2021

Systeme zur Darstellung der Vegetationsbrandgefahren

Feuerwehr

Kurzfassung

Im Kontext der Vegetationsbrände sind Frühwarnsysteme im Sinne von Risikoprognosen ein nützliches Werkzeug zur Ableitung angemessener präventiver Maßnahmen. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die grundlegenden Ansätze zur Ermittlung von Brandrisiken und über das aktuelle Entwicklungsgeschehen in diesem Bereich. Sie stellt die Anwendung dieser Ansätze anhand der Systeme ausgewählter Organisationen und Staaten Europas gegenüber. Dabei werden insbesondere die Darstellung und die Nutzung der Prognosen untersucht. Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass in Deutschland einerseits die bereits vorhandenen Nutzungsmöglichkeiten für einsatzvorbereitende, -begleitende und -nachbereitende Maßnahmen bei weitem nicht ausgeschöpft werden und andererseits die modernen Systeme ein großes Entwicklungspotential im Sinne einer vernetzten Operationsführung bieten.

Titelbild: Waldbrand von 2000 im Bitterroot Nationalwald in Montana (John McColgan, Alaska Forest Service) und Waldbrandgefahrenindex für Deutschland (DWD)

2021

SYSTEME ZUR DARSTELLUNG DER VEGETATIONSBRANDGEFAHREN

Feuerwehr

Inhalt

Motivation **1**

1 Relevanz **2**

2 Fokussierung **2**

2.1 Vegetationsbrände 2

2.2 Gefahren und Risiken 3

2.3 Darstellungssysteme 5

2.4 Nutzung für Maßnahmen 5

2.5 Deutschland und Europa 6

3 Darstellung von Vegetationsbrandrisiken **7**

3.1 Ansätze 7

3.1.1 Ångström 7

3.1.2 Nesterov 8

3.1.3 Käse & M-68 8

3.1.4 Kanadischer FWI 9

3.1.5 Baumgartner-Index 10

3.1.6 WBI & GLFI 10

3.1.7 Bruschek und weitere Ansätze 11

3.2 Entwicklung 11

3.2.1 Weltweit 11

3.2.2 Europaweit 12

3.3 Anwendung 13

3.3.1 Deutschland 13

3.3.2 Schweden 14

3.3.3 Portugal 14

3.3.4 Italien 15

3.3.5 Griechenland 16

3.3.6 Polen 16

3.3.7 Russland 17

3.3.8 Weitere europäische Staaten 18

4 Gegenüberstellung 18

5 Fazit 19

5.1 Zusammenfassung 19

5.2 Ausblick 20

Schlusswort 22

Quellen III

Abbildungen XIV

Tabellen XV

Formeln XVI

Abkürzungen XVII

Anhang XIX

A Aufgabenstellung 23

B Entwurf am Beispiel Brandenburg 24

Motivation

Es handelte sich um eine Facharbeit, die nebenbei während eines Praktikumsabschnitts verfasst wurde. Titel und Aufgabenstellung stammten von einer mir unbekannten Quelle. Ich habe die Intention nach bestem Wissen interpretiert und möchte hiermit einen Überblick über dieses aktuelle und sehr interessante Thema bieten. Dies ist die dritte, redaktionell überarbeitete Version. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen. Hinweise und Anregungen nehme ich gerne auf.

28. Oktober 2022

1 Relevanz

Vegetation ist ein sehr wichtiges und zugleich bedrohtes Gut. Sie ist Teil des natürlichen Ökosystems und trägt zum Erhalt einer intakten Umwelt bei ([10], S. 3). Die letzten 7 Jahre (inkl. 2020) waren in Folge die wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen ([84]; [118]). Im Zuge der anhaltenden globalen Erwärmung ([68], S. 12 – 16) und der damit u. a. einhergehenden Dürre ([5] S. 1) wird die Vegetation verletzlicher und demzufolge weniger in der Lage sein, ihre Ausgleichsfunktion zu erfüllen. Soweit sie abbrennt, tragen die entstehenden Treibhausgase wiederum zur globalen Erwärmung und längeren Trockenperioden bei ([9], S. 304; [24], S. 171). In der Folge ist auch in Deutschland mit steigenden Brandrisiken zu rechnen ([3], S. 4; [11], S. 184; [23], S. 73;). Bei der NASA können aktive Brände weltweit eingesehen werden ([117]). Sogar die Arktis brennt ([82]). Brände können zuweilen ein natürliches Phänomen mit positivem oder notwendigem Einfluss auf den betroffenen Bereich sein ([29], S. 8; [124]). Sie können aber auch der Vegetation langfristig die Grundlage entziehen ([4], S. 263; [28], S. 147; [54], S. 58) und das Ökosystem mit all seinen Funktionen für Mensch und Tier gefährden. Besonders Problematisch sind Brände gewaltigen, unkontrollierbaren Ausmaßes, welche Siedlungen und Menschenleben gefährden ([42]). Prävention ist deshalb von großer Bedeutung. Da die Natur ein grenzübergreifend zusammenhängendes System bildet, kann effektiver Vegetationsbrandschutz am besten durch grenzübergreifende Kooperation erzielt werden ([31], S. 6). Dies betrifft sowohl die Staaten ([102]) als auch die Fachbereiche, insbesondere Meteorologie, Forstwissenschaften und Feuerwehrwesen. Risikovorhersagen ermöglichen effiziente Maßnahmen und können Leben retten. Dieser Kunst widmet sich die vorliegende Arbeit.

2 Fokussierung

2.1 Vegetationsbrände

Im Folgenden werden Grundlagen zum Verständnis der Thematik angeschnitten und Begriffe aus der Aufgabenstellung definiert. Dadurch werden der Schwerpunkt und das Ziel dieser Arbeit hergeleitet.

Ein *Brand* ist eine nicht bestimmungsgemäßes Schadenfeuer, während der Begriff Feuer bestimmungsgemäße Nutzfeuer einschließt ([133], S. 7). Die *Vegetation* umfasst den gesamten Bewuchs eines Gebietes ([53], S. 8). Der Begriff stellt klar, dass nicht nur Wald Gegenstand der Untersuchungen ist, sondern auch, Gras, Flur, Fläche, Feld, Busch, Ödland, Moor, Heide und sonstig bezeichnete Natur- und Kulturlandschaft. Vegetationsbrände (international: wildland fire od. wildfire) sind also auch, aber nicht nur, Waldbrände (international: forest fire), welche meist die größere Beachtung finden. Ungefähr 86 % der weltweiten Vegetationsbrände betreffen jedoch Grasland ([102]). Vegetationsbrände werden auch als Landschafts-, oder Naturbrände bezeichnet. Je nach Art des Vegetationsbrandes (Flur-, Erd-, Boden-, Stamm-, Kronen-, Vollbrand usw.) ergeben sich unterschiedliche Ausbreitungsverhalten und Löschmaßnahmen, je nach Ausmaß unterschiedliche Leistungsanforderungen.

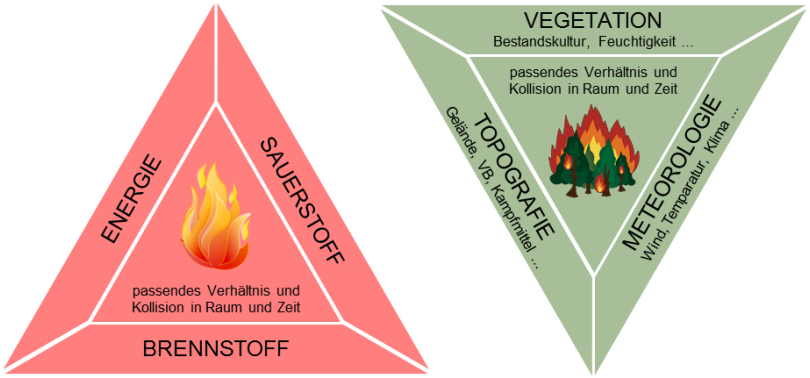


Abb. 1: Voraussetzungen der Brandentstehung
links: allgemeines „Feuerdreieck"; rechts: im Kontext der Vegetationsbrände
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [14], S. 4; [41], S. 4; [59], S. 2)

Um Brände voraussagen zu können, ist es wichtig, die Voraussetzungen ihrer Entstehung zu kennen (siehe Abb. 1). Vegetation brennt umso besser je höher der Anteil trokkener oder toter Bestandteile ist. Zudem brennen Nadelbäume schneller ab als Laubbäume. Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden bergauf oder durch starken Wind erhöht ([58], S. 24). Zündenergie kann unterschiedlich eingebracht werden. Es wird angenommen, dass weltweit ca. 96 % aller Waldbrände vorsätzlich, fährlässig oder auf sonstige Weise von Menschen entzündet werden ([29], S. 13). Anthropogene Ursachen, wie Brandstiftung ([8]), techn. Defekte, Bremsfunken oder Altlasten sind tlw. schwierig zu modellieren. Die restlichen 4 % treten aufgrund natürlicher Ursachen, wie Blitzeinschlägen ([56], S. 18) in Kombination mit begünstigenden meteorologischen Bedingungen ein und können prognostiziert werden. Menschliche Aktivitäten, Meteorologie, Topografie und die Bestandskultur an sich in Kombination sind Risikofaktoren ([73], S. 118; [126]).

2.2 Gefahren und Risiken

Die deutschen Begriffe *Gefahr* und *Risiko* beziehen sich aufeinander, überschneiden einander tlw. (siehe Abb. 2) und werden daher häufig vermischt, synonym verwendet und unterschiedlich aufgefasst ([37], S. 47). International sind sie u. a. verbunden mit den Begriffen *danger*, *risk* und *hazard*, welche ebenfalls noch nicht überall einheitlich verwendet werden. Inkonsistente Wortwahl kann u. U. zu Missverständnissen führen. Gerade aufgrund der vielfältigen denkbaren Ansätze für Darstellungssysteme im Bereich der Vegetationsbrände ist jedoch eine gemeinsame Sprache wichtig ([140]; [142]). Deshalb gelten für diese Arbeit die folgenden Definitionen, ohne Anspruch auf Allgemeingültigkeit.

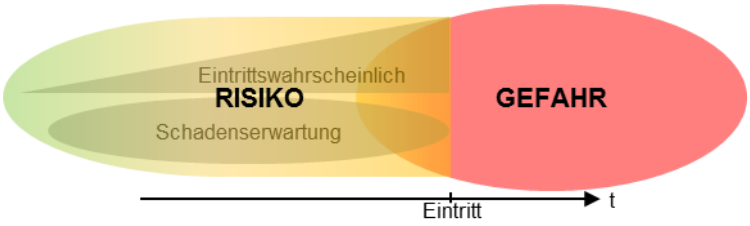


Abb. 2: Die Begriffe Gefahr und Risiko im Sprachgebrauch
(Quelle: eigene Darstellung)

Eine *Gefahr* ist eine tatsächliche Sachlage, die bei ungehindert fortgesetztem Ablauf mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in absehbarer Zeit zu einem Schaden für die öffentliche Sicherheit führt ([25], S. 61). Sie setzt sich zusammen aus Ursache (i. S. v. Quelle), Wirkung und (bedrohtem) Objekt ([32], S. 7) – woraus sich die taktischen Optionen Angriff, Verteidigung und Rettung (abgesehen vom Rückzug) ergeben ([30], S. 4; [133], S. 14). Beispiel: Verteidigung eines Dorfes gegen die Ausbreitung eines Brandes. Ohne Gefahr kein Einsatz für die Feuerwehr.

Die *Eintrittswahrscheinlichkeit* gibt an, wie sicher das Auftreten einer bestimmten Gefahr in einem bestimmten räumlichen und zeitlichen Bereich zu erwarten ist. Auch hier kommt es zu einer Überschneidung mit dem ursprünglichen Begriff *Risiko* (s. u.) im Sinne der Entzündungswahrscheinlichkeit eines Vegetationsbrandes auf der einen, oder der statistischen Wahrscheinlichkeit, in einer Region und Zeit von einem solchen betroffen zu sein, auf der anderen Seite.

Als *Schadenserwartung* werden die nachteiligen Folgen in ihrem Umfang definiert, welche anzunehmen sind, wenn eine Gefahr tatsächlich eintritt. Sie ist abhängig von Charakteristika der potentiellen Gefahrenlage (z. B. Dauer), der potentiell bedrohten Objekte (z. B. Vulnerabilität) und der potentiellen Gefahrenabwehr (z. B. Leistungsfähigkeit). Ausgetrocknete Vegetation und unzureichender Brandschutz führen zu einer hohen Schadenserwartung.

Das *Risiko* wird definiert als Kombination aus *Eintrittswahrscheinlichkeit* und *Schadenserwartung* bei Eintritt ([62], S. 25) im betrachteten räumlichen und zeitlichen Bereich. Brandrisiken im Bereich der Vegetationsbrände bezeichnen somit Aussagen über Potentiale zur Entstehung (Entzündungswahrscheinlichkeit) und Intensität (potentielles Schadensausmaß) von Vegetationsbrandgefahren ([133], S. 19). Je nach Höhe der ermittelten Risiken können Maßnahmen abgeleitet werden. Prinzipielle Möglichkeiten sind das Senken der Eintrittswahrscheinlichkeit (z. B. durch Betretungs- u. Feuerverbote oder Beseitigung phosphorhaltiger Kampfmittelaltlasten) und die Senkung der Schadenserwartung durch Verringerung der potenziellen Brandausbreitung und -intensität (z. B. durch Früherkennung, Brandriegel, Entfernung trockenen Materials oder Alarmbereitschaft).

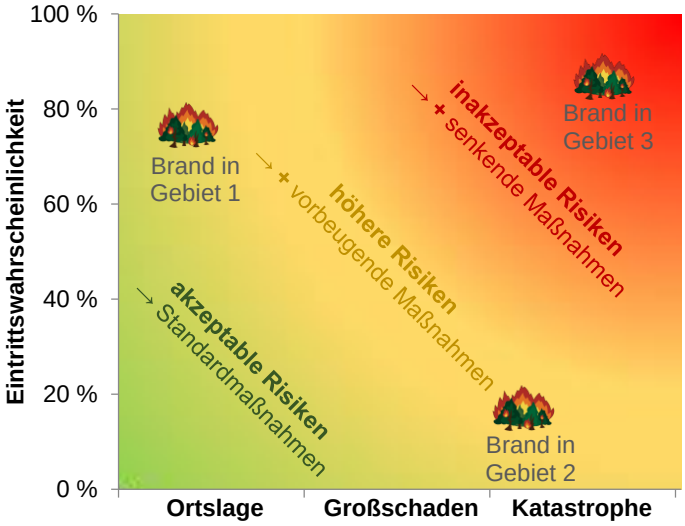


Abb. 3: Risikomatrix für Vegetationsbrände

Brand 1: häufig aber schnell gelöscht; Brand 2: groß aber selten; Brand 3: VB nicht mehr ausreichend

(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [34], S. 46; [39], S. 28; [65], S. 9)

2.3 Darstellungssysteme

Als *Darstellungssysteme* werden Methoden und Modelle zum Treffen von Aussagen über Risiken verstanden. Dabei werden die berechneten Werte für alle Beteiligten verständlich aufbereitet. Der Auftrag des *Darstellens* der Darstellungssysteme wird interpretiert als das Vorstellen und Beschreiben. Im Kontext der Vegetationsbrände lassen sich prinzipiell folgende vier grundlegende Arten von Darstellungssystemen definieren.

Lagedarstellungssysteme spiegeln die aktuelle Situation ab Eintritt wider, wenn bereits Gefahr besteht. Zur Entscheidungsfindung und Führung kommen u. a. analoge und digitale Lagekarten, der „Sandkasten“ oder unterstützend FeWIS ([86]) zum Einsatz. Zur Information dienen Programme wie Meteoalarm ([92]), zur Warnung solche wie MoWaS ([78]). Früherkennungssysteme melden den Eintritt einer Gefahr zwecks Eindämmung durch rasches Eingreifen. Bekanntes Beispiel ist das FireWatch-System, das u. a. vom Landesbetrieb Forst Brandenburg eingesetzt wird ([114]) und bereits das Brandgeschehen vermindert hat ([17]). Klassifizierungssysteme stellen langfristig Eintrittswahrscheinlichkeit oder Vulnerabilität ([52], S. 22) empirisch dar ([54], S. 60). Für die Zukunft sind sie an sich nur bedingt aussagekräftig. Sie sind aber ein wesentlicher Baustein zur kurz- und mittelfristigen Ermittlung von Risiken und zum Ableiten von Maßnahmen. Beispiele sind die Waldbrandrisikogebiete in Europa ([136], Art. 2) und die Waldbrandgefahrenklassen im Land Brandenburg ([137], § 22 i. V. m. [135]). Frühwarnsysteme kombinieren u. a. statistische, forstwissenschaftliche, topografische und meteorologische Daten und Prognosen und dienen zur Vorhersage von möglichen Gefahreneintritten und Schadensausmaßen. Risikoprognosen, bestehend aus *Indices* und *Warnstufen* stehen im Fokus dieser Arbeit.

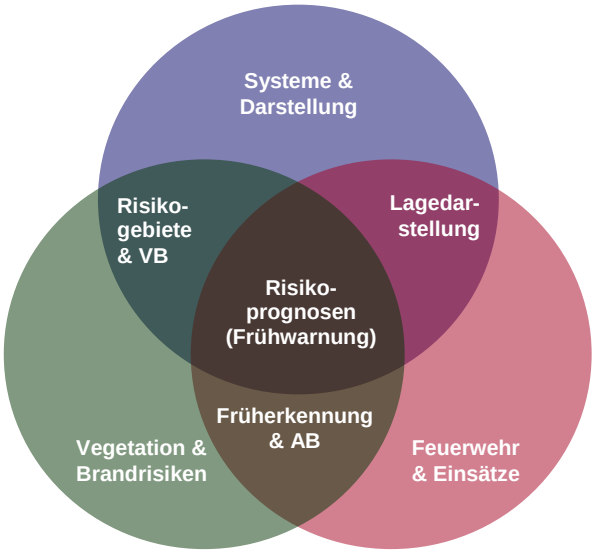


Abb. 4: Abgrenzung der Risikodarstellung im Bereich der Vegetationsbrände
(Quelle: eigene Darstellung)

2.4 Nutzung für Maßnahmen

Die *Nutzung* wird interpretiert als tatsächliche und potentielle Verwendung der Ausgabedaten der Darstellungssysteme in Bezug auf das Ableiten von Maßnahmen. Als *Prüfen* werden das Untersuchen und Bewerten vorhandener und möglicher Nutzung verstanden. Als *Maßnahmen* werden Handlungen im Aufgabenbereich der Feuerwehr mit

Schnittstellen zu anderen Behörden sowie Bürgern und Besitzern verstanden, die einen rechtzeitigen und richtigen Brandschutz sowie eine saubere Übergabe ([11], S. 189) ermöglichen. Daraus ergeben sich als *einsatzvorbereitende* Maßnahmen solche, die der Herstellung einer dem Risiko angemessenen Bereitschaft vor Eintritt einer Gefahr dienen ("*preparedness*") sowie risikomindernde Maßnahmen. Risikoanalysen sind Teil des vorbeugenden Brandschutzes (VB). Der VB umfasst auch die Erstellung von Bedarfs-, und Einsatzplänen sowie die Bereitstellung geeigneter Brandriegel, Löschwasserentnahmestellen und Zugänge ([112]). Er kann um Komponenten zur Früherkennung ergänzt werden ([113]). Im abwehrenden Brandschutz (AB) sind die wichtigsten Erfolgsfaktoren ein schneller, massiver Erstschlag, gute Datenlage, Kommunikation und bei größeren Lagen das Teamwork verschiedener Behörden. Dafür ist es wichtig, dass alle Beteiligten dasselbe Bild vor Augen haben und dieselbe Sprache sprechen. Die Taktik der Wahl ist meist die Verteidigung ([27], S. 97 u. 113). Als *einsatzbegleitend* kommen Maßnahmen zur Unterstützung von Entscheidungen im Zuge des abwehrenden Brandschutzes ab Gefahreneintritt in Frage ("*decision support*"). Hier könnten von Systemen zur Risikodarstellung generierte Daten zusätzlich zur Lagedarstellung und Entwicklungsprognose mitgenutzt werden. Dabei wäre die Interoperabilität der Systeme von Bedeutung. Die Brandnachsorge ist noch Teil des AB, jedoch nicht mehr Aufgabe der Feuerwehr. Für *einsatznachbereitende* Maßnahmen ab Übergabe der Einsatzstelle könnten die Daten der Systeme einerseits Anwendung finden im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses („*lessons identified/learned*"). Andererseits könnten, wie im Vorfeld, aus der aktuellen Risikoprognose zusätzliche Maßnahmen abgeleitet werden, bspw. zur Unterstützung von Waldbesitzern bei Restlöscharbeiten in Abhängigkeit der Warnstufe.

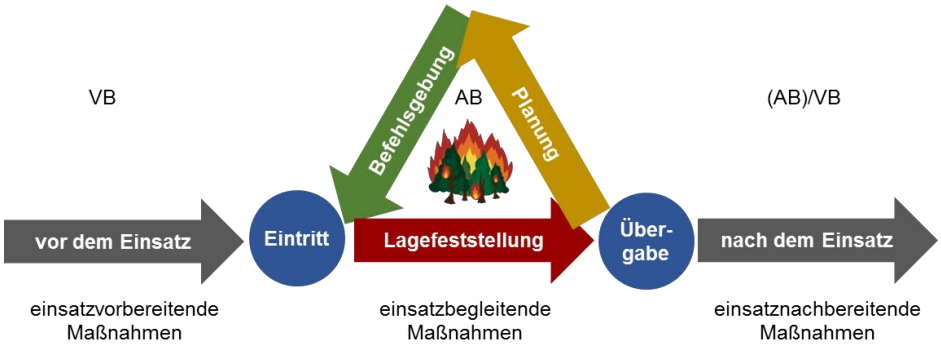


Abb. 5: Nutzungsspektrum im Kontext des Führungskreislaufs
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [134], S. 26)

2.5 Deutschland und Europa

Als *Europa* gilt das geographische Gebiet zwischen Arktis, Mittelmeer / Schwarzem Meer, Atlantik und Ural. Russland wird im Ganzen mitbetrachtet, da bereits sein europäischer Teil das flächenmäßig größte Land Europas darstellt. Einige zu größten Teilen in Asien liegende Staaten am Bosporus und im Kaukasus / am Kaspischen Meer werden nicht mitberücksichtigt. Dafür wird das eigentlich zu Asien gehörende Zypern aufgrund seiner politischen Nähe hinzugezogen. Das betrachtete Gebiet umfasst somit 47 anerkannte Staaten, sodass hier nur ausgewählte näher betrachtet werden. Europa ist ungefähr zu einem Drittel bewaldet ([21], S. 18). In den letzten 30 Jahren hat seine Waldfläche um ca. 2 % zugenommen, während sie auf der Erde insgesamt um ca. 4 % geschrumpft ist ([20]). Die Konzentration auf Europa wirkt insoweit einschränkend, dass

andere Regionen auf der Welt, wie Kalifornien, Kanada, Sibirien und Westaustralien regelmäßig von gewaltigen Vegetationsbränden betroffen sind und sich tlw. schon lange und intensiv mit diesem Thema beschäftigen. Internationale Ansätze müssen zumindest angesprochen werden, da viele europäische auf ihnen basieren. Die Formulierung *Deutschland und Europa* wird dahingehend interpretiert, dass das Deutsche System auf jeden Fall zu betrachten ist. Hier kommt es regelmäßig zu Vegetationsbränden, insbesondere in Brandenburg (Waldbrände) und Niedersachsen (Moorbrände), tlw. in kampfmittelbelasteten Gebieten. Weit verheerender traf es in letzter Zeit u. a. Russland, Portugal und Spanien (siehe Abb. 6).

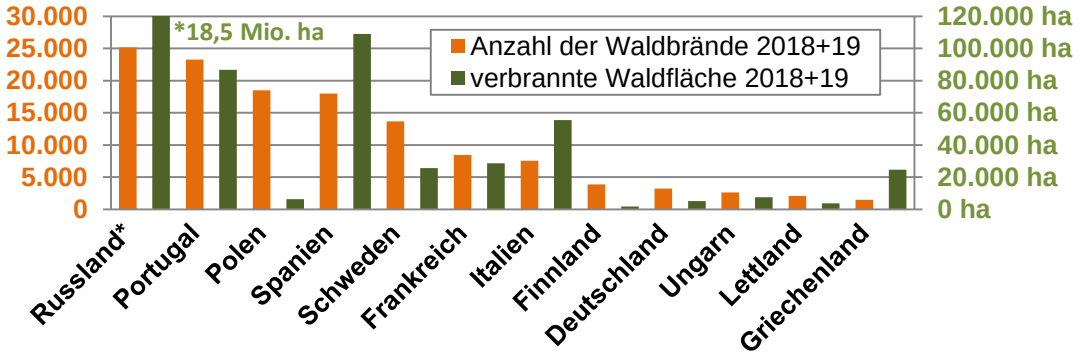


Abb. 6: Betroffenheit europäischer Staaten von Waldbränden (2018 bis 2019)
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [49]; [50]; [69], S. 15; [99])

Ziel der Arbeit ist somit, interessierten Entwicklern und Entscheidungsträgern im Feuerwehrwesen einen Überblick über ausgewählte Frühwarnsysteme in Europa und deren Einsatzmöglichkeiten anzubieten. Dafür sollen vier zentrale Fragen beantwortet und die Ergebnisse der Untersuchung ausgewertet werden.

- Welche Ansätze zur Risikoprognose gibt es und wie funktionieren sie?
- Welche Systeme werden in Europa verwendet und wie erfolgt die Darstellung?
- Welche Maßnahmen werden aus den dargestellten Ausgaben abgeleitet?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus für das Feuerwehrwesen in Deutschland ableiten?

3 Darstellung von Vegetationsbrandrisiken

3.1 Ansätze

3.1.1 Ångström

Der Ångström-Index wurde 1942 in Schweden entwickelt und ist für skandinavische Verhältnisse ausgelegt. Eingangsdaten sind Temperatur und Luftfeuchtigkeit, tagesscharf von 13 Uhr ([38]). Die Berechnung ist unkompliziert, neigt jedoch aufgrund der Vernachlässigung des Niederschlags zur Überschätzung ([46]). Nach der folgenden Gleichung wird der Index für den Folgetag berechnet. Anhand seines Wertes und einer Tabelle wird danach eine von vier Warnstufen ausgegeben ([91]). Insofern ist bei den meisten Ansätzen der Index (Wert) vom Bewertungssystem (Stufe) zu unterscheiden.

$$I = \frac{H}{20} + \frac{27 - T}{10} \tag{3-1}$$

mit: I := Maß für die Anzahl der Waldbrände pro Jahr [55 S. 73]
H := relative Luftfeuchtigkeit [%] um 13 Uhr
T := Lufttemperatur [°C] um 13 Uhr

und:
$I \geq 4{,}0 \Rightarrow 1$
$4{,}0 < I \leq 2{,}5 \Rightarrow 2$
$2{,}5 < I \leq 2{,}0 \Rightarrow 3$
$I < 2{,}0 \Rightarrow 4$

3.1.2 Nesterov

Der Nesterov-Index wurde 1949 in der UdSSR speziell für kalte, gemäßigte Klimazonen entwickelt. Er stellt eine Erweiterung des Ångström-Index dar und berücksichtigt auch Niederschlag und Taupunkt. Bei Überschreitung von 3 mm Niederschlag oder Unterschreitung des Gefrierpunkts wird er zurückgesetzt ([38]). Anhand des Taupunkts wird zusätzlich eine Annahme zur Feuchtigkeit der Vegetation und damit zu ihrer Brennbarkeit getroffen. Noch unberücksichtigt ist das Ausbreitungsverhalten. Die Berechnung muss an einem feuchten Tag mit dem Startwert Null beginnen ([91]). Nach weiteren Modifikationen wurde diese Methode für Russland als Standard ГОСТ Р 22.1.09-99 eingeführt. Die folgende Gleichung ergibt den Index-Wert für den Folgetag für den Bereich der Wetterstation ([71], S. 3). Demnach werden den Gebietskörperschaften täglich Warnstufen zugewiesen. Die Festlegung der Index-Intervalle zur Ableitung der Warnstufung basiert auf statistischen Daten der letzten 10 Jahre und kann dadurch auf verschiedene Regionen ([91]), Gelände ([73], S. 126) und Jahreszeiten ([73], S. 138) angepasst werden.

$$КП = \sum_{n}^{1} t(t - r) \tag{3-2}$$

mit: $КП$:= Nesterov-Index
t := Lufttemperatur
r := Taupunkt
n := Anzahl der Tage nach dem letzten Regen

und:
$I_{C,d} \leq 300 \Rightarrow 1$
$300 < I_{C,d} \leq 1.000 \Rightarrow 2$
$1.000 < I_{C,d} \leq 4.000 \Rightarrow 3$
$4.000 < I_{C,d} \leq 10.000 \Rightarrow 4$
$10.000 < I_{C,d} \Rightarrow 5$

3.1.3 Käse & M-68

Die Waldbrandkennziffer nach Käse wurde 1969 für Mitteleuropa in Anlehnung an den Nesterov-Index ([91]) entwickelt und basiert auf meteorologischen und phänologischen Eingabedaten ([33]). Sie wurde – modifiziert und unter Berücksichtigung topografischer Komponenten und der Waldbrandgefahrenklassen (A1, A, B, C) – 1972 als TGL 24334 in der DDR offiziell eingeführt. Zur Berücksichtigung bestimmter Gegebenheiten können bestimmte Werte korrigiert werden. Aus dem Berechnungsergebnis wird im letzten Schritt eine Warnstufe (0 – IV) abgeleitet. Die Methodik wurde anhand historischer Daten validiert – sie passt gut auf ostdeutsche Kiefernwälder ([3]) – und auch nach der

Wende von den neuen Bundesländern mit vernachlässigbaren Modifikationen unter der Bezeichnung M-68 weitergeführt.

$$I_{C,d} = I_{C,d-1} \cdot k_p + k_{phen} \cdot (T_{max} + 10) \cdot \Delta vp \tag{3-3}$$

mit:
- $I_{C,d}$:= Tagesindex
- d := Tag [46; 274] des Jahres
- k_p := Niederschlagskorrektur
- k_{phen} := Phänologiekorrektur
- T_{max} := Tageshöchsttemperatur [°C]
- Δvp := Sättigungsdefizit um 13 Uhr [hPa]

und:

$I_{C,d} \leq 500$	⇒	1
$500 < I_{C,d} \leq 2000$	⇒	2
$2000 < I_{C,d} \leq 4000$	⇒	3
$4000 < I_{C,d} \leq 7000$	⇒	4
$7000 < I_{C,d}$	⇒	5

3.1.4 Kanadischer FWI

Der weltweit meistgenutzte Ansatz für Risikoprognosen ist der Forest Fire Weather Index (FWI) ([102]). Er wurde 1987 in Kanada entwickelt und gilt als „die Mutter“ der modernen Indices ([143]). Eingangsdaten sind Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Niederschlag. Er wird kumulativ ([36], S. 52) in einem dezentralen Verfahren ([46], S. 114]) in den in Abb. 7 dargestellten und nachfolgend aufgezählten 6 Schritten berechnet. Er wird amtlich in Kanada verwendet und die Ausgabe erfolgt in 5 Warnstufen. Der FWI lässt sich mit statistischen Daten für Europa justieren ([2]).

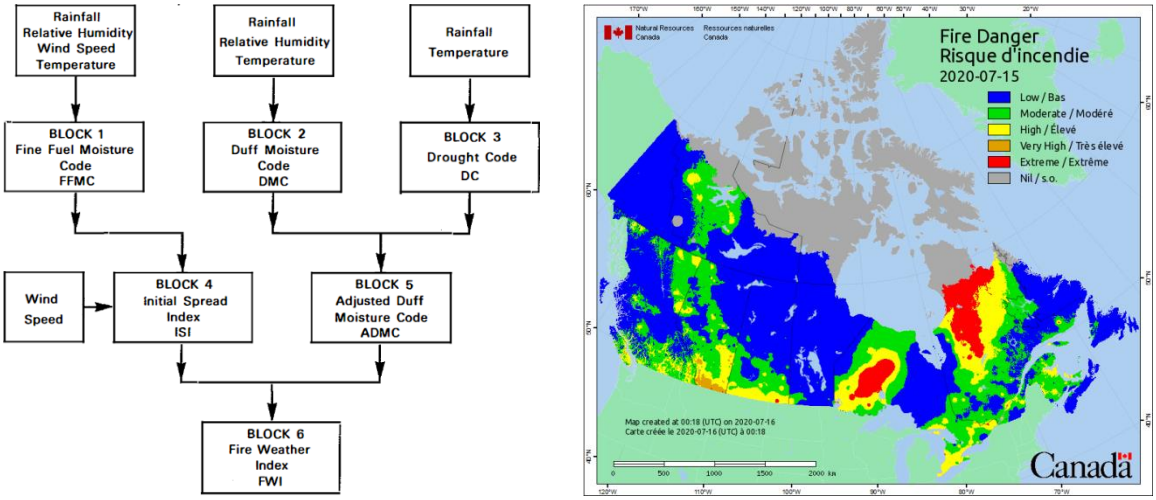


Abb. 7: Struktur und Ausgabe des FWI

(Quelle: [60], S. 3 und [109])

- Schritte 1 – 3: Einfluss von Feuchtigkeit und Wind auf das Brandverhalten:
  - *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) – numerische Beschreibung des Feuchtigkeitsgehalts von Streu und anderen Feinmaterialien
  - *Duffy Moisture Code* (DMC) – durchschnittlicher Feuchtegehalt von locker geschichtetem, zersetztem, organischem Material in 5 - 10 cm Tiefe
  - *Drought Code* (DC) – durchschnittlicher Feuchtegehalt von verdichtetem organischem Material in tiefer liegenden Schichten

- Schritte 4 – 6: Beschreibung des Brandverhaltens:
  - *Initial Spread Index* (ISI) – Abschätzung der Brandausbreitung durch Kombination von FFMC und Windgeschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Brennstoffmenge
  - *Buildup Index* (BUI) – Abschätzung der Brennstoffmenge durch Kombination von DMC und DC (früher: ADMC)
  - *Fire Weather Index* (FWI) – Abschätzung der Stärke des sich ausbreitenden Brandes als Energiefreisetzung pro Längeneinheit der Brandfront durch Kombination von ISI und BUI ([101])

3.1.5 Baumgartner-Index

Der Baumgartner-Index wurde 1967 in Bayern entwickelt und stellt eine statistische Methode zur Risikoabschätzung dar. Als Eingangsdaten dienen Statistiken zu Orten, Zeitpunkten, Häufigkeiten und Größen vergangener Waldbrände. Diese werden mit damaligen und aktuellen Wetterdaten verknüpft. Aus der Differenz zwischen potentieller Verdunstung und Niederschlagsmengen der letzten fünf Tage wird er berechnet und in 5 Stufen ausgegeben ([91]).

3.1.6 WBI & GLFI

Aufgrund seiner hohen Prognosegüte wurde das System M-68 (siehe 3.1.3) vom DWD übernommen und als Waldbrandgefahrenindex (WBI) für ganz Deutschland weitergeführt. Im Zuge der Übernahme wurden Anpassungen vorgenommen. Dazu gehörten u. a. das Umgehen der Tabelle mittels dreidimensionaler Funktion, die Einbeziehung des Niederschlagsradars, die Erhöhung des Prognosezeitraums auf 5 Tage und die Umbenennung der Warnstufen (neu: 1 – 5) ([54], S. 65). Spätere, weitere Anpassungen übernahmen die Struktur des FWI (siehe 3.1.4) unter Beibehaltung grundlegender Ideen des M-68. Insbesondere wurde die Feuchtigkeit neu modelliert ([66]). Dadurch reagiert der Index schneller auf Trockenheit. Zusätzlich wurde eine Feinjustierung des Ausgabewertes anhand der Tagesausgaben nach Baumgartner-Index, M-68 und FWI eingepflegt ([88]). Der aktuelle WBI, wie er seit 2014 deutschlandweit offiziell verwendet wird, kombiniert somit die Vorteile verschiedener Indices ([36], S. 52) und kann als Derivat des FWI betrachtet werden ([67]; [90]; [139]). Er basiert auf Byram's Gleichung der Brandintensität und wird vom DWD ständig weiterentwickelt.

$$I = H_c w u_f \tag{3-4}$$

mit:	I	:=	Brandintensität
	H_c	:=	Verbrennungswärme
	w	:=	Gewicht brennbarer Biomasse
	u_f	:=	Funktion von Windgeschwindigkeit und Streufeuchte

Eine weitere Entwicklung des DWD ist der Graslandfeuerindex (GLFI). Dieser trifft eine Aussage zum Brandrisiko für Nicht-Wald-Vegetation, also für offenes, nicht abgeschattetes Gelände mit abgestorbenem Gras in Abhängigkeit des Wetters. Berücksichtigt werden Taubildung, Niederschlagsinterzeption, Schnee, Streu- und Bodenfeuchte sowie die Windgeschwindigkeit. Passend zum WBI umfasst der Prognosehorizont 5 Tage und die Ausgabe erfolgt täglich von März bis Oktober ([87]) in 5 Stufen. Während der WBI relativ weit entwickelt ist, neigt der GLFI zuweilen noch zur Überschätzung ([143]).

3.1.7 Bruschek und weitere Ansätze

Der Bruschek-Index wurde 1994 für die Brandenburgischen Kiefernwälder entwickelt ([7]) und eignet sich gut zur Identifizierung von Hot-spots ([54], S. 70). 1997 wurde er hinsichtlich seiner räumlichen Auflösung erweitert ([22]). Er verfolgt einen empirischen Ansatz und kombiniert statistische und meteorologische Eingangsdaten. Daraus ergeben sich für Brandenburg Werte zwischen 0 und 0,4 – wobei Werte über 0,15 auf Waldbrandjahre deuten ([54], S. 146).

$$I_A = \frac{N_h}{\sum_{d=91}^{274} P_d} \tag{3-5}$$

mit: I_A := Maß für die Anzahl der Waldbrände pro Jahr ([54], S. 73)
N_h := Anzahl der Sommertage ($\mathrm{Tmax} \geq 25\,°\mathrm{C}$) in der Vegetationsperiode (April – September)
P_d := Niederschlagssumme am Tag d

Es existieren viele weitere Ansätze und zahlreiche Variationen, sodass im Rahmen dieser Arbeit nur auf einige ausgewählte eingegangen werden kann. An dieser Stelle wird auf einzelne weitere Ansätze hingewiesen. Der Australische McArthur MARK-5 Forest Fire Danger Index (FFDI) wurde in den späten 60'er Jahren für australische Verhältnisse entwickelt ([15]). Ab 2009 wurde er durch Sharples Fuel Moisture and Fire Danger Rating Indices ergänzt. Der Orieux-Index wurde 1974 für Sommer in Südostfrankreich entwickelt und wird aus Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag berechnet. Anfang der 90'er Jahre wurde ergänzend für die anderen Jahreszeiten der Numerical Risk Index entwickelt. Der Index Carrega I87 wurde in den späten 80'er Jahren für Südfrankreich entwickelt ([91]). In den USA wurde der Keetch-Byram Drought Index (KBDI) ([35]) in den späten 60'ern zur Berücksichtigung der Dürre entwickelt und wurde in das heute dort angewandte National Fire Danger Rating System (NFDRS) integriert ([128]). In den späten 70'er Jahren wurde zur Berücksichtigung der Feuchtigkeit für Nordamerikanische Verhältnisse der Fosberg Fire Weather Index (FFWI) entwickelt ([91]). Das heute in den USA verwendete System ist eine Modifikation des kanadischen FWI für die Verhältnisse in den USA. Dort liefert die Beschreibung der Warnstufen den Einsatzkräften Hinweise für die Brandbekämpfung ([46], S. 129). Der Haines-Index von 1988 berücksichtigt atmosphärische Bedingungen, die zu großen Bränden beitragen können und wird in sechs Stufen ausgegeben ([127]). In Schweden wurde mit dem HBV-Index ein Modell zur Approximation des Wassergehalts des Bodens entwickelt ([40]).

3.2 Entwicklung

3.2.1 Weltweit

Das Global Fire Monitoring Center (GFMC) in Deutschland ist eine Anlaufstelle zur Koordinierung weltweiter Bemühungen zur Identifizierung und Minderung der Vegetationsbrandrisiken. Es arbeitet für das United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) und erforscht auch Strategien zur globalen Vegetationsbrandbekämpfung. Aus dieser internationalen Zusammenarbeit wurde das Global Fire Early Warning System for Wildland Fire (EWS) entwickelt. Es stellt die Brandrisiken weltweit vergleichbar dar und kann von allen Staaten parallel zu deren ggf. vorhandenen Systemen genutzt werden. Im Ansatz basiert das EWS auf dem FWI. Der Prognosehorizont beträgt

10 Tage für die FWI-Ausgabe und 1 Monat für die EWS-Ausgabe. Auch die Darstellung anderer meteorologischer Daten ist implementiert. Dadurch sind Trends ablesbar, welche auch zur Entscheidungshilfe während längeren Einsätzen dienen können ([103]). Das System wird weiter entwickelt, um auch aktive Brände beobachten zu können. ([102]).

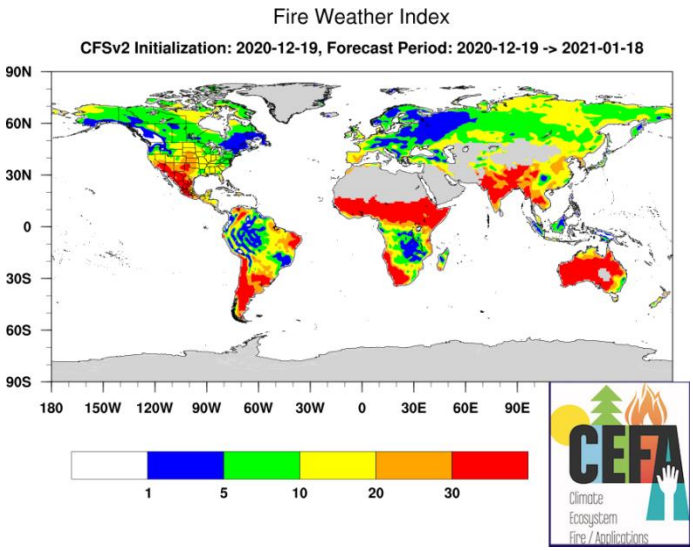


Abb. 8: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos weltweit mittels EWS
(Quelle: [80])

In dem Themenkomplex ist weltweit Bewegung, sodass hier nur ein kurzer Einblick gewährt werden kann. Auf der internationalen Konferenz Forrest Fire Research in Coimbra, Portugal kommen regelmäßig viele Experten für Vegetationsbrandrisiken zusammen ([141]). In Australien forscht das Buschfeuer-Forschungszentrum zu sozialen, ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Vegetationsbränden im Allgemeinen und zur Bestimmung der Grasbrandrisiken im Speziellen ([12]). In Südafrika wurde, inspiriert von Ångström-Index und FWI ([26]), mit dem Lowfeld Fire Danger Index (FDI) ein einfach zu kalkulierender, nur auf Wetterdaten basierender Ansatz entwickelt ([122]). Dessen mathematische Struktur bietet Anpassungsmöglichkeiten an regionale Gegebenheiten ([143]).

3.2.2 Europaweit

In Europa entwickelt das European Forest Institute (EFI), gefördert vom Joint Research Center der EU im Rahmen des Copernicus-Programms die Entwicklung und den Betrieb des European Forest Fire Information System (EFFIS). EFFIS unterstützt die EU-Mitgliedsstaaten bei der Beobachtung von Vegetationsbrandbedingungen und spielt eine zentrale Rolle bei der Stärkung der internationalen Zusammenarbeit. Es prognostiziert Brandrisiken für 10 Tage und ermöglicht zudem die Überwachung aktiver Brände durch Satelliten. Der Ansatz basiert auf dem FWI und approximiert das Brandpotenzial, berücksichtigt u. a. Vegetation, hydrologische und meteorologische Bedingungen sowie regionale Unterschiede. Die tägliche Ausgabe liefert eine Karte mit der Auflösung von 8 x 8 km und 6 Warnstufen ([96]). Das System wurde für eine weltweite Ausgabe als Global Wildfire Information System (GWIS) erweitert ([98]) und zeigt u. a. auch aktive Brände an. Es wird ständig weiter entwickelt, um es noch besser auf europäische Verhältnisse zu justieren ([143]).

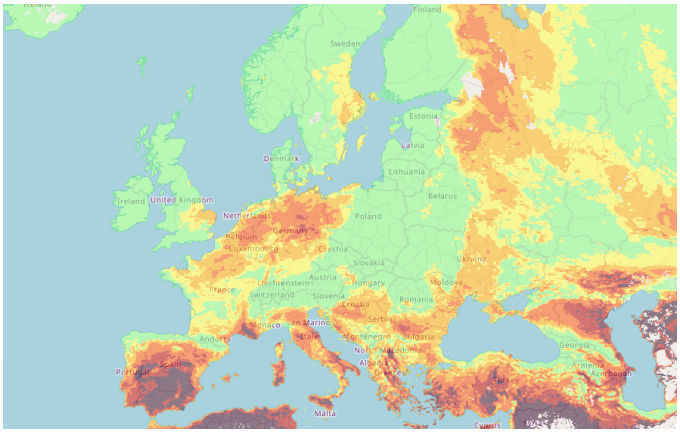


Abb. 9: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos europaweit mittels EFFIS
hier: FWI via ECMWF vom 1. Juli 2020
(Quelle: [95])

An dieser Stelle kann nur ein Auszug aus dem europäischen Entwicklungsgeschehen dargestellt werden. Ein Allround-Paket verschiedener Darstellungssysteme ist mit dem Copernicus Emergency Management System (EMS) im Aufbau ([97]). Dazu werden in Europa u. a. immer wieder CORDIS-Projekte gefördert. Herkömmliche Ansätze berücksichtigen möglicherweise noch nicht in ausreichendem Maße die langjährige Trockenheit und die klimatischen Tendenzen. So kam es bspw. im Winter in den Alpen durch Austrocknung der Latschenkieferbestände zu Bränden, obwohl keine Warnstufe ausgegeben war ([139]). Für den alpinen Raum wurde mit dem Alpine Forest Fire Warning System (ALP FFIRS) ein staatsübergreifendes Warnsystem mit vergleichbaren Warnstufen entwickelt. Die Austrian Forest Fire Research Initiative (AFFRI) entwickelte einen Waldbrand-Simulator für österreichische Verhältnisse. Außerdem wurde eine öffentlich zugängliche Waldbrand-Datenbank für Österreich erstellt ([125]). In Deutschland ist beim BKG ein digitaler Waldbrandatlas in Arbeit, der alle relevanten Daten auf einer Deutschlandkarte zur Verfügung stellen soll ([79]).

3.3 Anwendung

3.3.1 Deutschland

In Deutschland wird das Risiko für Vegetationsbrände vom DWD täglich zweiteilig prognostiziert: für den Wald mittels WBI von März bis Oktober ([89]) und für die Fläche von März bis September mittels GLFI (siehe 3.1.5). Die Ausgabe erfolgt jeweils auf Karten räumlich gradientenbezogen anhand der Verteilung der Wetterstationen ([139]) in 5 Warnstufen und für 5 Tage vorausschauend. Zusätzlich berechnet der DWD M-68, Baumgartner- und Ångström-Index sowie die Komponenten des FWI. Die Ergebnisse des DWD werden gemäß Verwaltungsvereinbarungen allen Ländern und KatS-Einrichtungen zur Verfügung gestellt. Die Ausrufung der Warnstufen, die Festlegung der räumlichen Geltungsbereiche sowie das Veranlassen von Maßnahmen liegen in der Zuständigkeit der Länder. Diese verteilen die Verantwortung unterschiedlich auf ihre Verwaltungsebenen. Näheres regeln meist Waldgesetze, Waldbrandverordnungen und Erlasse der Länder ([111]). Gleiche Berechnungsergebnisse können somit in der Anwendung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. In Brandenburg wird für jeden Landkreis eine Warnstufe festgelegt. In Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern können die Kreiswaldbrandverantwortlichen Abweichungen vornehmen. In Sachsen bspw. erfolgt die Zuweisung nach Waldzuordnung und gemeindescharf, in Thüringen nach Forstgebieten ([139]). Als Konsequenzen werden meist nur Sensibilisierung der Bevölkerung, Feuer- und Betretungsverbote veranlasst, jedoch keine Kontrollen oder darüber hinausgehende vorbeugende oder risikomindernde Maßnahmen ([114]).

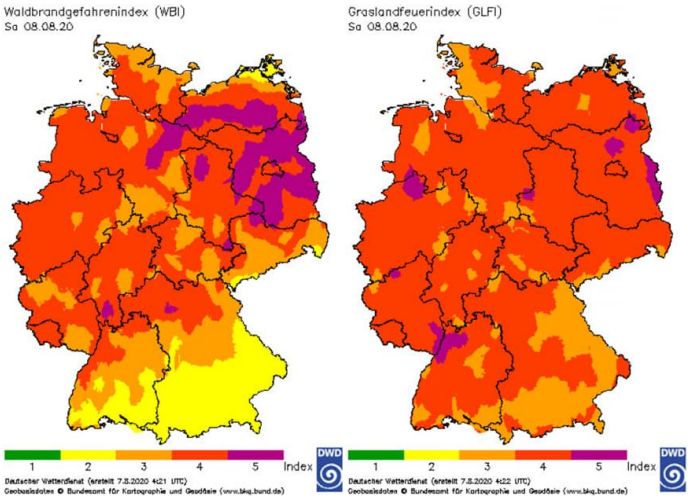


Abb. 10: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Deutschland
8.8.2020 – links: WBI; rechts: GLFI
(Quelle: Deutscher Wetterdienst)

3.3.2 Schweden

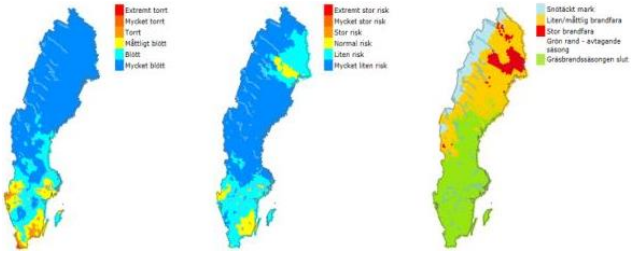


Abb. 11: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Schweden
links: nach HBV-Index; mittig: nach FWI; rechts: nach Grasbrandrisiko
(Quelle: [44], S. 4)

Die Brandrisikoprognosen für Schweden werden vom SMHI ([123]) im Auftrag des MSB erstellt. Aus den berechneten Indices werden die jeweiligen Warnstufen festgelegt (vgl. [43], S. 10). Das Vegetationsbrandrisiko wird auf drei Karten in einem Raster von 11 x 11 km dargestellt. Eine Zündungswahrscheinlichkeitskarte nach HBV-Index zeigt den Wassergehalt des Bodens in 6 Stufen (1 bis 5E bzw. sehr gering bis extrem hoch) an ([45], S. 2). Eine Ausbreitungspotentialkarte nach FWI zeigt die Bodenfeuchtigkeit ebenfalls in 6 Stufen an. Auf einer dritten Karte wird die Grasbrandgefahr in 5 Stufen dargestellt. Deren Bemessung erfolgt u. a. anhand vorhandenen alten Grases und des voraussichtlichen Wetters. Ab Stufe 5 (sehr hoch) können Feuerverbote erlassen werden. Alle Berechnungen werden ganzjährig täglich mit einem Prognosehorizont von 6 Tagen durchgeführt. Für alle drei Indizes werden Berechnungsgrundlagen und Kartenmaterial frei zur Verfügung gestellt ([116]). Dies dient als Information für die Öffentlichkeit. Für Behörden wird ein gesondertes Portal mit weiteren Informationen betrieben, welches 2021 erneuert wird. Außerdem werden die HBV-Prognosen 2021 durch einen neu entwickelten Brennstoff-Trockenheits-Index ersetzt ([145]).

3.3.3 Portugal

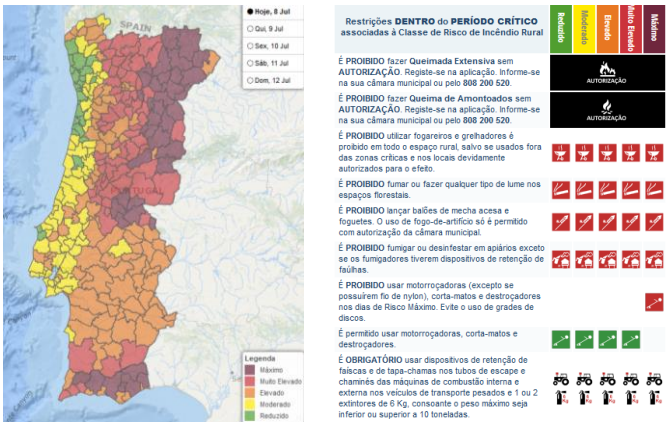


Abb. 12: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Portugal
(Quelle: [108])

Das portugiesische System ist besonders gut für langfristige Prognosen geeignet ([143]). Durch Kombination des südafrikanischen FDI und des kanadischen FWI wird eine Fire Danger Rate (FDR) ermittelt ([13]). Zuvor wurde der Portugiesische Index auf Basis des Nestrov-Index‘ verwendet ([91]). Der Prognosehorizont beträgt 5 Tage und die Ausgabe erfolgt täglich in 5 Stufen, welche in der Folge zu Feuerverboten und dergleichen führen. Zuweilen werden wohl auch prophylaktisch Einheiten zusammengezogen ([141]). Parallel dazu kann der FWI angezeigt werden ([107], [108]).

3.3.4 Italien

Italien ist u. a. durch eine heterogene Topografie geprägt und ganzjährig von Vegetationsbränden betroffen. Das italienische System betrachtet alle Arten von Vegetation – besonders in stadtnahen Gebieten. Die Warnstufen dienen dem Ableiten verschiedener Präventionsmaßnahmen, wie Schichtdienst, Flugbereitschaft und Bevölkerungswarnung. Die Kompetenzen sind zwischen Staat und Regionen aufgeteilt ([48]; [119]). Piemont nutzt bspw. den FWI ([121]). Es gibt Risikogebiete und Alarmstufen ([81]). Es existieren parallel Systeme mit 3 bis 5 Stufen.

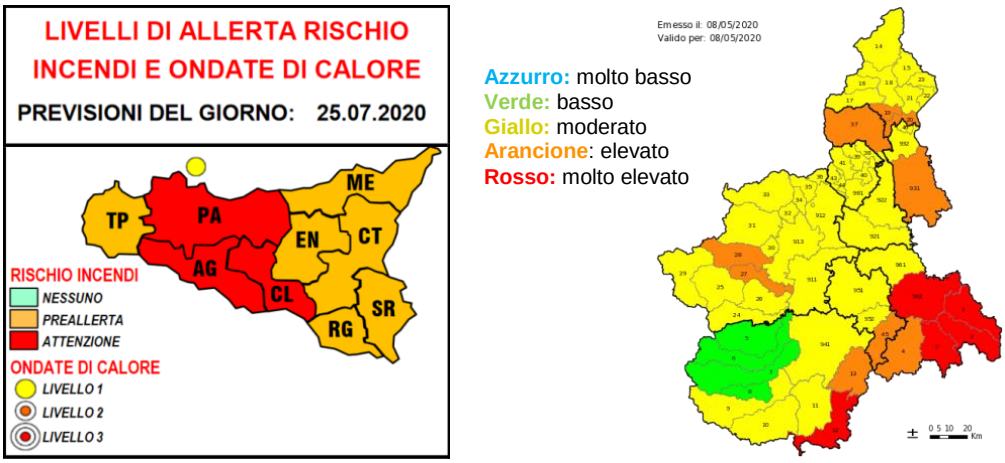


Abb. 13: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Italien

links: Sizilien; rechts: Piemont

(Quelle: [74] und [85])

Ein staatseinheitliches Anzeigesystem wird aufgrund der nationalen Tragweite der Brandrisiken angestrebt ([115]). Dadurch soll die Effizienz der Präventionsmaßnahmen gesteigert werden ([19]). Deshalb wurde das an die Vegetation des mediterranen Raums angepasste System RISICO entwickelt, welches Wetter-, Vegetations- und Topografiedaten berücksichtigt. Die Berechnung folgt ähnlichen Prinzipien, wie der FWI ([117]). Die Ausgabe erfolgt in 5 Stufen ([18], S. 698) und wurde bereits für den Mittelmeerraum außerhalb Italiens erweitert.

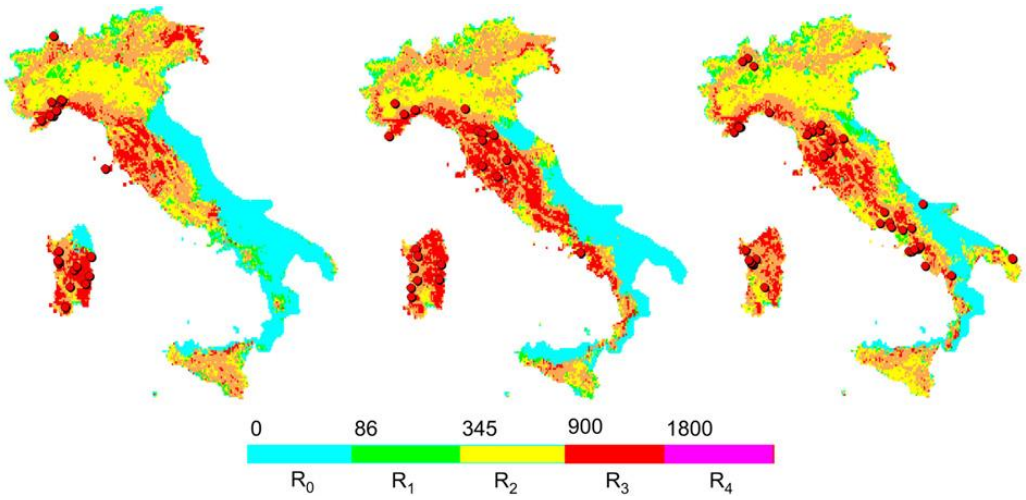


Abb. 14: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos mittels RISICO

hier: Warnstufen (Farbskala) und tatsächliche Brände (rote Punkte) für 1. – 3. August 2003

(Quelle: [18], S. 700)

3.3.5 Griechenland

Die Katastrophenschutzbehörde gibt täglich eine fünfstufige Risikoprognose für Griechenland heraus, wie sie nachfolgend dargestellt ist ([100]). Als Konsequenzen werden Informationsmaßnahmen, Feuer-, Betretungs- und Befahrungsverbote veranlasst. Nach schweren Bränden mit vielen Todesopfern 2018 wurde die Entwicklung eines neuen Systems begonnen. Dieses soll auch kurzfristige Prognosen zur schlimmsten zu erwartenden Ausbreitung zur Verfügung stellen, um der Einsatzleitung vor Ort zu helfen ([94]). Mit DISARM läuft eine grenzübergreifende Zusammenarbeit mit Bulgarien und Zypern zur Entwicklung eines Systems, dass während des Einsatzes genutzt werden kann ([93], [104], [106]). Es stellt bereits mehrere Indices für die einzelnen Regionen, satellitengestützte Früherkennung und Lufterkundung sowie Wettervorhersage in einem zur Verfügung ([105]). Es gibt Überlegungen, einige Vorteile des südafrikanischen FDI für Griechenland staatseinheitlich einzuführen ([26]). Auch der FWI wird für Griechenland getestet ([61]).

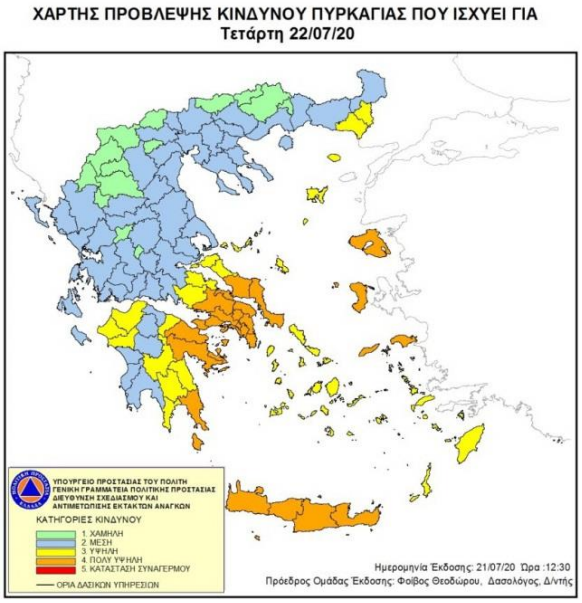


Abb. 15: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Griechenland
(Quelle: [100])

3.3.6 Polen

Das polnische System zur Darstellung der Vegetationsbrandrisiken ist vielversprechend. Es wurde als Forest Fire Danger Risk (FFD) vom Waldforschungsinstitut IBL entwickelt. In Polen besteht eine sehr gute Zusammenarbeit zwischen Brandschutz- und Forstbehörden. An jede der vier Warnstufen sind angemessene Maßnahmen geknüpft, bspw. Patrouillen durch das Forstamt – ausgerüstet mit 500 l Wasser, Löschrucksäcken und Feuerpatschen für den Erstangriff ([143]). Basierend auf meteorologischen Daten von 136 automatisierten Messpunkten wird zweimal täglich das Brandrisiko für 42 Prognosezonen bestimmt. Dazu werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag im Wald gemessen. Zusätzlich wird manuell der Feuchtigkeitsgehalt von Kiefernstreu bestimmt. Alle Daten gehen in ein IT-System, das die Warnstufen berechnet und die Karte generiert. Dieses Verfahren wird ab dem Verschwinden der Schneedecke bzw. spätestens ab März bis Ende September durchgeführt ([144]). Außerdem gibt das System eine Prognose der möglichen Waldbrandentwicklung (Simulation) nach 15, 30 und 45 Minuten aus, was während des Einsatzes sehr hilfreich sein kann ([120]). Das System wird ständig wissenschaftlich weiterentwickelt (vgl. [107]; [108]).

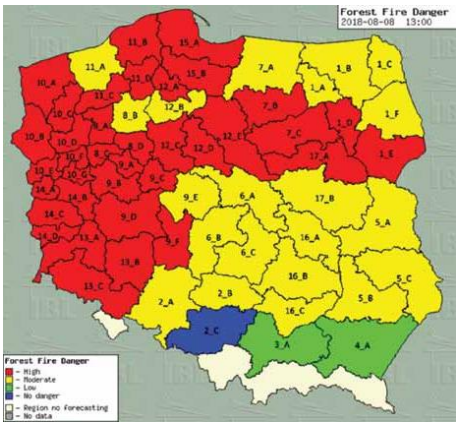


Abb. 16: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Polen
(Quelle: [57])

Anhand der ausgerufenen Warnstufen gelten in den Zonen automatisch konkret festgelegte Maßnahmen. In der folgenden Tabelle sind diese auszugsweise und vereinfacht dargestellt. Dabei findet die Verletzlichkeit bestimmter Wälder Berücksichtigung und es erfolgt eine angemessene Verteilung der Zuständigkeiten.

Maßnahmen	Warnstufen			
	0	1	2	3
Bereitschaftsdienst Forstbehörde	✓	✓	✓	✓
Besetzung von Beobachtungspunkten	✓	✓	✓	✓
Start von Luftpatrouillen	–	✓	✓	✓
volle Alarmbereitschaft	–	✓	✓	✓
Startbereitschaft für Löschflugzeuge [min]	–	**15**	**10**	**5**
Bodenpatrouillen in bestimmten Bereichen	–	–	–	✓

Tab. 1: Nutzung für Maßnahmen in Polen (Auszug)

(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [144])

3.3.7 Russland

In Russland wird der Nesterov-Index mit einigen Erweiterungen verwendet. Wetterbedingungen, lokale Gegebenheiten und Brennstoff werden berücksichtigt (vgl. [70], S. 4). Die Darstellung erfolgt anhand einer fünfstufigen Skala. Sie wird vom Meteorologischen Dienst berechnet und auf einer Karte veröffentlicht. Ideen und Elemente des FWI könnten zur Verbesserung des russischen Systems verwendet werden ([129]). Insbesondere soll das Risiko künftig auch bei Minus-Graden berechnet werden ([63]).

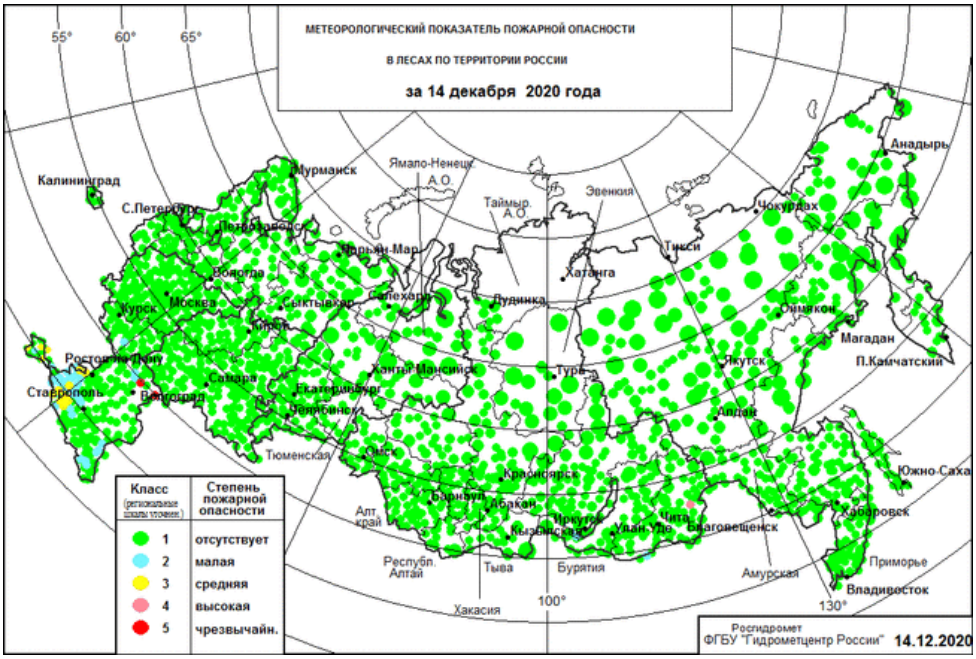


Abb. 17: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Russland

(Quelle: [131])

Je nach ausgerufener Warnstufe werden konsequent Maßnahmen durchgeführt, die in der folgenden Tabelle auszugsweise und vereinfacht dargestellt sind. Bei der Bemessung der Maßnahmenschärfe im Einzelnen werden zusätzlich die Klassifizierung der Waldgebiete (Vulnerabilität) und die Belebtheit der Orte (anthropogene Eintrittsrisiken) berücksichtigt.

Maßnahmen	Warnstufen				
	I	II	III	IV	V
Bodenpatrouillen	gelegentlich	gelegentlich	täglich	ganztags	rund um die Uhr, verstärkt
Luftpatrouillen	gelegentlich	alle 2 Tage	täglich	2 x täglich	3 x täglich
Beobachtungs-punkte	nachmittags	tagsüber	tagsüber	ganztags	ganztags
Einsatz-bereitschaft	normal	normal	Überprüfung	Mobili-sierung von Reserven	volle Alarmbereitschaft inkl. Reserve, Löschflugzeuge und andere Behörden
Warnung d. Bevölkerung	–	–	ja	verstärkt	eindringlich
Betretungs-verbote	–	–	möglich	möglich	voll, mit Straßensperren und Poizeikontrollen

Tab. 2: Nutzung für Maßnahmen in Russland (Auszug)
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [72], S. 9 – 12)

3.3.8 Weitere europäische Staaten

Da in dem begrenzten Umfang dieser Arbeit nicht alle Staaten mit ihren Systemen und Maßnahmen beschrieben werden können, werden an dieser Stelle einige Nachbarländer kurz erwähnt. In Österreich gibt das Zentralinstitut für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) das Waldbrandrisiko in 4 Warnstufen heraus, die die mögliche Brandausbreitung beschreiben ([130]). In der Schweiz tut dies das Bundesamt für Umwelt mit 5 Warnstufen – Maßnahmen können dort Feuerverbote sein ([77]). Es wird ein drahtloses Sensorsystem betrieben ([6], S. 31). In Slovenien geben sowohl die Forstbehörde ([76]) als auch der Meteorologische Dienst ([75]) den FWI in 5 Warnstufen heraus. Slovenien und Frankreich weisen Entzündungswahrscheinlichkeit und Ausbreitungspotential getrennt aus ([6], S. 34). Frankreich verfügt zudem über ein System mit dessen Hilfe sich die wahrscheinliche Brandausbreitung prognostizieren lässt ([47], [139]).

4 Gegenüberstellung

Die Berechnung und Darstellungsweise wird in Europa und tlw. auch innerhalb seiner Staaten sehr unterschiedlich gehandhabt, was Ansätze, Warnstufen, Farben und Auflösungen betrifft. Ebenso unterscheiden sich die Länder stark hinsichtlich der Nutzung ihrer Systeme. Während sich viele westliche Länder auf Warnungen und Verbote beschränken, gibt es bspw. in Polen und Russland staatseinheitliche, auf die Warnstufen abgestimmte Systeme einsatzrelevanter Maßnahmen (siehe Tab. 3). Die einzelnen Systeme haben Vor- und Nachteile, aber alle helfen bei der Prävention. Eine europäische Vergleichbarkeit der Risiken kann für die internationale Zusammenarbeit hinsichtlich Kräfte- und Mittelzuweisung von Bedeutung sein und wird durch GFMC und EFI realisiert.

Org./Land	GFMC	EFI	Deutschland	Schweden	Italien	Polen	Russland
Ansatz	EWS	EFFIS	WBI, GLFI	HBV, FWI, Gras	(FWI)	FFD	Nesterov
Grasland	nein	nein	ja	ja	(ja)	nein	nein
räuml. Auflösung	gradientenbezogen	8 x 8 bzw. 10 x 10 km	gradientenbezogen bzw. divers	11 x 11 km	divers	Zonen	punktuell bzw. regional
zeitl. Auflösung	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	2 x täglich	täglich
Prognosehorizont	30 Tage	10 Tage	5 Tage	6 Tage	divers	2 Tage	1 Tag
Warnstufen	5	6	5, 5	6, 6, 5	divers	4	5
Warnungen	-	-	ja	ja	ja	ja	ja
Verbote	-	-	ja	ja	ja	ja	ja
Maßnahmen	-	-	(nein)	nein	(ja)	ja	ja

Tab. 3: Prüfung der Darstellungssysteme in Europa hinsichtlich Nutzung
(Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an [6] S. 34)

5 Fazit

5.1 Zusammenfassung

Zuerst wurden die zum Verständnis der Thematik notwendigen Grundlagen zu Vegetationsbränden und Risikodarstellungen zusammengetragen und Begriffe aus der Aufgabenstellung definiert, um das Thema abzugrenzen. Arten und Einsatzbereiche von Darstellungssystemen im Brandschutz wurden erörtert, dabei die Frühwarnsysteme als Schwerpunkt identifiziert und das Ziel – eine Übersicht vorhandener Systeme und deren Anwendung – formuliert.

Im Anschluss wurden die wichtigsten grundlegenden Ansätze zur Ermittlung (Indices) von Vegetationsbrandrisiken vorgestellt, auf denen heutige Darstellungssysteme basieren. Auch das Entwicklungsgeschehen wurde dargestellt. Schließlich wurden Darstellung (Warnstufen) und Nutzung (Maßnahmen) in Deutschland und Europa untersucht und ausgewählte Systeme gegenübergestellt. Daraufhin wurden Schlussfolgerungen zur Nutzung der Systeme vor, während und nach Einsätzen abgeleitet und somit das Ziel der Arbeit erreicht. Darüber hinausgehend wurde ein Entwurf (siehe Anhang B) für eine mögliche Nutzungsstruktur am Beispiel Brandenburg erarbeitet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Die wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten zur Risikoprognose sind weiter entwickelt als die Ausschöpfung ihrer strategischen und taktischen Nutzungspotentiale. Die unterschiedlichen verwendeten Ansätze sind nicht nur historisch gewachsen sondern auch auf ihre Anwendungsbereiche be-

sonders optimiert. Insofern ist ein Vergleich der Prognosegüten ohne weitere Berechnungen schwierig. Parallel setzen sich bestimmte, bewährte Komponenten (bspw. des FWI) zusehends global durch und es erfolgt vielerorts die Weiterentwicklung. Mit den Produkten des DWD ist Deutschland relativ gut aufgestellt. Naturgemäß eignen sich Frühwarnsysteme vorrangig für präventive und einsatzvorbereitende Maßnahmen, wie Warnung, Risikominderung und Anpassung der AAO. Es wurde dargestellt, dass ihre Ergebnisse aber auch für einsatzbegleitende und einsatznachbereitende Maßnahmen verwendbar sind. So kann mit ihrer Hilfe bspw. während längerer Einsätze die weitere Entwicklung abgeschätzt – nach Einsätzen die Qualität der Nachlöscharbeiten angepasst werden ([143]).

5.2 Ausblick

Die durchschnittliche Fläche pro Brand im Bereich des genutzten Systems enthält alle relevanten Faktoren, um als Anhaltspunkt für den Erfolg des Brandschutzes insgesamt und somit zum Vergleich der Systeme untereinander verwendet zu werden. Falls sich dabei Zusammenhänge abzeichnen, könnte ein globaler Systemvergleich größeren Rahmens Aufschluss über den Erfolg verschieden vorgehender Staaten bei der Vegetationsbrandbekämpfung geben.

Das beste Frühwarnsystem ist zwecklos, wenn an Warnungen keine hinreichend risikobeeinflussenden (siehe Abb. 3) Konsequenzen geknüpft sind. Für die Feuerwehr besitzen Warnstufen zudem nur Aussagekraft, wenn sie an Größenordnungen des abwehrenden Brandschutzes (vgl. [128]) der jeweiligen Region orientiert sind. Sie könnten die potenzielle Ausbreitungsgeschwindigkeit noch stärker berücksichtigen ([143]). Hinsichtlich der organisatorischen Nutzung der Risikoprognosen könnte, inspiriert von Polen und Russland, der Brandschutz in Deutschland noch effektiver werden (Beispiel-Entwurf für Brandenburg siehe Anhang B). Hier könnten die Zusammenarbeit und Kommunikation von DWD, Forstbehörden und Landesregierungen noch ausgebaut werden ([146]). Eine nationale Vereinheitlichung der Nutzung unter Beteiligung der zahlreichen engagierten Arbeitsgruppen erscheint erstrebenswert. Auch europaweit könnte durch die Arbeit von EFI und GFMC der gemeinschaftliche Brandschutz optimiert werden.

Langfristige Prognosen können für langfristige Maßnahmen genutzt werden, wie etwa den Waldumbau (Laubriegel) oder die gezielte Schädlings- und Kampfmittelbeseitigung ([83], S. 2), während entsprechend der kurzfristigen Warnstufen automatisch organisatorische Maßnahmen erfolgen sollten. In der Vegetationsbrandbekämpfung kommt es besonders auf Schnelligkeit und Kommunikation an. In Abhängigkeit der Warnstufen und unter Beachtung der regionalen Gegebenheiten (Vulnerabilität, VB, AB) könnten Kontakte eher geknüpft, Kräfte und Mittel (wie Löschhubschrauber oder Gülletanker) eher angefordert und bereit gestellt – die Chaosphase kürzer gehalten werden. Ein Beispiel, das in diese Richtung deutet, stellen die Hessischen Alarmstufen (A und B) dar ([132], S. 13). Je aufwändiger die Maßnahmen, desto höher wären jedoch die Anforderungen an die Prognosegüte.

Die technische Entwicklung schreitet voran in Richtung universeller digitaler Systeme, die alle Daten von Berechnungen, Satelliten ([24], S. 261; [55], S. 27; [64], S. 20), Fliegern ([10], S. 98; [110]), Drohnen ([1], S. 283), eventuellen zukünftigen Sensorsystemen

(vgl. [51]), Meldern in Drehleiterkörben, auf Krafträdern und Wachtürmen – aber auch dem Dürremonitor oder der Ninjo-Blitzmessung usw. – zusammenfassen und gemeinsam mit den taktischen Einheiten darstellen und somit allen Einsatzbeteiligten eine *vernetzte Operationsführung* ermöglichen. In Deutschland könnte so eine Kombination von Frühwarnsystem, Früherkennung, Lagedarstellung und Ausbreitungsprognose in Zusammenarbeit von Bund und Ländern bspw. vom GMLZ verwaltet werden, während sich die Kosten aufteilen ließen. Als Basis dafür käme neben kommerzieller auch freie Software in Betracht. Es könnten aber auch die bestehenden europäischen Strukturen (siehe 3.2 und 3.3.5) ausgebaut und genutzt werden. Für den Vegetationsbrandschutz in Deutschland und Europa bieten sich also durch alle vorhandenen Darstellungssysteme viele technische und organisatorische Möglichkeiten, die nur auf ihre Umsetzung warten.

Schlusswort

In der gebotenen Kürze konnte ich nur die Oberfläche dieser umfangreichen Thematik darstellen. Ich möchte mich an dieser Stelle bei den zahlreichen Experten bedanken, die mich durch Ihre Aufgeschlossenheit und mit guten Hinweisen bei meiner Arbeit unterstützt haben.

28. Oktober 2022

Quellen

Literatur

[1] Ágoston, Restás et al. **„An approach for measuring the Effectiveness of Fire Detection Systems in different Dimensions“** in Bolyai Szemle 2014/3 (2014)

[2] Alves, D. S. et al. (ADAI/CEIF) **„Calibration of the Canadian FWI System for the Territory of Euope“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 32, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[3] Badeck, F. W. et al. (PIK) **„Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko – Eine Prognose bis 2050“** in AFZ – Der Wald (2003)

[4] Bartsch, Norbert; Röhrig, Ernst **„Waldökologie“** (2016), Springer Spektrum, Berlin
DOI: 10.1007/978-3-662-44268-5, ISBN: 978-3-662-44267-8

[5] BBK **„Newsletter der Nationalen Fachkoordination für den Copernicus-Dienst Katastrophen- und Krisenmanagement (CEMS)“** (13.08.2020)

[6] Böttcher, Falk et al. **„Forest Fires in the Alps – State of Knowledge, Future Challenges and Options for an Integrated Fire Management – White Paper for Policy Makers“** (2019), Wien

[7] Bruschek, G. J. **„Waldgebiete und Waldbrandgeschehen in Brandenburg im Trockensommer 1992“** in Report 2 Vol. 1 PIK, 245-264 (1994) Potsdam

[8] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung **„Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2019“** (2020), Bonn

[9] Canadell, J. G. et al. **„Interactions of the Carbon Cycle, Human Activity, and the Climate System: a Research Portfolio“** (2010)
DOI: 10.1016/j.cosust.2010.08.003

[10] Cimolino, Ulrich **„Analyse der Einsatzerfahrungen und Entwicklung von Optimierungsmöglichkeiten bei der Bekämpfung von Vegetationsbränden in Deutschland“** Dissertation (2014)

[11] Cimolino, Ulrich **„Vegetationsbrandbekämpfung – und das Klima bzw. Wetter“** Fachbeitrag in vfdb 3/2019 (2019)

[12] Cruz, Miguel et al. **„An experimental Investigation of the Effect of Grass Fuel Load on Grassfire behaviour“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 85, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[13] CSIR Meraka Institute **„Fogo Relatório Perigo“** via AFIS für Coimbra (14.11.2014 – 17.11.2014)

[14] Deutscher Feuerwehrverband e. V. **„Sicherheit und Taktik im Vegetationsbrandeinsatz“** Fachempfehlung Nr. 3 (16. Juni 2020)

[15] Dowdy, A. J. et al. (The Centre for Australian Weather and Climate Research) **„Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index“** in CAWCR Technical Report No. 10 (2009)
ISBN: 9781921605185, ISSN: 1836-019X

[16] DWD **„Dokumentation Waldbrandgefahrenindex WBI“** (2018)

[17] Engel, Raimund **„17 Years of Forest Fire Detection and Management supported by an Optical Sensor System: Field Report from Germanys Brandenburg national Forest, one of Europe's top Wildfire Regions at Risk“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 81, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[18] Fiorucci, Paolo et al. **„Development and application of a system for dynamic wildfire risk assessment in Italy“** in Environmental Modelling & Software 23 (2008)
DOI: 10.1016/j.envsoft.2007.05.008

[19] Fiorucci, Paolo et al. **„Analysis of dayli Fire Danger in Italy in the last ten Years compared to Response Capacity“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 85, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[20] Food and Agriculture Organization of the United Nations **„Global Forest Resources Assessment – Main Report 2020“** (2020), Rom
ISBN: 978-92-5-132974-0

[21] Food and Agriculture Organization of the United Nations **„State of Europes Forests“** (2015), Madrid

[22] Gerstengarbe, F.-W., Werner, P. **„Waldbrandentwicklung im Land Brandenburg“** in AFZ – Der Wald 52 7 (1997)

[23] Goldammer, Johann Georg (GFMC) **„Reportage Feuerökologie“** in Feuerwehr 6/2020 (2020)

[24] Goldammer, Johann Georg (GFMC) **„Vegetation Fires and Global Change“** (2013), Kessel Publishing House
ISBN: 978-3-941300-78-1

[25] Götz, Volkmar **„Allgemeines Polizei- und Ordnungsrecht“** 13. Auflage (2001)
ISBN: 3-525-18240-6

[26] Gouvas, Markos et al. **„The South African Lowveld Fire Danger Index (LFDI) and its application advantages in Greece“** (2019)
ISBN: 978-618-84551-0-8

[27] Hahn, Harald et al. **„ABC des Einsatzleiters der Feuerwehr“** 7. überarbeitete Auflage (1988), Staatsverlag der DDR

[28] Hauck, Markus et al. **„Klimawandel und Vegetation – Eine globale Übersicht“** (2019), Springer Spektrum, Berlin
ISBN: 978-3-662-59790-3

[29] Hirschberger, Peter (WWF) **„Wälder in Flammen – Ursachen und Folgen der weltweiten Waldbrände“** (2012)

[30] IdF **„Einsatztaktik für Gruppenführer“** (2020), IdF, Münster
LU B1-310

[31] IMK **„Nationale Vegetationsbrandbekämpfungsstrategie“** Entwurf zur 97. AK V-Sitzung (2019)

[32] Kanak, Jens Peter **„Gefahren der Einsatzstelle – Lehrunterlage für die Truppmann-Ausbildung“** (2015) IdF, Münster

[33] Käse, Herbert **„Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern“** in Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes des DDR Nr. 94 (1969), Akademie-Verlag, Berlin

[34] Kätzel, Ralf et al. **„Die Wälder des norddeutschen Tieflandes unter dem Einfluss aktueller und zukünftiger Risikofaktoren – Beispiele für eine Gefährdungsanalyse“** in Eberswalder Forstliche Schriftenreihe
Band 64 (2017)

[35] Keetch, J. J.; Byram G. M. **„A Drought Index for Forest Fire Control“** (1968)

[36] Kolb, Jürgen et al. **„Allgemeine Waldbrandsituation in Bayern“** in LFW aktuell 100 (2014), Bayerische Forstverwaltung
ISSN: 1435-4098

[37] Krings, Susanne; Glade, Thomas **„Bevölkerungsschutz“** (2017), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
DOI: 10.1007/978-3-662-44635-5, ISBN: 978-3-662-44634-8

[38] Lehsten, V. et al. **„Modelling burned area in Africa“** in Biogeosciences 7, S. 3199 – 3214 (2010)
DOI: 10.5194/bg-7-3199-2010

[39] Leidinger, Bernhard **„Wertorientierte Instandhaltung“** (2017), Springer Gabler
DOI: 10.1007/978-3-658-17855-0, ISBN: 978-3-658-17854-3

[40] Marie, Gardelin (SMHI) **„Brandriskprognoser med hjälp av en skiktad markfuktighetsmodell – vidareutveckling av HBV-modellen“**

[41] Merschbacher, Adam **„Brandschutzfibel“** (2018), Springer Vieweg
ISBN: 978-3-658-21138-7

[42] Molina-Terrén, D. M. et al. **„Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy)“** in International Journal of Wildland Fire (2019)

[43] MSB **„Framtida perioder med hög risk för skogsbrand – Analyser av klimatscenarier“** (2013)
ISBN: 978-91-7383-323-3, MSB535

[44] MSB **„Hjälp för dig som loggar in i >Brandrisk Skog och Mark<“** Anleitung (2017)

[45] Pagnon Eriksson, Claude; Johansson, Nils **„Review of Wildfire Indices – Indices applicable for a Swedish context“** (2020), Lund University
TVBB-No. 3233:

[46] Patzelt, Steffen Thomas **„Waldbrandprognose und Waldbrandbekämpfung in Deutschland – zukunftsorientierte Strategien und Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der Brandbekämpfung aus der Luft“** Dissertation (2008), Johannes Gutenberg-Universität, Mainz

[47] Perez-Ramirez, Yolanda et al. **„FireCaster Decision Support System: On the need for a new fuel description approach“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 63, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[48] Protezione Civile Regione Marche **„Piano di Emergenza di Protezione Civile Rischio incendi boschivi e d'interfaccia – I – Scenari di Rischio incendi boschivi e d'interfaccia e modello d'Intervento“** Comune di Senigallia

[49] San-Miguel-Ayanz, Jesus et al. **„JRC Technical Report – Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2019“** (2020), Publications Office of the European Union
DOI: 10.2760/468688, ISBN: 978-92-76-23209-4, ISSN: 1831-9424

[50] San-Miguel-Ayanz, Jesus et al. **„JRC Technical Report – Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018“** (2019), Publications Office of the European Union
DOI: 10.2760/1128, ISBN: 978-92-76-11234-1, ISSN: 1831-9424

[51] Schunk, Christian et al. **„Mit Holzstäben Waldbrandgefahr beurteilen“** in LFW aktuell 105/2015 (2015)

[52] Spellmann, Hermann et al. **„Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse“** in AFZ – Der Wald 11/2011 (2011)

[53] Staatliche Feuerwehrschule Würzburg (Hrsg.) **„Vegetationsbrände – Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns“** 5. Auflage (2020), Halbigdruck, Würzburg

[54] Stock, Manfred et al. (PIK) **„Aufbau eines Fachinformationssystems >Klimafolgen und Anpassung< (FISKA)“** 3. Schlussbericht zum UBA-Forschungsprojekt >Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland< (2012)
FKZ: 206 41 100

[55] Strunz, Günter et al. (DLR) **„Beiträge der Fernerkundung zur Unterstützung des Katastrophenmanagements und der humanitären Hilfe“** im Handbuch der Geodäsie, Band „Photogrammetrie und Fernerkundung“ (2015), Springer, Berlin Heidelberg
DOI: 10.1007/978-3-662-46900-2_53-1

[56] Süssner, Birgit **„Wald- und Vegetationsbrände – Prävention, Einsatzvorbereitung, Bekämpfung“** Aus der Reihe „Die Roten Hefte“ (2020), Kohlhammer, Stuttgart
ISBN: 978-3-17-036500-1

[57] Szczygieł, Ryszard et al. **„Dynamic Forest Fire Risk Evaluation in Poland“** in Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry , 2020, Vol. 62 (2) (2020)
DOI: 10.2478/ffp-2020-0014

[58] Thüringer Ministerium für Inneres und Kommunales (Hrsg.) **„Handbuch Vegetationsbrandbekämpfung“** (2020), Erfurt

[59] Tuschy, Helge et al. (DMG e. V.) **„Mitteilungen DMG 3 l 2017, Heft 4/2017“** (2017)
ISSN: 0177-8501

[60] Van Wagner, C. E. **„Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index“** (1974) im Catalogue No. Fo47-1333, Ottawa

[61] Varela, Vassiliki et al. **„High Resolution seasonal Forest Fire Danger Mapping using WRF Forecasts for Greece: A Tool for Forest Fires Prevention Planning and Fire Risk Management Support“** in Advances in Forest Fire Research 2018 S. 1205 – 1208 (2018)
DOI:https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_138

[62] Vereinte Nationen **„Terminology on Disaster Risk Reduction“** (2009), UNISDR, Genf

[63] Volokitina, A. V. et al. **„Improvement of Fire Danger Rating in Russia“** in 8th international Conferece on Forest Fire Research – Abstracts Book (2018), S. 105, Coimbra
ISBN: 978-989-99080-9-3

[64] Weber, Sarah **„Einsatz von Satellitenbildern im Bevölkerungsschutz“** (2018), Facharbeit gemäß § 21 VAP2.2-Feu (NW)

[65] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung **„Welt im Wandel – Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken – Jahresgutachten 1998“** (1998), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
ISBN: 978-3-642-63585-4

[66] Wittich, Klaus-Peter **„A single-layer litter-moisture model for estimating forest-fire danger“** in Meteorologische Zeitschrift, Vol. 14, No. 2, 157-164 (2005)

[67] Wittich, Klaus-Peter; Löpmeier Franz-Josef (DWD) **„Der neue Waldbrandgefahrenindex des Deutschen Wetterdienstes“** Handreichung des ZAMF

[68] Wuebbles, D. J. et al. (USGCRP) **„Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I“** (2017)
DOI: 10.7930/J0J964J6

[69] Александрова, В. В.; Лыкова, Е. В. **„Лесные пожары как опасное природное явление “** in „Актуальные проблемы теории, методологии и практики научной деятельности“ (2020), Научно-издательский центр „АЭТЕРНА“, Omsk
ISBN: 978-5-00177-008-4

[70] Кудрявцев, М. Ю. et al. **„Проблемы тушения лесных пожаров на территории Российской Федерации“** (2008), Preprint Inst. Appl. Mathem. Russian Academy of Sciences, Moskau

[71] Соколов, Ю. И. (МЧС) **„Пожарные риски России“** in Риск пожарный Проблемы анализа риска, том 13, 2016, № 5 (2016)
УДК 614.84, ISSN: 1812-5220

[72] Федеральное Агенство Лесного Хозяйства **„Памятка по организации охраны лесов от пожаров“** (2011), Moskau

[73] Ходаков В. Е.; Жарикова М. В. **„Лесные пожары: методы исследования“** (2011) Херсон
УДК: 63.630

Internet

[74] Antincendi Boschivi e Protezione Civile **„Il sistema di allerta“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.aibchiaverano.org/sistema-di-allerta/

[75] ArsoMeteo **„Probability of forest fire initiation and spreading“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://meteo.arso.gov.si/met/en/app/webmet/#webmet===wL1BHbvFGZz9SblRXZv9SYwB3L3VmYtVGdvAXdqN3LwJ3bn9iclFGbt9SatF2Zl9Ccvlmb05CetxGfzx2b2VmbpFGfp1WYnVGf7R2btFWaupzJzx2b2VmbpF2JsAXYyFWblRXZypzJXFkUO9lRJJVRfxUQUV0UUdSf;

[76] Arstvo Gozdov Slovenije **„Dnevna napoved požarne ogroženosti gozdov z modelom FWI-INCA - spletna aplikacija“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=41

[77] BAFU (Schweiz) **„Waldbrandgefahr-Meldungen des Bundesamts für Umwelt“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.waldbrandgefahr.ch/aktuelle-lage

[78] BBK. **„Das Modulare Warnsystem (MoWaS)“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/WarnungderBevoelkerung/MoWaS/ModularesWarnsystem_node.html

[79] BKG **„Der digitale Waldbrandatlas“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/waldbrandatlas.html

[80] CEFA **„Program for Climate, Ecosystem and Fire Applications“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://cefa.dri.edu/CFS/fwi.php

[81] Comune di Strangolagalli **„Previsioni Rischio Incendi“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://www.comunedistrangolagalli.it/home/servizi-e-utilita/protezione-civile/previsioni-e-allertamento/previsioni-rischio-incendi/

[82] Deutsche Welle **„Waldbrände weltweit: Klimawandel und Rodungen erhöhen das Risiko“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.dw.com/de/waldbr%C3%A4nde-weltweit-klimawandel-und-rodungen-erh%C3%B6hen-das-risiko/a-51925926

[83] Deutscher Feuerwehrverband e. V.; Deutscher Städte- und Gemeindebund **„Nationales Konzept für besonders große oder schwierige Vegetationsbrände“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/12/201005_Konzept_Vegetationsbraende_DStGB_DFV.pdf

[84] Deutschlandfunk **„Globale Erwärmung setzt sich unbarmherzig fort“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.deutschlandfunk.de/vorlaeufiger-klima-statusbericht-fuer-2020-globale.676.de.html?dram:article_id=488544

[85] DRPC Sicilia **„Avviso incendi e ondata calore“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://www.protezionecivilesicilia.it/it/news/?pageid=80

[86] DWD **„FeWIS- Wetterinformationssystem für den Katastrophenschutz“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://isabel.dwd.de/DE/leistungen/gbgfewis/gbgfewis.html

[87] DWD **„Graslandfeuerindex“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/graslandfi/graslandfi.html?nn=510076

[88] DWD **„Waldbrandgefahrenindex WBI“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/wbi_doku.html?nn=510076&lsbId=344032

[89] DWD **„Waldbrandgefahrenindex“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/waldbrandgef/waldbrandgef.html?nn=510076

[90] DWD **„Waldbrandindex“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/erlaeuterungen/elemente/_functions/faqkarussel/waldbrandindex.html;jsessionid=20E87E675C2230490AC5DA19FDB34738.live31092?nn=450214

[91] Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL **„Fire Weather Indices WIKI“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://wikifire.wsl.ch/tiki-indexcd24.html?page=Baumgartner+index

[92] EUMETNET **„MeteoAlarm – Wetterwarnungen für Europa“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://www.meteoalarm.eu/

[93] EuroNews **„DISARM: Das Feuer entwaffnen“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://de.euronews.com/2020/07/20/disarm-das-feuer-entwaffnen

[94] EuroNews **„Griechenland: Neue Wege im Kampf gegen Landschaftsbrände“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://de.euronews.com/2020/07/20/griechenland-neue-wege-im-kampf-gegen-landschaftsbrande-

[95] Europäische Kommission **„EFFIS – Current Situation Viewer“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://effis.jrc.ec.europa.eu/static/effis_current_situation/public/index.html

[96] Europäische Kommission **„EFFIS – Fire Danger Forecast“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://effis.jrc.ec.europa.eu/about-effis/technical-background/fire-danger-forecast/

[97] Europäische Kommission **„Emergency Management Service“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://emergency.copernicus.eu/

[98] Europäische Kommission **„GWIS – Current Situation Viewer“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://gwis.jrc.ec.europa.eu/static/gwis_current_situation/public/index.html

[99] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und Forest Europe (FE) bei Eurostat **„Waldflächen“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for_area&lang=de

[100] General Secretariat for Civil Protection **„Archive - 2020 - Χάρτης Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.civilprotection.gr/en/archive/daily_map/2020

[101] GERICS Climate Service Center Germany **„Waldbrand, Index“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.gerics.de/products_and_publications/publications/detail/063307/index.php.de

[102] GFMC **„Global Fire Early Warning System – Overview“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://gfmc.online/gwfews/overview.html

[103] GFMC **„Global Fire Early Warning System“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://gfmc.online/gwfews/index-12.html

[104] Interreg **„Drought and Fire Observatory and Early Warning System“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://disarmfire.eu/project/

[105] Interreg **„Live Stations & Live Fire Indices“** Kartenausgabe für Griechenland (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://map.disarmfire.eu/Greece

[106] Interreg **„Live Stations & Live Fire Indices“** Länderauswahl (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://map.disarmfire.eu/

[107] IPMA **„FWI, índice perigo de incêndio - Mapa dinâmico“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.ipma.pt/pt/riscoincendio/fwi/

[108] IPMA **„Risco de Incêndio Rural“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.ipma.pt/pt/riscoincendio/rcm.pt/#

[109] Kanadische Regierung **„Fire Weather Maps“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/maps/fw?type=fdr&year=2020&month=7&day=15

[110] Karlsruher Institut für Technologie **„Brandwache mit dem Flugzeug – Wissenschaftler am KIT nutzen Laserscanner, um die Waldbrandgefahr einzuschätzen - Campus-Report am 16.06.2020“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000120219

[111] Kaulfuss, Susanne **„Gesetzliche Grundlagen bei der Waldbrandvorbeugung“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbrand-gesetzliche-grundlagen

[112] Kaulfuss, Susanne **„Waldbauliche Maßnahmen zur Waldbrandvorbeugung“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbauliche-waldbrandvorbeugung

[113] Kaulfuss, Susanne; Chtioui, Yvonne **„Waldbrandüberwachung“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/waldbrand/waldbrandueberwachung

[114] Landesbetrieb Forst Brandenburg **„Waldbrandgefahr in Brandenburg“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://forst.brandenburg.de/lfb/de/themen/wald-schuetzen/waldbrandgefahr-in-brandenburg/

[115] Monreale News **„Incendi e ondate di caldo: cambia la scala cromatica di segnalazione“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.monrealenews.it/cronaca-monreale/cronaca-varia/24265-incendi-e-ondate-di-caldo-cambia-la-scala-cromatica-di-segnalazione.html

[116] MSB **„Brandriskprognoser och brandriskkartor“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/skogsbrand-och-vegetationsbrand/brandriskprognoser/

[117] NASA **„Fire Information for Rescue Management System“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#t:adv;d:2020-12-20..2020-12-21;@0.0,0.0,3z

[118] NOAA **„Global Climate Report - Annual 2019“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913

[119] Protezione Civile **„Attività rischio incendi“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-incendi/attivita

[120] RDLP w Zielonej Górze **„Ochrona przeciwpożarowa“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.zielonagora.lasy.gov.pl/ochrona-przeciwpozarowa/-/asset_publisher/1M8a/content/ochrona-przeciwpozarowa?_101_INSTANCE_1M8a_languageId=pl_PL

[121] Regione Piemonte **„Previsione e valutazione pericolo di incendi“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.regione.piemonte.it/web/temi/protezione-civile-difesa-suolo-opere-pubbliche/protezione-civile/incendi-boschivi/previsione-valutazione-pericolo-incendi

[122] Republic of South Africa – Water Affairs & Forestry **„Background to the National Fire Danger Rating System“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.daff.gov.za/doadev/sidemenu/forestryweb/webapp/documents/forestfire/192.168.10.11/nvffa.nsf/4d2641997589c2e342256d72003e35fc/681031c4d339fb3742256dfc0075ff5802ec.html?OpenDocument

[123] SMHI **„Warnings“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.smhi.se/en/weather/sweden-weather/warnings#ws=wpt-a,proxy=wpt-a,district=031,page=wpt-warning-alla

[124] Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH **„Lexikon der Biologie: Feuerökologie“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/feueroekologie/24346

[125] Universität für Bodenkultur Wien **„Waldbrand-Datenbank Österreich“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://fire.boku.ac.at/firedb/de/

[126] Universität für Bodenkultur Wien **„Waldbrände in Österreich“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://boku.ac.at/wabo/waldbau/forschung/fachgebiete/bewirtschaftungskonzepte/waldbewirtschaftung-und-klimaaenderung/waldbrand

[127] USDA Forest Service **„Haines Index“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://web.archive.org/web/20140416182854/http://www.ncrs.fs.fed.us/4401/focus/haines/

[128] USDA Forest Service **„National Fire Danger Rating System“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.fs.usda.gov/detail/cibola/landmanagement/resourcemanagement/?cid=stelprdb5368839

[129] Volokitina, A. V. et al. **„Comparative Analysis of meteorological Factors in Russian and foreign Fire-Danger Rating Systems“** (2003)
URL: http://www.fao.org/3/XII/0738-B3.htm

[130] ZAMG **„Information zur Waldbrandgefahr“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetter-oesterreich/waldbrand

[131] Гидрометценр России **„Пожароопасность в лесных массивах по территории России“** (abgerufen am 27.12.2020)
URL: https://meteoinfo.ru/fire-danger

Rechtsgrundlagen

[132] **Anlage B 1.9 zum Hessischen Waldschutzerlass** (vom 09.12.2019)

[133] **DIN 14011 – Feuerwehrwesen – Begriffe** Normenausschuss Feuerwehrwesen (2018), Beuth Verlag GmbH, Berlin
ICS 01.040.13; 13.220.01

[134] **FwDV 100 – Führung und Leitung im Einsatz** des AFKzV (vom 10.03.1999)

[135] **Gemeinsamer Erlass des Ministeriums des Innern und für Kommunales und des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Vorbeugung und Abwehr von Waldbränden (Waldbranderlass)** (vom 12.02.2020)

[136] **Verordnung (EWG) Nr. 2158/92 zum Schutze des Waldes in der Gemeinschaft gegen Brände** Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (vom 23.07.1992)

[137] **Waldgesetz des Landes Brandenburg (LWaldG)** (vom 30.04.2019)

[138] **ГОСТ Р 22.1.09-99** (vom 01.01.2000)

Expertengespräche

[139] B., F. (DWD), Gespräch vom 12.11.2020

[140] C., U. (BF Düsseldorf), Mitteilung vom 05.11.2020

[141] E., R. (Landesbetrieb Forst Brandenburg), Gespräch vom 05.11.2020

[142] G., J. G. (GFMC), Mitteilung vom 04.11.2020

[143] H., A. (EFI), Gespräch und Mitteilung vom 05.11.2020

[144] K., J. (Generaldirektion Staatsforst), Mitteilung vom 05.11.2020

[145] S., L. (MSB), Mitteilung vom 07.01.2021

[146] W., D. (MdI BB), Gespräch vom 05.11.2020

Abbildungen

Abb. 1: Voraussetzungen der Brandentstehung 3
Abb. 2: Die Begriffe Gefahr und Risiko im Sprachgebrauch 3
Abb. 3: Risikomatrix für Vegetationsbrände 4
Abb. 4: Abgrenzung der Risikodarstellung im Bereich der Vegetationsbrände 5
Abb. 5: Nutzungsspektrum im Kontext des Führungskreislaufs 6
Abb. 6: Betroffenheit europäischer Staaten von Waldbränden (2018 bis 2019) 7
Abb. 7: Struktur und Ausgabe des FWI 9
Abb. 8: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos weltweit mittels EWS 12
Abb. 9: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos europaweit mittels EFFIS 12
Abb. 10: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Deutschland 13
Abb. 11: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Schweden 14
Abb. 12: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Portugal 14
Abb. 13: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Italien 15
Abb. 14: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos mittels RISICO 15
Abb. 15: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Griechenland 16
Abb. 16: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Polen 16
Abb. 17: Darstellung des Vegetationsbrandrisikos in Russland 17

Tabellen

Tab. 1: Nutzung für Maßnahmen in Polen (Auszug) 17

Tab. 2: Nutzung für Maßnahmen in Russland (Auszug) 18

Tab. 3: Prüfung der Darstellungssysteme in Europa hinsichtlich Nutzung 19

Tab. 4: Nutzung für Maßnahmen in Brandenburg (Entwurf) 24

Formeln

3-1 Berechnung des Ångström-Index‘ ([91]) 8

3-2 Berechnung des Nesterov-Index‘ ([138]) 8

3-3 Berechnung des M-68-Index‘ ([54], S. 143) 9

3-4 Brandintensität nach Byram ([16], S. 3) 10

3-5 Berechnung des Bruschek-Index‘ ([54], S. 146) 11

Abkürzungen

AB	abwehrender Brandschutz
AFKzV	Ausschuss für FW-Angelegenheiten, KatS und zivile Verteidigung
BF	Berufsfeuerwehr
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BSE	Brandschutzeinheit
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa (ungefähr, etwa)
CORDIS	Community Research and Development Information Service
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMG	Deutsche Meteorologische Gesellschaft
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
EFFIS	European Forest Fire Information System
EFI	European Forest Institute
EUMETNET	European Meteorological Network
evt.	eventuell
EWS	Global Fire Early Warning System
FFD	Forest Fire Danger Risk
FW	Feuerwehr
FWI	Fire Weather Index
GFMC	Global Fire Monitoring Center
ggf.	gegebenenfalls
GLFI	Graslandfeuerindex
GMLZ	das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern
HBV	Index für das Zündrisiko und die Bodenfeuchtigkeit
IMK	Innenministerkonferenz
i. S. v.	im Sinne von

i. V. m.	in Verbindung mit
IBL	Instytut Badań Leśnictwa
KatS	Katastrophenschutz
KKM	Koordinierungszentrum Krisenmanagement
LWES	Löschwasserentnahmestellen
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz
MSB	schwedische Behörde für Zivilschutz und Bereitschaft
Org.	Organisation
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
räuml.	räumlich(e/r/n)
S.	Seite
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SMHI	Schwedisches Meteorologisches und Hydrologisches Institut
tlw.	teilweise
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
UdSSR	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken
usw.	und so weiter
VB	vorbeugender Brandschutz
WBI	Waldbrandgefahrenindex
z. B.	zum Beispiel
ZAMF	Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
zeitl.	zeitlich(e/r/n)

Anhang

A Aufgabenstellung 23

B Entwurf am Beispiel Brandenburg 24

A Aufgabenstellung

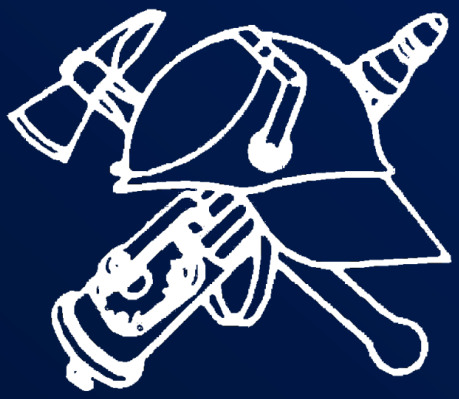
nachstehend teile ich Ihnen das Thema Ihrer Facharbeit mit:

Systeme zur Darstellung der Vegetationsbrandgefahren
Bei der Darstellung von Brandrisiken im Bereich der Vegetationsbrände gibt es unterschiedliche Darstellungssysteme in Deutschland und in Europa. Stellen Sie die verschiedenen vorhandenen Systeme dar und prüfen Sie diese im Hinblick auf eine Nutzung in Bezug auf einsatzvorbereitende, einsatzbegleitende und einsatznachbereitende Maßnahmen.

B Entwurf am Beispiel Brandenburg

Die Warnstufen werden unter Berücksichtigung der Daten des DWD vom MLUK täglich für jeden Landkreis festgelegt. Die Umsetzung dieser Beispiele (hier sehr detailliert) im Waldbranderlass ist denkbar. Viele neue Maßnahmen, bspw. Thematisierung an allgemeinbildenden Schulen (s. u.) sind denkbar. Der Aufwand könnte gut verteilt werden. (Die Vor- und Nachteile der landkreisscharfen Auflösung könnten überprüft werden.)

		Warnstufen, abzuleiten aus WBI und GLFI					
Maßnahmen		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Zuständigkeiten**
präventiv	allgemeine Information	✓	✓	✓	✓	✓	Landrat
	Information in Presse			je Monat	je Woche	je Tag	Landrat
	Information in Schulen					je Woche	Landrat
	Feuerverbote			nur in A1	✓	✓	Minister
	Arbeitsverbote				nur in A1	✓	Minister
	Betretungsverbote					✓	Minister
	Früherkennung	✓	✓	✓	✓	✓	Landesforst
	Bodenpatrouillen				nur in A1	✓	Oberförsterei
	zusätzliche Sperrungen					✓	Besitzer
	zusätzliche Streifen					nur in A1	Polizeiinspektion
einsatzvorbereitend	Bereitschaft KKM				✓	✓	KKM
	Reservierung Helikopter					1	KKM
	Verschärfung AAO				+	++	Leitstelle
	Probealarm BSE				je Saison	je Saison	Landrat
	Voralarm BSE					✓	Landrat
	Mobilisierung Gülletanker					✓	Bürgermeister
	Schulung FW	je Saison	je Saison	je Saison	je Monat	je Monat	Bürgermeister
	Einsatzübung FW				je Saison	je Saison	Bürgermeister
	Sitzbereitschaft FW					nur in A1	Bürgermeister
	Kontrolle LWES	je Jahr	je Jahr	je Saison	je Monat	je Woche	Besitzer
	Kontrolle Waldwege	je Jahr	je Jahr	je Saison	je Monat	je Woche	Besitzer
einsatzbegleitend	Information FB Forst	✓	✓	✓	✓	✓	Leitstelle
	Information KBM				✓	✓	Leitstelle
	Information ELZ Polizei				✓	✓	Leitstelle
	Information KVK Bw					✓	Leitstelle
	Information KKM					✓	Leitstelle
	Information ASBB					✓	Leitstelle
	Warnung Anrainer			✓	✓	✓	politisch Verantw.
	Warnung Bevölkerung				✓	✓	politisch Verantw.
	Ausbreitungsprognose				✓	✓	politisch Verantw.
einsatz-nachber.	Statistik	✓	✓	✓	✓	✓	Landesforst
	Nachbesprechung	✓	✓	✓	✓	✓	Einsatzleiter
	Nachunterstützung				nur in A1	✓	Einsatzleiter

Tab. 4: Nutzung für Maßnahmen in Brandenburg (Entwurf)
(Quelle: eigene Darstellung, inspiriert durch [72] und [144])

Im Kontext der Vegetationsbrände sind Frühwarnsysteme im Sinne von Risikoprognosen ein nützliches Werkzeug zur Ableitung angemessener präventiver Maßnahmen. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die grundlegenden Ansätze zur Ermittlung von Brandrisiken und über das aktuelle Entwicklungsgeschehen in diesem Bereich. Sie stellt die Anwendung dieser Ansätze anhand der Systeme ausgewählter Organisationen und Staaten Europas gegenüber. Dabei werden insbesondere die Darstellung und die Nutzung der Prognosen untersucht. Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass in Deutschland einerseits die bereits vorhandenen Nutzungsmöglichkeiten für einsatzvorbereitende, -begleitende und -nachbereitende Maßnahmen bei weitem nicht ausgeschöpft werden und andererseits die modernen Systeme ein großes Entwicklungspotential im Sinne einer vernetzten Operationsführung bieten.