer Mast zu erhöhen. Im Fall einer Mast werden die Schlägerungen im darauffolgenden Winter durchgeführt, da die Samenproduktion und die Keimfähigkeit abnehmen. Die Ernte nach einem Waldbrand sollte nicht um mehr als fünf Jahre verschoben werden, da sich dies negativ auf einen bereits etablierten Jungwuchs auswirken kann. In Bereichen intensiver Brände kann die plötzliche Ansammlung von **liegendem Totholz** zum Verrutschen von Baumstämmen führen, was wiederum mechanische Verletzungen der Verjüngung begünstigt. Unter solchen Umständen sollte rechtzeitig geschlägert werden, um das Totholz durch gerichtetes Fällen zu stabilisieren. In Gebieten mit einem hohen Brandrisiko sollte bei der Aufarbeitung der Brandfläche ein Großteil des Totholzes entfernt werden. In Wäldern, in denen der Biodiversität eine hohe Bedeutung beigemessen wird, ist die Störung durch einen Waldbrand als Chance zu sehen. Speziell hier sollte das Post-fire-Management auch immer die Etablierung anderer Pflanzenarten forcieren.

Zusätzlich zu waldbaulichen Maßnahmen können nach einem Brand auch **technische Schutzmaßnahmen** erforderlich sein, insbesondere in Schutzwäldern auf Steilhängen. Schneerechen, Schneeböcke oder Schutzbauten gegen Steinschlag und Muren tragen dazu bei, die junge Baumvegetation und die darunterliegenden Infrastrukturen vor Massenbewegungen zu schützen.

3.5. Wissensvermittlung und Austausch

Seit dem Projekt ALP FFIRS, das 2012 zu Ende gegangen ist, hat es keine neuen Ansätze für ein **transnationales Netzwerk** auf Ebene der Alpenregion gegeben. Im Rahmen des GFMC (Global Fire Monitoring Center) in Freiburg sind die Akteure der damaligen Initiative durch das Euro-Alpine Regional Network miteinander verbunden und können sich informell im Rahmen von wissenschaftlichen Kongressen und Workshops austauschen. Darüber hinaus bestehen Kooperationen zwischen Interessensvertretern innerhalb der einzelnen Länder (in **Österreich** z. B. zwischen Behörden, Einsatzkräften und Wissenschaftlern), der länderübergreifende Austausch ist derzeit jedoch gering. Einerseits besteht die Möglichkeit der finanziellen Förderung solcher Projekte, beispielsweise über *Interreg*. Auf der anderen Seite lohnt es sich, eine gute Zusammenarbeit zwischen lokalen Akteuren durch Treffen mit Stakeholdern aus anderen Regionen zu etablieren. Dies ist besonders dann hilfreich, wenn die externen Experten Ideen und lokale Erfahrungen einbringen können. In jedem Fall ist ein Multi-Stakeholder-Ansatz mit einem hohen Maß an Zusammenarbeit und Austausch erforderlich. Relevante Stakeholder in der Alpenregion sind die lokalen und überregionalen Behörden, Einsatzkräfte, Wissenschaftler, Hubschrauberunternehmen, die Bundespolizei, das Bundesheer, lokale Firmen für Brandbekämpfungsausrüstung, Bergrettungsorganisationen, Organisationen im Bereich Lawinen- und Wildbachschutz, landwirtschaftliche Gemeinschaften, Tourismusverbände, Wasserschutzeinrichtungen, die Betreiber

von Infrastruktureinrichtungen (Eisenbahn, Straßen, Mobilfunk, Stromleitungsnetz) und verschiedene NGOs. Es ist von Vorteil und notwendig, eine größere Anzahl an Experten für Multi-Stakeholder-Ansätze zu gewinnen, z. B. durch die Organisation lokaler, in Landessprache abgehaltener Seminare oder mittels simultaner Übersetzungen bei Großveranstaltungen. Ein Beispiel für ein solches Erfolgskonzept ist der Aufbau eines Multi-Stakeholder-Forums nach extremen Waldbränden in **Italien** (**Abbildung 28**).

Multi-Stakeholder-Forum nach extremen Brandereignissen



Land: Italien
Umfang: Regional (Piemont)

Problembeschreibung

- Mehrere simultane Großbrände infolge einer außergewöhnlichen Dürre (2017).
- Geschädigte Flächen umfassen Wälder mit dem Nutzungsziel Holzgewinnung, Schutz der Biodiversität, Erholung und Hangstabilität.
- Durch die beschränkten Ressourcen und Stakeholder mit gegensätzlichen Interessen ist es schwierig, prioritäre Maßnahmen auszuwählen.

Lösung

- Expertenrunde mit sämtlichen Stakeholdern.
- Diskussion von Möglichkeiten zur Wiederherstellung der Brandflächen, basierend auf dem Stand des Wissens und den verfügbaren Ressourcen.
- Entwicklung von Richtlinien für Waldeigentümer für die Wiederherstellung von Brandflächen.
- Treffen mit der lokalen Bevölkerung, um die Ursachen, Lösungen und getroffenen Maßnahmen zu diskutieren.
- Höchste Priorität wurde der Hangstabilisierung eingeräumt, speziell entlang von Straßen mit vielen Erholungsnutzern.

Ergebnisse

- Die Gesprächsrunde ermöglichte die Beschlussfassung dringender Maßnahmen für das Post-fire-Management.
- Den Waldeigentümern konnte mit leicht verständlichen Richtlinien geholfen werden.
- Öffentliche Gelder wurden zu den effektivsten Lösungen kanalisiert.
- Der gesellschaftlichen Meinung wurde mittels öffentlichen Anhörungen und Zeitungsartikeln besondere Aufmerksamkeit geschenkt.



Abbildung 28: Erfolgskonzept für Wissensvermittlung und Austausch: Einrichtung eines Multi-Stakeholder-Forums nach extremen Waldbränden in Norditalien.

LÄNDERÜBERGREIFENDE AUSBILDUNG VON FEUERWEHREN UND SPEZIALISIERTEN EINSATZKRÄFTEN

Eine Möglichkeit für die technische und taktische Spezialausbildung für Feuerwehrleute bietet das CESIR (Centre Euro-Méditerranéen de Simulation des Risques) an der Schule für zivile Sicherheitsanwendungen in Valabre, **Frankreich**. Es erlaubt Trainings und Instruktionen per Computersimulationen auf der Basis von Brandsituationen in einem alpinen Umfeld. Dies ist insbesondere für Leiter von Einsatzgruppen relevant, die verschiedenen Taktiken, Techniken und die Luftunterstützung koordinieren müssen. Die bayrische Bergrettungsorganisation in **Deutschland** besitzt ein Indoor-Trainingszentrum für die Simulation von Hubschraubereinsätzen, die auch verwendet werden kann, um die Waldbrandbekämpfung zu trainieren (<http://www.bw-zsa.org>).

80

80 million people, 7 countries, 48 regions,
mountains and plains addressing together
common challenges and opportunities



Interreg
Alpine Space
AlpGov



The project is co-financed by the European Regional Development Fund

WALDBRANDFORSCHUNG

Es ist notwendig, die **Waldbrandforschung in der Alpenregion fortzusetzen** und die Kooperation zu intensivieren, um die kurz-, mittel- und langfristigen Auswirkungen von Waldbränden auf die Schutzfunktion der Bergwälder sowie auf den Nährstoff- und Kohlenstoffkreislauf beurteilen zu können. So bedarf es weiterer Forschungsarbeiten für die Umsetzung **integrierter Systeme zur Abschätzung der Waldbrandgefahr**. Auswirkungen auf die Fichte und mögliche zukünftige **Wechselwirkungen zwischen natürlichen Störungen** (Hitzewellen, Trockenperioden, Windwürfe, Borkenkäfer) sollten untersucht werden. Hinsichtlich der Effekte von Waldbränden ist eine verbesserte **Beurteilung des Brandverhaltens** und der Brandintensität erforderlich, inklusive Baumsterblichkeit und Auswirkungen auf den Boden. Bewährte Methoden und Erfolgskonzepte sollten an Stakeholder und Praktiker weitergegeben werden. Der Umgang mit der Waldbrandfläche bei Absam in Tirol, **Österreich**, kann hier als gelungenes Beispiel genannt werden. Verschiedene von der Landesforstdirektion Tirol koordinierte Projekte wurden in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten (Universität für Bodenkultur Wien, Universität Innsbruck, BFW Innsbruck) initiiert. Erste Ergebnisse zu den Auswirkungen des Brandes wurden bereits veröffentlicht (Lechner et al. 2019; Stubenböck 2016).

In zukünftigen Studien sind auch die erwartete **Ausbreitung von Laubbaumarten** (z. B. Buche, Eiche, Kastanie) und ihre mögliche Anfälligkeit für Waldbrände im Frühjahr und Sommer zu berücksichtigen. Die Physiologie der alpinen Ökosysteme (z. B. Resistenz einheimischer Baumarten gegen Hitze/Feuer, Langzeitschäden nach Bränden oder die Etablierung neuer Wälder nach Bränden) sollte in Zukunft ebenfalls ein Schwerpunkt der Forschung sein. Die **Vorhersage des zukünftigen Waldbrandregimes** ist entscheidend für die Identifizierung neuer, mit Bränden verbundener Gefahren sowie für die Adaptierung von Katastrophenmanagement-Strategien. Daher ist die **Sicherstellung von Förderungen** aus nationalen und europäischen Mitteln für die zukünftige Waldbrandforschung in der Alpenregion essentiell.

GEMEINSAME TERMINOLOGIE

Während des EU-Projekts ALP FFIRS wurde ein mehrsprachiges Handbuch mit den gängigsten Begriffen im Zusammenhang mit Waldbränden erarbeitet. Dieses Handbuch kann als Grundlage für die Verbesserung des zwischenstaatlichen Verständnisses der verschiedenen Fachausdrücke zu Waldbränden verwendet werden. Im Rahmen des JRC-Projekts „Determination of forest fire causes and harmonization of methods for reporting them“ (Savazzi et al. 2010) wurde eine Terminologie der Brandursachen aus 24 Ländern zusammengestellt und ein Vorschlag für ein harmonisiertes EU-Klassifikationsschema präsentiert. Die wichtigsten und gängigsten Begriffe (z. B. „Waldbrand“) sollten für alle in ein integriertes Waldbrandmanagement involvierten Stakeholder klar sein. Bei Workshops, Trainings und internationalen Workshops ist ebenfalls eine gemeinsame Terminologie notwendig.

Danksagung

Unser Dank gilt Emma Paturle und Trung Hoàng für die Unterstützung bei den Vorbereitungen zum Waldbrand-Workshop und ihre Hilfe bei der Aufarbeitung der Brandstatistiken. Ebenfalls bedanken wir uns beim Österreichischen Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), das die Räumlichkeiten für den Waldbrand-Workshop zur Verfügung gestellt hat. Ein Dankeschön geht auch an alle an dieser Studie beteiligten Autoren sowie an sämtliche Workshop-TeilnehmerInnen und ExpertInnen, die die EUSALP-Umfrage beantwortet haben.



Abbildung 29: Teilnehmer des EUSALP-Waldbrandworkshops im Juni 2019 in Wien.
Foto: Institut für Waldbau, BOKU Wien.

Literaturverzeichnis

Agee J.K., Bahro B., Finney M.A., Omi P.N., Sapsis D.B., Skinner C.N., van Wagendonk J.W., Weatherspoon C.P., 2000. The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management. *Forest Ecology and Management*, 127, 55-66.

Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259, 660-684.

Anderegg W.R.L., Hicke J.A., Fisher R.A., et al., 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist* 208, 674-683.

Arndt N., Vacik H., Koch V., Arpacı A., Gossow H., 2013. Modeling human-caused forest fire ignition for assessing forest fire danger in Austria. *iForest*, 201(6), S. 315-325.

Arpacı A., Eastaugh C.S., Vacik H., 2013. Selecting the best performing fire weather indices for Austrian ecoregions. *Theoretical and Applied Climatology*, 114, S. 393-406. DOI: 10.1007/s00704-013-0839-7

Ascoli D., Castagneri D., Valsecchi C., Conedera M., Bovio G., 2013a. Post-fire restoration of beech stands in the Southern Alps by natural regeneration. *Ecological Engineering*, 54, 210-217.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.032>

Ascoli D., Lonati M., Marzano R., Bovio G., Cavallero A., Lombardi G., 2013b. Prescribed burning and browsing to control tree encroachment in southern European heathlands. *Forest Ecology and Management* 289, pp 69-77.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.041>

Ascoli D., Bovio G., 2013. Prescribed burning in Italy: issues, advances and challenges. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(2), 79.

Ascoli D., Vacchiano G., Motta R., Bovio G., 2015a. Building Rothermel fire behaviour fuel models by genetic algorithm optimisation. *International Journal of Wildland Fire*, 24(3), 317-328.

Ascoli D., Vacchiano G., Maringer J., Bovio G., Conedera M., 2015b. The synchronicity of masting and intermediate severity fire effects favors beech recruitment. *Forest Ecology and Management*, 353, 126-135.

Bajocco S., Pezzatti G.B., De Angelis A., Conedera M., Ricotta C., 2011. Bootstrapping wildfire selectivity for the forest types of Canton Ticino (Switzerland). *Earth Interactions*, 15, 19 (11 pp.). <https://doi.org/10.1175/2011EI387.1>

Bär A., Nardini A., Mayr S., 2018. Post-fire effects in xylem hydraulics of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*. *New Phytologist* 217, 1484-1493.

Bär A., Michaletz S., Mayr S., 2019. Fire effects on tree physiology. *Tansley Review. New Phytologist*, 223, 1728-1741.

Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., García-Herrera R., 2011. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Scienceexpress*. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1201224>

Beghin R., Lingua E., Garbarino M., Lonati M., Bovio G., Motta R., Marzano R., 2010. *Pinus sylvestris* forest regeneration under different post-fire restoration practices in the northwestern Italian Alps. *Ecological Engineering*, 36(10), 1365-1372.

Boboulos M., Purvis M.R.I., 2009. Wind and slope effects on ROS during the fire propagation in East-Mediterranean pine forest litter. *Fire Safety Journal*, 44, S. 764–769.

Bundesforschungszentrum für Wald, 2012. Österreichs Wald. <http://bfw.ac.at> [12.09.2018]

Cane D., Wastl C., Barbarino S., Renier L.A., Schunk C., Menzel A., 2013. Projection of fire potential to future climate scenarios in the Alpine area: some methodological considerations. *Climatic change*, 119, 733-746. doi: 10.1007/s10584-013-0775-7

Carrega P., 1995. A method for the reconstruction of mountain air temperatures with automatic cartographic applications. *Theor. Appl. Climatol.* 52, 69-84.

Carrega P., Geronimo N., 2007. Risque météorologique d'incendie de forêt et méthodes de spatialisation pour une cartographie a fine echelle. Actes du XXeme colloque international de l'Association Internationale de Climatologie. Tunis, September 2007.

Choat B., Brodribb T.J., Brodersen C.R., Duursma R.A., Lopez R., Medlyn B.E., 2018. Triggers of tree mortality under drought. *Nature Plant* 558, 531-539.

Chtioui Y., Kaulfuß S., 2019. Waldbrandüberwachung. FVA Deutschland. Available online: https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_waldbrand_wb3/index_DE [08.09.2019]

Chuvieco E., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Salas J., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodríguez F., Molina J.R., Herrera A., Zamora R., 2010. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), S. 46–58.

Conedera M., Peter L., Marxer P., Forster F., Rickenmann D., Re L., 2003. Consequences of forest fires on the hydrogeological response of mountain catchments: a case study of the Riale Buffaga, Ticino, Switzerland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(2), 117-129. <https://doi.org/10.1002/esp.425>

Conedera M., Cesti G., Pezzatti G., Zumbrunnen T., Spinedi F., 2006. Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. *Forest Ecology and Management - FOREST ECOL MANAGE*. 234. 10.1016/j.foreco.2006.08.096.

Conedera M., Vassere S, Neff C, Meurer M, Krebs P., 2007. Using toponymy to reconstruct past land use: a case study of 'brüsáda' (burn) in southern Switzerland. *Journal of Historical Geography* 33: 729-748.

Conedera M., Krebs P., 2010. La pratica del fuoco pastorale nella Svizzera sudalpina dal tardo Medioevo ai nostri giorni. In: *Proceedings of the meeting "Al fuoco! Usi, rischi e immaginari collettivi dal Medioevo al XX secolo"* (Lorenzetti L, Giannò V eds). Mendrisio (Sondro - Italy) 15-17 Nov 2007. LabiSAIp ed., Giampiero Casagrande Ed., Milan, Italy, pp. 191-215.

Conedera M., Lucini L., Valse E., Ascoli D., Pezzatti G.B., 2010. Fire resistance and vegetative recruitment ability of different deciduous trees species after low- to moderate-intensity surface fires in southern Switzerland. D. X. Viegas (Ed.), (p. (12 pp.)). Presented at the VI international conference on forest fire research. Coimbra: ADAI/CEIF University of Coimbra.

Conedera M., Brini M., Ascoli D., Fodera G.M., 2014. FireLess II: ein innovatives, kabelloses System zur Evaluation der Waldbrandgefahr. *Technick in Bayern* 5: 20:21.

Conedera M., Tonini M., Oleggini L., Vega Orozco C., Leuenberger M., Pezzatti G.B., 2015. Geospatial approach for defining the Wildland-Urban Interface in the Alpine environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 52, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.02.003>

Conedera M., Krebs P., Valse E., Cocca G., Schun, C., Menzel A., ... Pezzatti G.B., 2018. Characterizing Alpine pyrogeography from fire statistics. *Applied Geography*, 98, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.07.011>

De Angelis A., Ricotta C., Conedera M., Pezzatti G.B., 2015. Modelling the meteorological forest fire niche in heterogeneous pyrologic conditions. *PLoS One*, 10(2), e0116875 (17 pp.). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116875>

DeBano L.F., 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology*, 231-232, 195-206.

Dube O.P, 2009. Linking fire and climate: interactions with land use, vegetation, and soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Volume 1, Issue 2, 161-169.

Dupire S., Curt T., Bigot S., Fréjaville T., 2019. Vulnerability of forest ecosystems to fire in the French Alps. *European Journal of Forest Research*, 1-18.

Eastaugh C.S., Vacik H., 2012. Fire size/frequency modelling as a means of assessing wildfire database reliability. *Austrian Journal of forest Science*, 129(3/4), S. 228–247.

EFFIS, o. J. Copernicus. Emergency Management Service. https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html [16.09.2019]

European Commission, 2019. Legislation on protecting the EU's forest against fire. Available from:
<https://ec.europa.eu/environment/forests/fires.htm> [06.08.2019]

European Environment Agency, 2019. Global and European temperature Report. Available at:
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-9/assessment>
[01.07.2019]

Extra-Blatt, 2018. Brand in Siegburg – Kanzlerin wünscht Verletzten schnelle Genesung. Rheinische Anzeigenblätter.
<https://www.rheinische-anzeigenblaetter.de/mein-blatt/extra-blatt/siegburg/brand-in-siegburg-kanzlerin-wuenscht-verletzten-schnelle-genesung-31078582> [12.09.2018]

Fernandes P.M., Davies G.M., Ascoli D., Fernández C., Moreira F., Rigolot E., ... Molina D., 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(s1), e4-e14.

Fox D.M., Maselli F., Carrega P., 2008. Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk. *Catena* 75 (2008), 326-335.

Fréjaville T., Curt T., Carcaillet C., 2016. Tree cover and seasonal precipitation drive understory flammability in alpine mountain forests. *Journal of Biogeography* 43, 1869–1880.

Ganthaler A., Bauer H., Gruber A., Mayr M., Oberhuber W., Mayr S., 2014. Effects of the needle bladder rust (*Chrysomyxa rhododendri*) on Norway spruce - implications for subalpine forests. *Journal of European Forest Research* 133, 201-211.

Gehring E., Conedera M., Maringer J., Giadrossich F., Guastini E., Schwarz M., 2019. Shallow landslide disposition in burnt European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Scientific Reports*, 9(1), 8638 (11 pp.).
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-45073-7>

Ghiringhelli A., Pezzatti G.B., Conedera M., 2019. Das Konzept „Waldbrand 2020“ des Kantons Tessin. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 170(5), 242-250.

Girardin M.P., Terrier A., 2015. Mitigating risks of future wildfires by management of the forest composition: an analysis of the offsetting potential through boreal Canada. *Climatic Change*, 130: 587–601

Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J., Stoffel M., 2014. 21st century climate change in the European Alps – A review. *Science of the Total Environment*, 493, S. 1138–1151. 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.

Goldammer J., Mitsopoulos I., Mallinis G., Woolf M., 2017. *Wildfire Hazard and Risk Assessment. Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment, Hazard Specific Risk Assessment.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).

González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Almendros G., Knicker H., 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. *Environment International*, 30, 855-870

Gossow H., Hafellner R., Vacik H., Huber T., 2009. Major Fire Issues in the Euro-Alpine Region – the Austrian Alps. *International Forest Fire News IFFN* 38, 1-10, ISSN 1029-0864

Hardy C.C., 2005. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management* 211 (1–2), pp 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.029>

Heel M., 2015. Waldbrände in den Nördlichen Kalkalpen – raumzeitliche Verteilung und Beispiele lokaler Auswirkungen. Dissertation, Universität Augsburg, Fakultät für Angewandte Informatik.

Hofmann C., Conedera M., Delarze R., Carraro G., Giorgetti P., 1998. Effets des incendies de forêt sur la végétation au Sud des Alpes suisses. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft: Vol. 73*. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.

Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S., 2015. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications* 2015 (6), 7537.

König H.C., 2007. Waldbrandschutz: Kompendium für Forst und Feuerwehr. Fachverlag Matthias Grimm, 197 p., ISBN 978-3940286017

Lahaye S., 2018. Comprendre les grands feux de forêt pour lutter en sécurité. Thèse de doctorat en Environnement et archéologie, l'École pratique des hautes études, Paris, et de l'Institut des sciences de l'évolution, Montpellier. <http://www.theses.fr/2018PSLEP042>

Lahaye S., Curt T., Fréjaville T., Sharples J., Paradis L., Hély C., 2018. What are the drivers of dangerous fires in Mediterranean France? *International Journal of Wildland Fire*, 27, 155-163.

Lawrence J.G., Colwell A., Sexton O.J., 1991. The ecological impact of allelopathy in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). *American Journal of Botany*, 78 (7), 948-958.

Lexer M.J., Rabitsch W., Grabherr G., Dokulil M., Dullinger S., Englisch J., Essl F., Gollmann G., Gottfried M., Graf W., Hoch G., Jandl R., Kahrer A., Kainz M., Kirisits T., Netherer S., Pauli H., Rott E., Schleper C., Schmidt-Kloiber A., Schmutz S., Schopf A., Seidl R., Vogl W., Winkler H., Zechmeister H., 2014. Der Einfluss des Klimawandels auf die Biosphäre und Ökosystemleistungen. In: *Austrian Panel on Climate Change (APCC), Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, S. 467–556.

Lonati M., Gorlier A., Ascoli D., Marzano R., Lombardi G., 2009. Response of the alien species *Panicum acuminatum* to disturbance in an Italian lowland heathland. *Botanica Helvetica* 119: 105-111

Maringer J., Wohlgemuth T., Neff C., Pezzatti G.B., Conedera M., 2012. Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region. *Flora*, 207(1), 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.07.016>

Maringer J., Ascoli D., Dorren L., Bebi P., Conedera M., 2016a. Temporal trends in the protective capacity of burnt beech forests (*Fagus sylvatica* L.) against rockfall. *European Journal of Forest Research*, 135(4), 657-673.

<https://doi.org/10.1007/s10342-016-0962-y>

Maringer J., Ascoli D., Küffer N., Schmidtlein S., Conedera M., 2016b. What drives European beech (*Fagus sylvatica* L.) mortality after forest fires of varying severity? *Forest Ecology and Management*, 368, 81-93.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.008>

Marzano R., Garbarino M., Marcolin E., Pividori M., Lingua E., 2013. Deadwood anisotropic facilitation on seedling establishment after a stand-replacing wildfire in Aosta Valley (NW Italy). *Ecological Engineering*, 51, 117-122.

McLeod R.N., Pascoe S.M., Teague B.G., 2009. 2009 Victorian Bushfires Royal Commission: Interim report. Government Printer for the State of Victoria, Melbourne.

Michaletz S.T., Johnson E.A., 2007. How forest fires kill trees: a review of the fundamental biophysical processes. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22, 500-515.

Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Barbati A., Corona P., Vaz P., Xanthopoulos G., Mouillot F., Bilgili E., 2011. Landscape – wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management* 92: 2389–2402.

Moretti M., Barbalat S., 2004. The effects of wildfires on wood-eating beetles in deciduous forests on the southern slope of the Swiss Alps. *Forest Ecology and Management*, 187(1), 85-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00314-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00314-1)

Moretti M., Obrist M.K., Duello P., 2004. Arthropod biodiversity after forest fires: winners and losers in the winter fire regime of the southern Alps. *Ecography*, 27, 173-186.

Moretti M., Duelli P., Obrist M.K., 2006. Biodiversity and resilience of arthropod communities after fire disturbance in temperate forests. *Oecologia*, 149(2), 312-327. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0450-z>

Müller T., 2007. Wirkung von Glasscherben bei der Entzündung von Streuauflagen. Diplomarbeit, Abteilung für Bodenkunde und Bodenphysik, Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, 92 S. (unveröffentlicht)

Müller M.M., Vacik H., Diendorfer G., Arpaci A., Formayer H., Gossow H., 2013. Analysis of lightning-induced forest fires in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1/2), S. 183–193.

Müller M.M., Vacik H., Valsecchi E., 2015. Anomalies of the Austrian Forest Fire Regime in Comparison with Other Alpine Countries: A Research Note. *Forests*, 2015(6), S. 903–913.

Müller M.M., Vacik H., 2017. Characteristics of lightnings igniting forest fires in Austria. *Agricultural and Forest Meteorology*. 240-241, 26-34.

Müller M.M., Vilà-Vilardell L., Vacik H., 2020. Towards an integrated forest fire danger assessment system for the European Alps. *Ecological Informatics*, accepted.

Neary D.G., Klopatek C.C., DeBano L.F., Ffolloitt P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51-71.

NFPA, National Fire Protection Association, 2019. Firewise USA – Residents reducing wildfire risks. <https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Wildfire/Firewise-USA> [03.09.2019]

Ogris N., 2018. Daily forecast of meteorological fire risk of forests in Slovenia by model FWI-INCA. Forest health forecasts. URL: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=42, DOI: 10.20315/NZG.42

Otto H.J., 1980. Waldbauliche Überlegungen und Maßnahmen im Gefolge der Waldbrände von 1975 und 1976 in Niedersachsen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 99(1), S. 385–388.

Pauli H., Gottfried M., Grabherr G., 2003. Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of Mountain Ecology* 7.

Pausas J.G., 2017. Fire danger, fire hazard, fire risk ... <https://jgpausas.blogs.uv.es/2017/08/05/fire-danger-fire-hazard-fire-risk> [15.09.2019]

Pezzatti G.B., Bajocco S., Torriani D., Conedera M., 2009. Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland). *Plant Biosystems*, 143(3), 609-620. <https://doi.org/10.1080/11263500903233292>

Pezzatti G.B., Zumbrunnen T., Bürgi M., Ambrosetti P., Conedera M., 2013. Fire regime shifts as a consequence of fire policy and socio-economic development: an analysis based on the change point approach. *Forest Policy and Economics*, 29, 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.07.002>

Pezzatti G.B., Bertogliati M., Gache S., Reinhard M., Conedera M., 2019. Swissfire: technisch modernisiert und dank Archivrecherchen inhaltlich erweitert. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*: September 2019, Vol. 170, No. 5, pp. 234-241.

Pötzelsberger E., Lapin K., Brundu G., 2018. National and subnational legal frameworks on non-native tree species in Europe. In: Pötzelsberger E, Spiecker H, Hasenauer H, Konnerth M, Mohren G.M.J, Gazda A. (Eds.). COST Action FP1403 NNEXT – International Conference 'Non-native tree species for European forests', Vienna, Austria, 12-14 September 2018. Book of Abstracts, Universität für Bodenkultur, ISBN: 978-3-900932-59-6.

Providoli I., Elsenbeer H., Conedera M., 2002. Post-fire management and splash erosion in a chestnut coppice in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 162, 219-229. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00517-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00517-5)

Regione Piemonte, 2018. Piano straordinario di interventi di ripristino del territorio percorso dagli incendi boschivi dell'autunno 2017. Available online:

<https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-04/Piano%20Straordinario%20interventi%20di%20ripristino.pdf> [30.11.2019]

Reinhard M., Beyeler S., Plüss T., Pezzatti G.B., Conedera M., 2019. La gestion des incendies de forêts en Suisse: la vision nationale de l'OFEV. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 170(5), 281-284.

Rizzolo R., 2016. Fuel models development to support spatially-explicit forest fire modelling in eastern Italian Alps. Regional Council deliberation n.59 of May 18th 2018.

Roosli B., Felder U., Zahner M., 2019. Waldbrandgefahr: koordinierte Warnung in der Zentralschweiz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 170(5), 274-277.

Sande Silva J., Rego F., Fernandes P., Rigolot E., 2010. Towards Integrated Fire Management – Outcomes of the European Project Fire Paradox. Research Report 23. European Forest Institute. ISBN: 970-952-5453-48-5

San-Miguel-Ayanz J., Costa H., de Rigo D., Libertá G., Vivancos T.A., Durrant T., Nuijten D., Löffler P., Moore P., 2018. Basic criteria to assess wildfire risk at the pan-European level. JRC Technical Reports. EUR 29500 EN, ISBN 978-92-79-98200-2, doi:10.2760/052345

Sass O., Heel M., Leistner I., Stöger F., Wetzler K.F. Friedmann A., 2012. Disturbance, geomorphic processes and regeneration of wildfire slopes in North Tyrol. Earth Surface Processes and Landforms, 37(8), S. 883–889.

Sass O., 2014. FIRIA – Fire Risk and Vulnerability of Austrian Forests under the Impact of Climate Change. Endbericht. APRP 3rd Call 2010. <https://www.klimafonds.gv.at/report/acrp-3rd-call-2010> [19.12.2018]

Sass O. (Hrsg.), 2019. Waldbrände in den Nordtiroler Kalkalpen. Innsbrucker Geographische Studien Bd. 41.

Savazzi R., Duché Y., Ganteaume A., Piwnicki J., Lourenço L., Bento Gonçalves A., Ferreira A., SuarezBeltran J., 2010. Analysis of fire causes classification schemes adopted in Europe and elsewhere (Final Report). Deliverable D 2.2. Contract number 384 340 “Determination of forest fire causes and harmonisation for reporting them”. European Commission-JRC, p 71.

http://www.uc.pt/fluc/nicif/Projetos/Internacionais/jrc/relatorio_final/Analyses_of_fire_causes.pdf

Schuck C., Wastl C., Leuchner M., Schuster C., Menzel A., 2013. Forest fire danger rating in complex topography – results from a case study in the Bavarian Alps in autumn 2011, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 2157-2167, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2157-2013>

Seidl R., Schelhaas M.J., Rammer W., Verkerk P.J., 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. Nature Climate Change 4: 806–810. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2318>

- Seidl R., Donato D.C., Raffa K.F., Turner M.G., 2016. Spatial variability in tree regeneration after wildfire delays and dampens future bark beetle outbreaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (46), 13075-13080.
- Stubenböck F., 2016. Effekt von Waldbrand auf die Mortalität und Regenerationsfähigkeit von Schutzwald im inneralpinen Raum am Fallbeispiel Absamer Vorberg. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau.
- Šturm T., Šumrada R., Mikoš M., Jurc M., Turk G., Podobnikar T., Hladnik D., 2013. Forest fire occurrence prediction in Slovenia using GIS technology. University in Ljubljana. URN:NBN:SI:DOC-VH662VJB. <http://www.dlib.si>
- Tedim F., Leone V., Amraoui M., Bouillon C., Coughlan M.R., Delogu G.M., Fernandes P.M., Ferreira C., McCaffrey S., McGee T.K., Parente J., Paton D., Pereira M.G., Ribeiro L.M., Viegas D.X., Xanthopoulos G., 2018. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire* 1 (9).
- Tinner W., Conedera M., Ammann B., Lotter A.F., 2005. Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. *Holocene*, 15(8), S. 1214–1226.
- Trnka M., Balek J., Štěpánek P., Zahradníček P., Možný M., Eitzinger J., Žalud Z., Formayer H., Turňa M., Nejedlík P., Semerádová D., Hlavinka P., Brázdil R., 2016. Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. *Climate Research*, 70(2), S. 143–160. DOI: 10.3354/cr01420.
- TUM, Technische Universität München, 2018. Multicopter-Projekt CopKa: Echtzeitbilder für den Feuerwehreinsatz. <https://www.mw.tum.de/aktuelles/news-singleview/article/multicopter-projekt-copka-echtzeitbilder-fuer-den-feuerwehreinsatz> [13.11.2019]
- Turner M.G., Romme W.H., Gardner R.H., Hargrove W.W., 1997. Effects of fire size and pattern on early succession in Yellowstone National Park. *Ecological Monographs*, 67 (4), 411-433.
- Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., and Motta R., 2018. Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 935–948.
- Vacik H., Arndt N., Arpaci A., Koch V., Müller M.M., Gossow H., 2011. Characterisation of forest fires in Austria. *Austrian Journal of Forest Science*, 128(1), S. 1–32.
- Valese E., Driussi M., Held A.C., Gottardo E., Ascoli D., Anfodillo T., 2011. The pilot project Ohonj na Buonah for studying the application of prescribed burning in the Eastern Alps of Italy (Friuli-Venezia Giulia region). *Proceedings of the 5th International Wildland Fire Conference*.
- Valese E., Conedera M., Held A.C., Ascoli D., 2014. Fire, humans and landscape in the European Alpine region during the Holocene. *Anthropocene*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2014.06.006>
- Van Wagner C.E., 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa. Forestry Technical Report 35, 35 p.

Vergani C., Werlen M., Conedera M., Cohen D., Schwarz M., 2017. Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest. *Forest Ecology and Management*, 400, 339-352.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.005>

Viegas D.X., Pita L.P., 2004. Fire spread in canyons. *International Journal of Wildland Fire* 13, 253-274.

<https://doi.org/10.1071/WF03050>

Wastl C., Schunk C., Leuchner M., Pezzatti G.B., Menzel A., 2012. Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology* 162-163, 1-13.

Westerling A.L., Turner M.G., Smithwick E.A.H., Romme W.H., Ryan M.G., 2011. Continued warming could transform Greater Yellowstone fire regimes by mid-21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Aug 2011, 108 (32) 13165-13170; DOI: 10.1073/pnas.1110199108

Wohlgemuth T., Brigger A., Gerold P., Laranjeiro L., Moretti M., Moser B., ... Conedera M., 2012. Leben mit Waldbrand am Beispiel von Leuk (VS) 2003. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 157(3-4), 97-106. <http://www.ngzh.ch/publikationen/vjs/157/3-4>

ZAMG, 2018. Information zur Waldbrandgefahr. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetter-oesterreich/waldbrand> [13.04.2018]

Zumbrunnen T., Bugmann H., Conedera M., Bürgi M., 2009. Linking Forest Fire Regimes and Climate - A Historical Analysis. *Ecosystems* 12: 73–86. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-008-9207-3>

NATIONALE UND REGIONALE WALDBRAND-DATENBANKEN:

Österreich:

Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur Wien, Waldbrand-Datenbank Österreich
<https://fire.boku.ac.at/firedb>

Frankreich:

Französisches Ministerium für Landwirtschaft und Ernährung, Französische Waldbrand-Datenbank (BDIFF)
<http://bdiff.ifn.fr>

Deutschland:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland
https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Wald/wald_node.html

Italien:

Zivilschutzabteilungen der Regionen Piemont, Ligurien, Lombardei, Aostatal, Friaul-Julisch Venezien, Venedig, Autonome Provinz Trient und Autonome Provinz Bozen-Südtirol

Slowenien:

Slowenischer Forstdienst
<http://www.zgs.si/index.html>

Schweiz:

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Waldbrand-Datenbank „Swissfire“
<https://www.wsl.ch/en/services-and-products/data-monitoring-and-inventories/swissfire.html>

WEITERE LINKS:

Sub-Regional Euro-Alpine Wildland Fire Network
<https://gfmco.online/globalnetworks/EuroAlpine/EuroAlpine.html>

Waldbrand-Blog Österreich
<https://fireblog.boku.ac.at>

Anhang

Übersicht verwendeter Begriffe und Definitionen

WALDBRAND: Unkontrollierter Brand (teilweise) in einem Waldgebiet, einschließlich abgeholzter Flächen, Jungwald, Niederwald und Vegetation an der alpinen Waldgrenze, unabhängig vom Brandtyp (Schwelbrand, Bodenfeuer, Kronenfeuer), der Brandfläche und Ursache (z. B. auch einzelner, durch Blitzschlag entzündeter Baum).

ALPENREGION: Geographisch definierte Bergregion in Mitteleuropa gemäß den 48 für die EUSALP-Gruppe genannten Regionen (<https://www.alpine-region.eu/7-countries-and-48-regions>). Für unsere Analysen wurde eine exaktere Übereinstimmung der Alpenregion gemäß der durch die Alpenkonvention (<http://webgis.alpconv.org>) definierten Grenze durch Aggregieren der verfügbaren Daten auf NUTS-3-Ebene erreicht.

BEHÖRDEN: Renommierte Personen des öffentlichen Dienstes, die für die Waldbrandprävention oder Post-fire-Maßnahmen überregional/bundesweit verantwortlich oder überwiegend tätig sind.

WISSENSCHAFTLER: Renommierte Personen mit wissenschaftlichem Hintergrund, die auf Landesebene oder international für die Waldbrandforschung zuständig / in der Waldbrandforschung tätig sind.

EINSATZKRÄFTE: Renommierte Personen der Feuerwehr, Polizei oder des Bundesheeres, die überregional oder landesweit für die Waldbrandbekämpfung verantwortlich oder schwerpunktmäßig tätig sind.

Demographie der EUSALP-Umfrage

Tabelle 6: Anzahl der pro Zielgruppe erhaltenen Antworten.

	Einsatzkräfte	Behörden	Wissenschaftler	Gesamt
AT	8	11	4	23
CH	2	17	3	22
DE	2	3	2	7
FR	2	2	6	10
IT	3	3	5	11
LI	-	1	-	1
SI	-	5	1	6
Gesamt	17	42	21	80

Tabelle 7: Anzahl der erhaltenen Antworten nach Land/Region.

	Land	Region
AT	15	8
CH	6	16
DE	2	5
FR	5	5
IT	4	7
LI	1	-
SI	6	-
Gesamt	39	41

Tabelle 8: Liste der Regionen, aus denen Antworten übermittelt wurden.

Land	Region
AT	Burgenland, Kärnten, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg
CH	Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden, Bern, Fribourg, Graubünden, Jura, Luzern, St. Gallen, Schwyz, Solothurn, Ticino, Waadt, Zug, Zürich
DE	Bayern
FR	Provence-Alpes-Côte d'Azur
IT	Bozen, Friuli-Venezia Giulia, Liguria, Piemonte, Trento, Veneto
LI	-
SI	-