



Strategische und taktische Techniken Grundlagen für strategische Entscheidungen von Feuerwehrführungskräften zur Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung

Projekt „Erweiterung des ökologischen, waldbaulichen und technischen Wissens zu Waldbränden (ErWiN)“ – Teilvorhaben 3

Ausgabe Februar 2024

Seiten 56



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
Einleitung	5
1. Technologien zur Lagedetektion von Waldbränden.....	8
1.1 Herkömmliche Lagedetektion	8
1.2 Technische Lageerkundung durch Terrestrische Systeme	9
1.3 Aeronautische Systeme	16
1.4 Orbitale Systeme	20
1.5. Zusammenfassung Lagedetektionssysteme	23
1.6 Ableitung von Maßnahmen für Feuerwehrführungskräfte	24
2. Technologien zur Lageerfassung während des Einsatzes	
Waldbrand.....	25
2.1 Luftaufklärung durch Polizeifliegerstaffeln	25
2.2 Motorsegler	26
2.3 Robotik	26
2.4 VOST-Gruppe	28
2.5 Maßnahmen für Feuerwehrführungskräfte	30
3. Orientierung im Wald	31
3.1 Feuerwehrführungskräfte	31
3.2 Zugführerebene	35
3.3 Feuerwehreinsatzkräfte	35
3.4 Fazit	36
4. Praxis vorbereitende Übungen Waldbrand	37
4.1 Länderoffene Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“	37

4.2. Übungsmöglichkeiten für Vegetationsbrandlagen.....	39
4.3 Übungsszenarien Vegetationsbrand in Frankreich	39
4.4 Aus- und Fortbildung von Wald und Holz NRW und den Feuerwehren.....	46
4.5. Maßnahmen.....	46
5. Interorganisationelle Zusammenarbeit	47
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	50
Literaturverzeichnis.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Simulationsanlage zur Waldbrandbekämpfung in Velaux.....	40
Abbildung 2 Durchführung einer Übung	41
Abbildung 3 Notfallübung mit Aktivierung des Eigenschutzes.....	42
Abbildung 4 Arbeitsplatz zur Nutzung bei einer VR-Simulation	42
Abbildung 5 Führungsorganisation bei der Planübung	43
Abbildung 6 Perspektive des Fahrzeugführers im Simulationssystem CRISE	45
Abbildung 7 Nachbau einer Hubschrauberkanzel	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht ausgewählter terrestrischer Systeme	11
Tabelle 2 Übersicht ausgewählter terrestrischer Systeme - Fortsetzung	12
Tabelle 3 Untersuchte Detektionssysteme nach Hsieh, 2023	14

Einleitung

Die Bedeutung von Naturkatastrophen nimmt in Europa immer mehr zu. Nicht nur Hochwasser als Naturkatastrophe, sondern auch Wald- und Vegetationsbrände treten immer häufiger auf. Bedingt durch den Klimawandel, Dürren und durch Landnutzungsänderungen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts steigt die Waldbrandgefahr zunehmend an. Diese Entwicklung ist in ganz Europa zu verzeichnen. Die zerstörerische Kraft von Naturkatastrophen und deren Folgen sind hinlänglich beschrieben, wie z. B. bei Hochrainer (2005). Ein wichtiger Schwerpunkt der Forschung zum Thema Vegetationsbrand sind somit verschiedene Ansätze zur Risikoeinschätzung von Feuergefahr und Methoden für frühe Brandwarnungen. Zusätzlich kommt der Evaluation bisheriger Brandbekämpfungsmethoden sowie Optimierungsvorschläge in der Einsatztaktik und Brandprävention eine hohe Bedeutung zu. So sind neben der Beschreibung verschiedener Fallbeispiele aus den USA, Kanada und Australien auch zahlreiche Studien zu mittel- und südamerikanischen und mediterranen und asiatische Staaten zu finden. Das European Forest Fire Information System (EFFIS) veröffentlicht entsprechende Informationen für Europa (European Forest Fire Information System (EFFIS), 2023). Im Rahmen des Projektes „Erweiterung des ökologischen, waldbaulichen und technischen Wissens zu Waldbränden (ErWiN)“ beschäftigt sich das Institut der Feuerwehr u. a. mit dem Thema Lageerkennung von Waldbränden.

Das Verbundprojekt wird mit dem Thünen Institut, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) gemeinsam bearbeitet. Das Projekt ErWiN bündelt und vernetzt Untersuchungen durch ganzheitliche Perspektiven in Bezug auf Waldbrände. Folgende Inhalte werden in dem Projekt bearbeitet:

- Entwicklung und Anpassung von Methoden zur räumlich expliziten Erfassung von Brandrisiken sowie der Abschätzung der Effizienz von waldbaulichen und anderen Methoden zur Brandrisikoreduktion.
- Entwicklung eines Maßnahmen-Empfehlungskatalogs für die deutschen Feuerwehren

- Untersuchung der Regeneration von Waldbeständen nach Waldbränden unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Standortbedingungen auf Waldbrandflächen, um Empfehlungen hinsichtlich waldbaulicher Strategien zur naturnahen Neubegründung von Beständen abzuleiten.

Das Projekt wird gefördert von dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

In diesem Projekt sollte ein „Maßnahmen-Empfehlungskatalog zur Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung“ entwickelt werden. Dies wurde im Zuge des Antrags des Forschungsprojekts ErWiN - „Erweiterung des ökologischen, waldbaulichen und technischen Wissens zu Waldbränden“ formuliert. Ein Maßnahmenkatalog ist aufgrund der Autonomie von kommunalen Feuerwehren nicht zielführend, da diese eigene Entscheidungen in Bezug auf Anschaffung etc. treffen. Aus diesem Grund wurde der Maßnahmenkatalog umbenannt in „Strategische und taktische Techniken Grundlagen für strategische Entscheidungen von Feuerwehrführungskräften zur Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung und soll den Feuerwehren als Hilfestellung in ihrer Aus- und Weiterbildung im Bereich Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung dienen. Der Begriff Maßnahmen in diesem Grundlagenpapier bezieht sich auf Lagedetektionssysteme und Lageerfassungssysteme, die bei der Waldbrandbekämpfung eingesetzt werden können und Hinweise auf feuerwehrtechnische Maßnahmen und Taktiken geben können. Ebenso werden Konzepte für praxisnahe Übungen vorgestellt sowie für die Zusammenarbeit mit relevanten Akteuren bei einem Waldbrand. Zudem werden Konzepte zur Orientierung im Wald vorgestellt.

Nach Akhloufi et al. (2021) stellen Waldbrände ein erhebliches Naturrisiko dar, welches wirtschaftliche Verluste, den Tod von Menschen und Umweltschäden verursacht. „In den letzten Jahren kam es weltweit zu einem Anstieg der Intensität und Häufigkeit von Bränden. Es wurden Forschungsarbeiten zur Entwicklung spezieller Lösungen für die Hilfe und Bekämpfung von Waldbränden durchgeführt. Zudem wurden Systeme zur Fernerkennung und -verfolgung von Bränden vorgeschlagen“ (Akhloufi et al., 2021, 1).

„Die Vegetation umfasst die Gesamtheit der Pflanzenformationen und Pflanzengesellschaften in einer Region oder in einem Gebiet. In der Vergangenheit wurde oft der Begriff ‚Waldbrand‘ mit ‚Vegetationsbrand‘ gleichgesetzt. Eine Vegetation besteht aber nicht nur aus einem Wald, sondern immer aus einer Symbiose aus verschiedenen Arten von Pflanzen. ‚Vegetationsbrände‘ ist der Sammelbegriff für verschiedene Arten von Bränden in der freien Natur“ (Staatliche

Feuerwehrschoolen Bayern, 2023, 8). Nach dieser Beschreibung stellen Waldbrände eine besondere Form des Vegetationsbrandes dar.

Goldammer (2020) verdeutlicht den bisherigen Sprachgebrauch von Waldbrand ebenfalls und setzt sich für den Begriff Landschaftsbrand ein.

„In Deutschland und auch im internationalen Sprachgebrauch wird der Begriff ‚Waldbrand‘ häufig für alle Brände in verschiedenen Vegetationsformen verwendet – neben Waldbränden auch für Brände in verschiedenen Typen des Offenlands für Naturschutzgebiete, Heiden und Brachland.

Der in Deutschland für letztere Vegetationstypen von den Feuerwehren gelegentlich verwendete und an sich nicht präzise Begriff ‚Flächenbrand‘ – primär landwirtschaftliche Flächen vor Augen habend – wird zunehmend durch ‚Vegetationsbrand‘ ersetzt, der ursprünglich aus der Wissenschaft stammt.

Der seit einigen Jahren vom Freiburger Zentrum international favorisierte Begriff ‚Landschaftsbrand‘ (*landscape fire*) berücksichtigt die Tatsache, dass unkontrollierte Feuer häufig in der Gemengelage verschiedene Landschaftselemente brennen und aus der Natur- und Kulturlandschaft auch auf Industrie- und Wohngebiete übergreifen. Landschaftsbrände überschreiten auch die Grenzen zwischen Ländereigentümern, behördlicher, juristischer und hoheitlicher Zuständigkeiten (Gemeinden, Landkreise, Bundesländer und benachbarter Staaten).

Mit der Verwendung des Begriffs ‚Landschaftsbrand‘ wird verdeutlicht, dass Maßnahmen der Vorbeugung und Bekämpfung raum-, fach- und zuständigkeitsübergreifende Ansätze erfordern und Querschnittsaufgabe darstellen“ (Goldammer, 2020, 1). An dieser Stelle wäre es wünschenswert, sich auf eine einheitliche Begriffsdefinition zu verständigen, damit alle Akteure ein einheitliches Verständnis haben.

In diesem Grundlagenpapier werden drei Bereiche maßgeblich betrachtet:

- Stand der Technik zur Lagedetektion und –erfassung
- Interorganisationale Zusammenarbeit
- Orientierung von Fahrzeugen im Wald.

Die Methoden waren eine Literaturrecherche, Interviews mit Experten, Nachbesprechungen von Einsätzen sowie Austausch über Projekte.

In diesem Maßnahmenkatalog wird eine Übersicht ausgewählter Systeme zur Früherkennung und –verfolgung vorgestellt. Die Ergebnisse orientieren sich zum einen an Literaturrecherchen, zum anderen an Gesprächen mit Fachkräften von z. B. Wald und Holz NRW, Mitgliedern der nationalen Arbeitsgruppe.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass zum einen die nationale Vegetationsbrandstrategie berücksichtigt werden sollte. Zum anderen sollten die Ergebnisse der nationalen Arbeitsgruppe Nationaler Waldbrandschutz abgewartet werden.

Hier ist zum Beispiel zu erwähnen, dass das Thema Ausbildung in der Vegetationsbrandbekämpfung in einer Unterarbeitsgruppe der Arbeitsgruppe Nationaler Waldbrandschutz bearbeitet wird.

Dieser Maßnahmenkatalog im Rahmen des ErWiN Projektes dient einer inhaltlichen Orientierung zu den Themenblöcken.

1. Technologien zur Lagedetektion von Waldbränden

Zur Lagedetektion von Waldbränden werden vorwiegend technische Lösungen verwendet. Neben den Möglichkeiten der Satellitenbeobachtung zur Wettervorhersage werden unter anderem die Nutzung von Satelliten und Luftbeobachtung zur Frühwarnung, Beobachtung von Vegetationsbränden, Schadensbeurteilung im Nachgang und zur Unterstützung im operativ-taktischen Vorgehen untersucht. Von RGB-Echtbildern über Infrarot und Nahinfrarotaufnahmen bis hin zu Radarmessung werden hierbei unterschiedliche Daten genutzt.

Im Bereich der reinen Banddetektion und Beobachtung von Vegetationsbränden gibt es neben der Nutzung von Satelliten auch Ansätze zur Nutzung luftgestützter Systeme.

Zusätzlich gibt es diverse technische Lösungen, die mithilfe von Rauch- oder Gassensoren ein Feuerfrühwarnsystem entwickelt haben, welches zum Beispiel in Brandenburg genutzt wird. Im Folgenden werden zunächst herkömmliche Methoden zur Waldbranddetektion als auch technische Lösungen vorgestellt. Hierbei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, die Aufzählung soll einen Überblick geben.

1.1 Herkömmliche Lagedetektion

Es gibt unterschiedlichste Möglichkeiten, wie ein Brand im Wald entdeckt und gemeldet werden kann. Herkömmliche Methoden sind z. B. Notrufe durch die Öffentlichkeit, welche Waldbrände bei Spaziergängen etc. entdecken. Diese sind jedoch abhängig von der Besiedlungsdichte der Regionen.

Zudem erfolgen Meldungen durch Forstbeamte*innen auf ihrem Rundgang. Die Forstbeamte*innen halten sich häufig in ihrem Waldstück auf und können Brände präziser lokalisieren und beschreiben.

Eine andere herkömmliche Möglichkeit der Waldbranddetektion ist die Luftbeobachtung mit Flugzeugen bzw. Hubschraubern.

Hier kommen so genannte Starrflügler und Drehflügler mit entsprechend geschultem Personal (Pilot, Bordwart, Luftbeobachter usw.) zum Einsatz.

„Der Einsatz von Luftfahrzeugen mit Luftbeobachtern hat den Vorteil, dass neben der Überwachung von relativ großen Gebieten auch eine Flexibilität vorliegt, die es erlaubt, neben der Erkennung von Bränden auch auf andere Situationen eingehen zu können.

Ferner kann ein Luftbeobachter die am Boden tätigen Einsatzkräfte mit gezielten taktischen Informationen führen und somit die Zugriffszeit und in Folge dessen [sic!] das Ausmaß des Brandschadens minimieren“ (Schneider, 2017, 36).

1.2 Technische Lageerkundung durch Terrestrische Systeme

Neben den herkömmlichen Methoden zur Früherkennung von Waldbränden gibt es unterschiedliche modernere Methoden, die von Schneider (2017) in drei Bereiche unterteilt werden: 1. Terrestrisch (erdgebunden), 2. Aeronautisch (luftgestützt) und 3. Orbital (weltraumgestützt).

Schneider (2017) weist auf eine Gruppierung von modernen Systemen zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten nach Sahin und Ince (2009) hin:

- Bilderkennungssysteme
- Thermische Systeme
- Sonstige Systeme

Zusätzlich merkt der Autor an, dass Bilderkennungssysteme noch weiter unterteilt werden können in satellitengestützte und ortsunveränderliche, stationäre Bilderkennungssysteme. Ebenso können thermische Systeme nach der Art des verwendeten Sensors unterschieden werden, ob dieser z. B. statisch, dynamisch oder als Fernerkundungssensor entwickelt wurde.

Beispielhaft nennt er Systeme der Fernerkundung wie das RADAR (Radiowave Detection And Ranging), LIDAR (Light Detection And Ranging) und SODAR (Sound Detection And Ranging) (Schneider, 2017, 50).

Schneider (2017) entscheidet sich dafür, eine einfachere Systematik zu wählen, die Rückschlüsse auf Örtlichkeit bzw. den Standort des Früherkennungssystems zulässt und somit verständlicher ist.

- Bilderkennungssysteme
- Thermische Systeme
- Sonstige Systeme

Dieser Einteilung wird in diesem Maßnahmenkatalog gefolgt.

Die terrestrischen Früherkennungssysteme basieren entweder auf der Verwendung von optisch wirkenden Bilderkennungssystemen oder Sensorik. Allen Bilderkennungssystemen ist gemein, dass sie die Brandkenngroße „Rauch“ zur Detektion des Brandes verwenden.

Nachfolgend werden die terrestrischen Systeme zusammenfassend in Tabelle 1 dargestellt.

TABELLE 1 ÜBERSICHT AUSGEWÄHLTER TERRETRISCHER SYSTEME

Name	System	Ziel	Quelle
IQ FireWatch	- Mehrere hochauflösende Kamera(s) mit guter Graustufenauflösung und eine dreh- und neigbare Plattform zur Befestigung und Bewegung der Kamera(s) - Installation an erhöhter Stelle im zu überwachenden Gebiet (Radius ca. 15 km, Fläche ca. 700 km²) - Auswertung der Aufnahmen und Steuerung durch Auswerter in einer Leitzentrale.	Gewährleistung einer schnellen Rauchererkennung und Brandidentifizierung unabhängig von der vorherrschenden Tages-/Nachtzeit	Q Technologies for Earth and Space GmbH, 2023 Schneider, 2017
Firehawk	- Mehrere Kameras (inkl. Farbkameras) - Geringere Branderkennungs- und Auswertequalität - Radius von 6-8 km ab und arbeitet mit Farbkameras - Geringere Eignung für nächtliche Überwachung	Schnellere und effektiver Branderkennung	Oosthuizen, 2000 Schneider, 2017
Integriertes Waldbrand-Beobachtungssystem (IPNAS):	- Wetterstation, Videokameras, ein GIS (Geoinformations-System), ein Zentralrechner und Übertragungseinrichtungen - Daten der Wetterstation (meteorologische) und des GIS (geographische Kameras)	- Erzeugung eines dynamischen und interaktiven Bildes für den Endanwender - Anzeige der Bilder der Kameras und der Daten der Wetterstation (meteorologische) und des GIS (geographische) in Echtzeit	Stipaničev, Vuko, Štula, Bodrožić, 2006 Schneider, 2017
FireALERT MK	- Erfassung der Infrarotstrahlung durch rotierenden Dual-Band-Infrarot-Sensor mit 360° Überwachung des Gebietes - Eigene Energieversorgung - Entfernung der Detektion 9,6 km	Detektion eines Brandausbruches anhand ausgesandter Infrarotstrahlung	Vigilys, 2015 Schneider, 2017
Radio-Akustisches-Sondierungssystem (RASS):	- Lufttemperaturmessung durch Aussendung, Rückkopplung von künstlich erzeugten Schallwellen mit Doppler-Radar - Temperaturveränderungen durch Änderung der Laufzeiten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Schallwellen	Erkennen Wipfel- und Bodenbrände mithilfe von Schallwellen	Schneider 2017

TABELLE 2 ÜBERSICHT AUSGEWÄHLTER TERRETRISCHER SYSTEME - FORTSETZUNG

Name	System	Ziel	Quelle
Projekt SERAFIM	- Entwicklung einer KI-basierten Software - Schaffung einer präzisen Georeferenzierung mithilfe von Infrarotbildern der OroraTech Satelliten und optischen Bildern der Sentinel-2-Mission	Georeferenzierung für Einsatzkräfte und BOS	Manev,, Temelkovski, Serafimova, Achkoski,, 2020
Light Detection And Ranging (LIDAR):	- Aussendung von Lichtimpulsen - Detektion der Reflektion von Objekten, wie Rauchgasen und Aerosolen - Zusätzliche Ortungstechnik ermöglicht Brandentstehungsort	Frühzeitige Erkennung der Änderungen im atmosphärischen Zustand sowie Brandergebnisse	Utkin, Lavrov, Vilar, 2006 Schneider, 2017

Bewertung der terrestrischen Systeme

Schneider (2017) zieht verschiedene Parameter zur Bewertung der Systeme heran. Er kommt zu dem Schluss, dass die Forderungen nach der Funktionalität nur terrestrische Thermalsensoren und die OSS-Videotechnik alle funktionalen Forderungen erfüllen (Schneider, 2017, 235). Weiter führt er an, dass das Kriterium der „Einsatzbereitschaft rund um die Uhr“ durch CCTV-Videotechnik sowie von MBS nicht erfüllt wird. „Unabhängig von Witterungseinflüssen agieren nur terrestrische Thermalsensoren, die Öffentlichkeit (Public Report) als auch Mobile Biological Sensors. Allerdings sind MBS, verglichen mit anderen Früherkennungsmethoden, nicht temperatur-unabhängig, da MBS bei ungünstigen Temperaturwerten einen Schutzraum aufsuchen und das System somit in Gänze nicht mehr wirkt“ (Schneider, 2017, 235). Schneider (2017) hebt hervor, dass die von ihm vorgestellten Methoden und Systeme zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten hinsichtlich ihrer Wirkungsweise ebenso unterschiedlich sind wie die in verschiedenen Regionen der Welt vorliegenden Bedingungen zum Betrieb entsprechender Systeme (Schneider, 2017, 242).

Zusammenfassend hält er fest, dass für die Anschaffung und Nutzung eines Früherkennungssystems verschiedene Parameter herangezogen werden müssen. „So wie sich die verschiedenen Methoden und Systeme zur Waldbrandfrüherkennung hinsichtlich ihrer technischen Komponenten und Wirkungsweisen erheblich unterscheiden, differiert auch die wirtschaftliche Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Systeme, da es sehr davon abhängt, welche Parameter zur Beurteilung herangezogen werden. (...) Damit ergibt sich der zwingende Schluss, dass die Auswahl und Bewertung eines Frühwarnsystems nur nach betriebs- und finanzwirtschaftlichen Methoden weder zielführend noch sinnvoll ist.

Mit Nachdruck wird darauf hingewiesen, dass hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Systemen übersehene oder nicht sorgfältig bewertete Aspekte zu höheren Kosten, politischen Zerwürfnissen, zu einer falschen Auswahl eines Früherkennungssystems und damit zu einer Gefährdung von wertvollen und überlebenswichtigen Wald- und Vegetationsflächen führen können“ (Schneider, 2017,294).

Zusätzlich wird die Untersuchung von Hsieh (2023) herangezogen, der sechs Detektionssysteme evaluiert hat. Die Bewertung der Systeme in dieser Untersuchung bezogen sich auf Ausrüstung, Systemleistung, Genauigkeit, Systemverfügbarkeit, Effizienz etc.

TABELLE 3 UNTERSUCHTE DETEKTIONSSYSTEME NACH HSIEH, 2023

Anbieter	System	Land
EnviroVision Solutions Inc.	ForestWatch	USA
exci pty ltd	exci	Australien
Fireball Information Technologies, LLC	FIREBALL	USA
IQ Technologies for Earth and Space GmbH	IQ FireWatch	Deutschland
SmokeD Sp. z o.o.	SmokeD	Polen
Working on Fire Latin America Limited Agency in Chile	Firehawk	Chile

Hsieh (2023) stellt unterschiedliche Ergebnisse im Vergleich der sechs untersuchten Detektionssysteme fest. Allgemein kommt Hsieh (2023) zu dem Schluss, dass die Systeme sich weiterentwickelt haben und optimiert wurden. Die Leistung der untersuchten Erkennungssysteme habe sich in den letzten 10 Jahren durch KI bzw. maschinelles Lernen verbessert. Systeme mit eigener Ausrüstung, einschließlich proprietärer Kameras und Sensoren, erzielen eine bessere Leistung als die Verwendung von Bildern vorhandener Kameras. Die Systeme von Firehawk und IQ FireWatch erzielen die beste Leistung der untersuchten Systeme. Das leistungsstärkste System hat eine Erkennungsentfernung zwischen 20 und 30 km und weist damit eine Erkennungserfolgsrate von nahezu 80 % auf. Die verwendete Größe der Testrauchwolken weist eine Größe auf, die bei einem 0,1 Hektar großen Waldbrand entsteht. Diese Größe entspräche der Größe, die eine vierköpfige Erstangriffsmannschaft zum Einsatz entsendet. Der Marten Mountain Lookout-Beobachter weist eine Erkennungsreichweite von 40 km mit 100 % Erkennungserfolg bei den Tests auf. Die Fehlalarme der untersuchten Systeme sind gering und für die Dienststelle beherrschbar. Der Marten Mountain Lookout-Beobachter hat die beste Berichtseffizienz. Unter allen untersuchten Systemen hat Firehawk die beste Effizienz. Bei den übrigen Systemen dauert es fast 10 Minuten oder länger, bis diese Brände melden. IQ FireWatch erzielt die beste Genauigkeit bei der Meldung der Brandlokalisierung. Diese Genauigkeit kann erhöht werden, wenn mehrere Einheiten eines Systems auf verschiedenen Türmen stationiert sind. Im Bereich der Systemverfügbarkeit erreichen IQ FireWatch und Firehawk 100 % (Hsieh, 2023). „Erfolgreiche Systeme nutzen menschliche Bediener, um die Leistung zu verbessern. Der Marten Mountain Lookout-Beobachter erzielt unter den stationären Erkennungssystemen die beste Leistung in Bezug auf Erkennungserfolg, Erkennungsentfernung, Meldeeffizienz und meldet keine Fehlalarme und bekannten Rauch. Die öffentliche Berichterstattung mit 310-FIRE ist innerhalb des Mobilfunkabdeckungsbereichs effektiv. Andere ungeplante Entdeckungsmethoden entdecken Brände im blinden Bereich des Aussichtspunkts.

Die Wirksamkeit der Nachterkennung sei aufgrund der geringen Größe des Datensatzes nicht schlüssig. Zur Bewertung der Nachterkennungsfähigkeit dieser Systeme wäre eine neue Methodik erforderlich (Hsieh, 2023, 24).

Fürstenberg (2012) beschäftigt sich in seinem Literaturreview ebenfalls mit Detektionssystemen. Neben der Arbeit von Schneider verweist er zusätzlich auf andere Autoren. „Für den Bereich Detektion gibt es eine Reihe von Arbeiten, die sowohl terrestrische als auch satelliten- und luftgebundene Systeme untersuchen. Eine Übersicht über die verschiedenen Systeme bietet z. B. die Dissertation von Schneider, in der von erdgebundenen Infrarotmeldern bis Luftschiffen, unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, verschiedene Ansätze betrachtet werden und ein Leistungskatalog für Detektionssysteme erstellt wird (2017). Interessant ist an der Arbeit die dezidierte Empfehlung bestimmter (terrestrischer) Frühwarnsysteme (ebd., S. 294f.). In einer Facharbeit fasst Klein-Dietz ebenfalls verschiedene automatische Detektionssysteme, bodengebunden, luftgebunden und orbital zusammen und gibt einen Ausblick über die Entwicklung und ihr Potential (Klein-Dietz, 2019). Ein rein luftgebundenes System zur Detektion von Bränden wird in der Diplomarbeit von Ngatcha erkundet, wobei der Schwerpunkt hier auf der automatisierten Bilderkennung an Bord der Drohne selbst liegt (2012). Zur Bestimmung von Brandausdehnung und verbrannten Flächen untersucht Weirather die Möglichkeiten der automatisierten Satellitenerfassung (2019). Dabei wird die Möglichkeit der Erfassung durch frei zugängliche Sentinel-2 Daten und automatische Auslösung durch Katastrophenwarnsysteme als erfolgsversprechend eingestuft (ebd. S. 645). Die Erfassung von kleinen Flächenbränden in unzugänglichen Gebieten durch Satelliten wird durch Corti et al. in ihrer Arbeit als maximal begrenzt bewertet (2019)“ (Fürstenberg, 2012, 173).

Goldammer et al. (2008) evaluieren in Bezug auf Waldbrandmanagement verschiedener Gefahrenindizes, Warnsysteme und Modellierungssimulationen zum Brandverhalten für das Land Brandenburg. Die Autoren bewerteten die jeweiligen Methoden und Systeme auf ihre Benutzbarkeit und auf die Integrationsmöglichkeit in ein allgemeines Waldbrandmanagementtool. Genauso wichtig erscheint den Autoren auch die Zusammenarbeitsmöglichkeit zwischen den beteiligten Forschungsgruppen und Disziplinen im Bereich Gefahrenabwehr (Goldammer et al., 2008, 100). Goldammer et al (2008) merken an, dass die Entwicklung des Automatisierten Waldbrand-Früherkennungssystem (AWFS) die Anforderungen an ein schnelles, kostengünstiges und zuverlässiges Früherkennungssystem erfüllt (Goldammer et al., 2008, 13). Das AWFS wird im weiteren Verlauf als FIREWATCH System eingeführt.

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden ausgewählte erdgebundene, so genannte terrestrische Früherkennungssysteme, dargestellt. Es wird das Ziel verfolgt, einen Überblick zu verschaffen, der aus Übersichtsarbeiten hervorgeht. Verschiedene Autoren beschäftigen sich mit dem Thema Lagedetektionssysteme von Waldbränden mit unterschiedlichen Perspektiven. Zudem kann aufgezeigt werden, dass Übersichtsarbeiten über die Evaluation dieser Systeme vorhanden sind, die die Systeme in Bezug auf ihre Effektivität, Wirksamkeit etc. bewerten. Hierbei wird verdeutlicht, dass eine Entscheidung für ein Früherkennungssystem von den regionalen Bedingungen, den bestehenden Systemen, den wirtschaftlichen Parametern und den Anforderungen der Endanwender abhängt. Ist die Einführung eines terrestrischen Systems zur Einführung geplant, sollte ein eigener Kriterienkatalog entwickelt werden, anhand dessen die eigene Bewertung von ausgewählten Systemen erfolgt und hierdurch die Entscheidung für ein System erfolgen kann.

1.3 Aeronautische Systeme

Unter aeronautischen Systemen werden technische Lagedetektionssysteme verstanden, die luftgestützte Techniken anwenden. Laut Schneider (2017) können diese größtenteils eine weitläufigere Fläche eines Gebietes überwachen. Durch die Flexibilität der Systeme können sie schnell in ein Gebiet gebracht werden.

„Während die Detektionstechnik der nachfolgend dargestellten aeronautischen Überwachungssysteme auf der Auswertung der von einem Brand ausgehenden Infrarotstrahlung basiert, unterscheiden sich die dafür zum Einsatz kommenden luftgestützten Systeme und Algorithmen zur Erkennung und Auswertung der Infrarotstrahlung doch erheblich“ (Schneider, 2017, 108). Als Nachteil benennt der Autor die nicht dauerhaft bzw. permanent mögliche Überwachung, da diese früher oder später landen müssen. „Daher ist die Früherkennung von Waldbränden hinsichtlich aeronautisch zum Einsatz kommender Systeme zum einen abhängig von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Luftfahrzeuges (z. B. Nachtflugtauglichkeit, Wetterfähigkeit, Reichweite, Dienstgipfelhöhe etc.) und zum anderen vom Potential der in diesem Luftfahrzeug verwendeten Detektionstechnik und –algorithmen“ (Schneider, 2017, 108).

Beispielhaft werden an dieser Stelle einige aeronautische Systeme vorgestellt.

National Infrared Operations Program (NIOPS)

Laut Frederick (2012) ist das Nationale Infrarot-Einsatzprogramm (NIOPS) mit Sitz im National Interagency Fire Center der Hauptanbieter von operativen Infrarot (IR)-Bildgebungsdiensten für die Waldbrandbekämpfung in den USA. „Das nationale IR-Programm kombiniert fortschrittliche IR-Detektions- und Bildgebungstechnologie mit der ‚Ärmel hochkrempeln‘-Feuerwehrerfahrung. Die Vertrautheit der Programmmitarbeiter mit Waldbränden vermittelt ihnen Wissen darüber, was Feuerwehrleute, Feuerwehrleiter und Vorfalmanagementteams von IR-Daten benötigen“ (Frederick, 2012, 30).

Drei Flugzeuge mit hauptamtlich eingesetzten Piloten und Personal zur Betreuung der Infrarottechnik überfliegen das zu überwachende Waldgebiet. Das Infrarotsystem der Flugzeuge basiert auf einer Infrarotabtastung des Erdbodens mit einem Infrarotscanner. Dabei können sehr große Gebiete in relativ kurzer Zeit kartographiert und auch sehr kleine Brände erkannt werden. Die aufgenommenen Bilder werden an eine Bodenstation übermittelt und dort von Infrarotluftbildauswertern ausgewertet.

Wildfire Airborne Sensor Program (WASP)

Das Rochester Institute for Technology erläutert, dass das Wildfire Airborne Sensor Program (WASP) des RIT ein Prototyp eines Sensorsystems ist, das Waldbrände mit einem Durchmesser von nur 20 cm aus einer Höhe von 10.000 Fuß bzw. drei km identifizieren und lokalisieren kann. „Die angesehenen Forscher Donald McKeown und Michael Richardson am Chester F. Carlson Center for Imaging Science des RIT haben den Prototyp für den Test durch das Forest Service-System als Teil der ersten Phase von WASP gebaut, finanziert mit 1,4 Millionen US-Dollar von der NASA. Der Sensor ist in ein modifiziertes Piper Aztec-Flugzeug eingebaut.

Das Sensorsystem wird es dem Forstdienst ermöglichen, Brände zuverlässig und mit wenigen Fehlalarmen auch bei hellem Sonnenlicht zu erkennen, was normalerweise die Wirksamkeit aktueller Branderkennungssysteme verringert“ (Rochester Institute of Technology, 2003). Bei diesem Programm werden Brände durch ein Luftfahrzeug mit Infrarotkameras und einer räumlich wirkenden Geo-Spezialkamera detektiert und bildlich dargestellt werden. Auch die Ausbreitung von Waldbränden kann hiermit überwacht werden, um Einsatzkräfte strategisch und taktisch zu unterstützen.

Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Schneider (2017) sieht in dem Einsatz von UAVs zusätzlich andere Aspekte, die den Einsatz noch behindern. Die Bauformen und Baugrößen der UAVs weichen erheblich voneinander ab.

Es werde bei UAVs zwischen MAV (Micro Aerial Vehicle) und NAV (Nano Aerial Vehicle) unterschieden. „Diese UAVs können infolge ihrer geringen Größe auch nur geringe Nutzlast aufnehmen. Auch ist die Reichweite und Einsatzzeit infolge meist geringer Energiereserven sehr begrenzt und für eine kontinuierliche Überwachung eines Vegetationsgebietes unzureichend. Allerdings wäre bei weiterer Verbesserung von Reichweite und Energieversorgung sowie Schaffung einer ausreichenden Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen denkbar, in Zukunft diese Mikro- bzw. Kleinst-UAV mit den sonst an MBS (siehe Kapitel 3.3.2.1.7 „Mobile Biological Sensors“) angebrachten Sensoren zur Früherkennung von Waldbränden zu bestücken, wenn diese Kleinst-UAV über ausreichend Traglast und Einsatzdauer verfügen“ (Schneider, 2017, 121 ff).

Akhloufi et al. (2021) bewerten in einem Artikel ebenfalls unbemannte Luftfahrzeuge. Die Autoren stellen fest, dass andere Detektionssysteme ihre Grenzen z. B. in der Größe der Gebiete, die überwacht werden müssten, aufweisen. „Diese Systeme haben Verbesserungen im Bereich der effizienten Datenerfassung und Brandcharakterisierung in kleinen Umgebungen gezeigt. Waldbrände bedecken jedoch große Gebiete, sodass einige der vorgeschlagenen bodengestützten Systeme für eine optimale Abdeckung ungeeignet sind. Um dieser Einschränkung zu begegnen, wurden unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) und unbemannte Flugsysteme (UAS) vorgeschlagen. UAVs haben sich aufgrund ihrer Manövrierfähigkeit als nützlich erwiesen und ermöglichen die Umsetzung von Fernerkundungen, Zuordnungsstrategien und Aufgabenplanung. Sie können eine kostengünstige Alternative zur Prävention, Erkennung und Echtzeitunterstützung der Brandbekämpfung darstellen“ (Akhloufi et al., 2021, 1). In ihrem Artikel berücksichtigten die Autoren Bordsensorinstrumente, Brandwahrnehmungsalgorithmen und Koordinationsstrategien. Darüber hinaus stellen die Autoren einige der jüngsten Rahmenkonzepte vor, die den Einsatz sowohl von Luftfahrzeugen als auch von unbemannten Bodenfahrzeugen (UGV) für eine effizientere Strategie zur Waldbrandbekämpfung in größerem Maßstab vorschlagen.

Die Autoren halten weiterhin fest, dass UAVs eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung von Waldbränden in großen Gebieten spielen können.

Allerdings würden weiterhin einige Einschränkungen wie Autonomie, Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz bestehen bleiben. Weitere Forschung ist erforderlich, um diese Einschränkungen zu überwinden. Hierfür sowie in dem Aspekt der Sicherheit sind weitere Untersuchungen notwendig. Risiken bei UAVs bestünden dann, wenn diese über Feuerwehrleute hinwegfliegen oder in der Nähe von Flugzeugen fliegen, die Wasser und Feuerschutzmittel transportieren. Akhloufi et al. (2021) sehen jedoch im Verhältnis erhebliche Vorteile von UAVs in der Waldbrandbekämpfung.

Die Autoren diskutierten des Weiteren Rahmenwerke, in denen kooperative autonome Systeme vorgeschlagen werden. In diesen tragen sowohl Luft- als auch Bodenfahrzeuge zur Brandbekämpfung in der Wildnis bei. Auch wenn die untersuchten Rahmenwerke größtenteils auf eine Theorie und auf Simulationen begrenzt seien, halten die Autoren diese für interessante Ideen, die für ein umfassenderes System zur Brandbekämpfung in Naturgebieten eingesetzt werden könnten. „Zukünftige Forschungen in diesen Bereichen können neue Ansätze für die Weiterentwicklung autonomer Betriebssysteme ohne oder mit geringem menschlichen Eingriff liefern“ (Akhloufi, 2021, 20).

Luftschiffe

Hierbei muss zwischen Prall- und Starrluftschiffen unterschieden werden. Prallluftschiffe werden mit einem Traggas gefüllt, Starrluftschiffe besitzen ein Aluminiumgerippe, welches mit einer Außenhaut umspannt ist. Daneben gibt es auch sogenannte Hybrid-Luftschiffe, welche ebenfalls mit einem Traggas gefüllt sind, für den Auftrieb aber zusätzlich noch entsprechende Tragflächen besitzen. Neben einer militärischen Anwendung mit Infrarot und Überwachungstechnik, könnten diese Luftschiffe ebenfalls zur Brandfrüherkennung eingesetzt werden. „Während die Entwicklung und Verwendung des Hybrid-Luftschiffs von Northrop Grumman klar auf militärische Ziele und überdies für unbemannte Einsätze ausgelegt wird, ist das Hybrid Air Vehicle vom Typ P-791 des U.S. Unternehmens Lockheed Martin auch für die zivile Anwendung, beispielsweise im Transportwesen für Großfrachten oder im Katastrophenschutz, vorgesehen“ (Schneider, 2017, 132). Belozarov et al. (2020) analysieren den Einsatz von Luftschiffen zur Lagedetektion von Vegetationsbränden. „Basierend auf den Ergebnissen der Analyse wurde eine systemische Synthese eines Hybridflugzeugs durchgeführt, um die Lösung dieser Probleme zu integrieren, nämlich das Luftschiff.“

Es zeigt sich, dass Luftschiffe mobile, zuverlässige und autonome Transportmittel mit hoher Tragfähigkeit und Gewichtsrückgabe, Vielseitigkeit im Einsatz und niedrigen Gesamtkosten sind: 10-mal niedriger als die Herstellung eines Hubschraubers und 100-mal niedriger als seine Betriebskosten.

Gleichzeitig ermöglichen Luftschiffe im Gegensatz zu UAVs den Einsatz der nanotechnologischen (Membran, thermomagnetischen) Trennung atmosphärischer Gase als ‚endlose Quelle von Feuerlöschzusammensetzungen‘, um Entzündungen und Landschaftsbrände zu unterdrücken und alle UAV-Aufgaben zu lösen, einschließlich Innovationen von Agrartechnologien“ (Belozarov, 2020, 1).

Die aufgeführten Autoren stellen somit fest, dass UAVs Potential haben, jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig sind, um UAVs effektiv nutzen zu können.

1.4 Orbitale Systeme

Unter orbitalen Systemen in der Waldbrandfrüherkennung versteht man die Nutzung von Satellitendaten. Schneider (2017) benennt als satellitengestützte Überwachungssysteme beispielsweise das Canadian Fire Monitoring, Mapping and Modeling System (FIRE M3) oder das europäische FUEGO- Programm.

„Allerdings ist der Einsatz von Satelliten derzeit nicht ausreichend erfolgversprechend, da die Bildauflösungsrate, zumindest einiger der zivil genutzten Satelliten, für eine sichere Erkennung von Bränden in der frühen Entstehungsphase noch nicht ausreicht“ (Schneider, 2017,136). Aus der Sicht von Schneider ist zum Zeitpunkt der Publikation nur das System BIRD für eine Waldbrandfrüherkennung geeignet.

Barmoutis et al. (2020) zeigen jedoch schon drei Jahre später auf, dass die Nutzung von orbitalen Systemen sich verbessert hat. „Vor allem aufgrund der großen Anzahl gestarteter Satelliten und der damit verbundenen Kostensenkung gibt es in jüngster Zeit zahlreiche Forschungsanstrengungen, um Waldbrände anhand von Satellitenbildern zu erkennen. Konkret wurde eine Reihe von Satelliten für die Erdbeobachtung (EO, z. B. Umweltüberwachung oder Meteorologie) entwickelt.

Abhängig von ihrer Umlaufbahn können Satelliten grob in verschiedene Kategorien eingeteilt werden, von denen jede ihre Vor- und Nachteile hat.

Zu den wichtigsten Kategorien gehören: (a) die geostationäre Umlaufbahn (GEO), bei dem es sich um eine kreisförmige Umlaufbahn mit einer Höhe von 35.786 Kilometern und einer Neigung von Null handelt, so dass sich der Satellit überhaupt nicht relativ zum Boden bewegt und eine konstante Sicht auf denselben Oberflächenbereich bietet, (b) die niedrige Erdumlaufbahn (LEO), die [sic!] eine Höhe von 2000 km oder weniger hat, die geringste Energiemenge für die Satellitenplatzierung benötigt und eine hohe Bandbreite und geringe Kommunikationslatenz bietet, (c) die polare sonnensynchrone Umlaufbahn (SSO), die nahezu eine polare Umlaufbahn ist, die den Äquator bei jedem Durchgang zur gleichen Ortszeit passiert. Die meisten EO-Satelliten befinden sich auf bestimmten erdpolaren SSO-Umlaufbahnen, deren Höhe und Neigung genau berechnet sind, sodass der Satellit immer die gleiche Szene mit dem gleichen Beleuchtungswinkel von der Sonne beobachtet, sodass die Schatten bei jedem Vorbeiflug gleich erscheinen“ (Barnpoutis et al., 2020, 7).

Somit kann davon ausgegangen werden, dass orbitale Systeme ebenfalls in der Walbranderkennung einen Nutzen insbesondere bei großflächigen Gebieten haben und zukünftig eine Rolle spielen werden. An dieser Stelle werden ausgewählte orbitale Systeme vorgestellt.

Bispectral Infrared Detection (BIRD)

Schneider (2017) beschreibt den vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelten Satellit BIRD. BIRD (Bispectral Infrared Detection) wurde dafür entwickelt, Brände in der Vegetation, vulkanische Aktivitäten und Brandverläufe, die in der Industrie vorkommen könnten, wie z. B. brennende Gasfelder, Öl, Kohleflöze, zu identifizieren und zu erforschen. „Hierdurch erhofft man sich nicht zuletzt auch wertvolle Erkenntnisse für die weltweit zunehmende Forschung im Bereich der Feuerökologie.

BIRD ist in das Erdbeobachtungsprogramm der ESA (European Space Agency) eingebunden. Im Januar 2002 wurde der Satellit erstmalig operativ während der Wald- und Vegetationsbrände in Australien eingesetzt. Die unterschiedlichen Temperaturen der Brände konnten dabei bis auf ein Grad Celsius genau gemessen werden. Die in BIRD verwendeten Sensoren sind dabei so empfindlich, dass Brände, die nur wenige Meter groß sind, von der orbitalen Umlaufbahn aus geortet werden können“ (Schneider, 2017, 142).

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

MODIS ist ein Messgerät zur Erforschung elektromagnetischer Strahlung der Erde, welches auf den Satelliten Terra und Aqua verbaut ist. Es wurde speziell für die Erkennung des Lichtwellenspektrums, welches von Brandereignissen ausgeht, entwickelt.

Yao et al. (2022) stellen jedoch fest, dass das System MODIS einen Nachteil aufweist. „Die Studie von Resco de Dios et al. basierte auf der von MODIS abgeleiteten jährlichen verbrannten Fläche, die sich von unserem bodenwahren WFAC-Datensatz zum Auftreten von Bränden unterscheidet.

Das MODIS kann die Waldbrände nicht ausreichend von den häufigen Erntebränden unterscheiden und hält die Erntebrände daher weitgehend fälschlicherweise für Waldbrände, insbesondere in den nördlichen Ebenen, wo Wälder selten sind. Hier zeigen wir, dass die EOF-Analysen des WFAC auch das Dipolfeuernmuster zwischen Südwest- und Südostchina aufdecken können. Wir heben hervor, dass das Dipolfeuernmuster und die ENSO-Modulation großräumig sind“ (Yao, 2022, 1).

Cloud-basierter Copernicus-Dienst zum Monitoring und zur Bekämpfung von Wald- und Flächenbränden an Verkehrsinfrastrukturen (CCFireSense)

CCFireSense ist ein gefördertes Projekt, welches unter der Federführung des Institutes der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen bis 2022 einen Prototyp zum Monitoring und zur Bekämpfung von Wald- und Flächenbränden entwickelte. „Das CCFireSense liegt derzeit als Prototyp vor und ist in der Lage mit Hilfe der Sentinel-2 Aufnahmen, hier werden Normalised Difference Vegetation Index und Moisture Stress Level genutzt, DWD-Wetterdaten und CDI/ COP4ALL Landbedeckungs- und Infrastrukturdaten, eine Prognose zu erstellen. Diese kann räumlich bei 10m x 10m Auflösung zwei verschiedenen Gefahrenskalen darstellen: die fünfteilige Skala, die von den Waldbrand- und Graslandfeuer-Indizes (WBI und GLFI) genutzt wird, und eine deutlich stärker ausdifferenzierte Skala, die auf ermittelte Gefahrenkennziffern beruht. Erste Tests 2022 zeigen eine gewisse Verlässlichkeit der Daten im Vergleich mit den Gefahrendarstellungen von WBI und GLFI. Aufgrund der höheren räumlichen Auflösung lässt sich aber ein bedeutend genaueres Lagebild darstellen. Durch die intensiven Tests wurde auch eine Grundlage für einen prototypischen Produktivbetrieb geschaffen. Zurzeit ist das System auf das Bundesland Nordrhein-Westfalen beschränkt, eine Erweiterung auf andere Bundesländer ist aber denkbar.

Der Mehrwert des Systems liegt aber nicht nur in der hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung der Fernerkundungsdaten, sondern es stellt auch ein qualitativ höherwertiges Lagebild dar. Die Informationen zum aktuellen Vegetationszustand vor Ort ermöglichen deutlich aussagekräftigere Vorhersagen und erlauben auch Ausbreitungsszenarien im Brandfall selbst“ (Rode, Fürstenberg, 2023, 4).

Die weitere Entwicklung muss abgewartet werden. Zusätzliche Tests müssten vorgenommen werden, um die Aussagekraft des Systems nachhaltig beurteilen zu können.

1.5. Zusammenfassung Lagedetektionssysteme

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die hier dargestellten Systeme sowohl unterschiedliche Techniken, unterschiedliche Qualitäten (Reichweite, Effektivität etc.) sowie Vor- und Nachteile aufweisen.

Verschiedene Autoren beschäftigen sich mit dem Thema terrestrische Lagedetektionssysteme von Waldbränden mit unterschiedlichen Perspektiven. Zudem kann aufgezeigt werden, dass Übersichtsarbeiten über die Evaluation dieser Systeme vorhanden sind, die die Systeme in Bezug auf ihre Effektivität, Wirksamkeit etc. bewerten. Hierbei wird verdeutlicht, dass eine Entscheidung für ein Früherkennungssystem von den regionalen Bedingungen, den bestehenden Systemen, den wirtschaftlichen Parametern und den Anforderungen der Endanwender abhängt.

Barmpoutis et al. (2020) haben verschiedene Systeme zur Früherkennung von Bränden und Rauch mittels Literaturübersicht analysiert. Sie untersuchten terrestrische Systeme, unbemannte Luftfahrzeuge und satellitengestützte Systeme. „Im Allgemeinen sind terrestrische Systeme in Bezug auf Genauigkeit und Reaktionszeit bei Waldbrandvorfällen tendenziell effizienter. Darüber hinaus bieten diese Systeme abhängig von der Kameraauflösung und dem Betrachtungswinkel/-abstand eine hohe räumliche Auflösung; Allerdings [sic!] ist ihre Abdeckung im Vergleich zu den beiden anderen Lösungen begrenzt, da die Kameras an festen Positionen platziert sind und zusätzliche Einschränkungen gelten können (z. B. Verdeckungen).

Andererseits haben luftgestützte Systeme aufgrund der rasanten Entwicklung der UAV-Technologie in letzter Zeit große Aufmerksamkeit erlangt. Solche Systeme ermöglichen eine breitere und genauere Wahrnehmung des Brandes, selbst in Regionen, die für die Feuerwehrleute unzugänglich sind oder als zu gefährlich gelten.

Darüber hinaus können UAVs größere Gebiete abdecken und sind flexibel, da sie je nach Bedarf verschiedene Bereiche überwachen können.

Jüngste technologische Errungenschaften haben zu besseren Kameraauflösungen geführt, die eine hohe räumliche Auflösung, ein größeres Sichtfeld und eine bessere Batterieautonomie bieten. Die neuesten UAVs sind sowohl mit sichtbaren als auch mit Infrarotkameras ausgestattet, was die Erkennungsgenauigkeit verbessert und einen Nachtbetrieb ermöglicht; Sie [sic!] werden jedoch von den Wetterbedingungen beeinflusst und in vielen Fällen ist ihre Flugzeit begrenzt“ (Barmpoutis et al., 2020,11).

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, dass eine zielgerichtete Auswahl eines Systems immer anhand des Einsatzgebietes, der Zielsetzung, der Erwartungen, der Ressourcen (personell und finanziell) sowie der Kompatibilität des Systems mit der der Einsatzorganisation getroffen werden sollte.

1.6 Ableitung von Maßnahmen für Feuerwehrführungskräfte

Die Vielzahl der Lagedetektionssysteme sowie deren unterschiedliche Leistungsfähigkeit bzw. Grenzen lässt keine Empfehlung für ein System zu. Zudem ist festzuhalten, dass es in der Regel nicht Führungskräfte der Feuerwehren sind, die eine originäre Zuständigkeit im Bereich der Detektion haben. Grundsätzlich lassen sich folgende Maßnahmen für die Erwägung zur Anschaffung eines Detektionssystems ableiten:

- Verschaffen eines Überblicks über die unterschiedlichen Lagedetektionssysteme
- Klärung des Finanzrahmens
- Festlegung des Einsatzgebietes (Kommune, Kreis, Land)
- Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Auswahl eines Systems mit folgenden Kriterien, die individuell ausgewählt werden sollten:
 - Finanzrahmen, der zur Verfügung steht
 - Anschaffungs- und Betriebskosten
 - Reichweite im Abgleich mit der Größe des zu überwachenden Gebietes
 - Sensibilität des Systems
 - Handhabbarkeit des Systems
 - Zuverlässigkeit des Systems
 - Effektivität
 - Fehlertoleranz
 - Berücksichtigung der Topographie und der Anwendbarkeit des Systems

- Voraussetzungen für den laufenden Betrieb (Personal, bauliche Bedingungen, Wartung, laufende Kosten etc.)
- Schulungsintensität
- Erfahrungsberichte
- Akzeptanz des Systems
- Entscheidung über eine Anschaffung
- Evaluation nach der Anschaffung

Die hier empfohlenen Maßnahmen verdeutlichen, dass die Entscheidung für eine potentielle Anschaffung eines Lagedetektionssystems von sehr vielen Faktoren abhängt.

2. Technologien zur Lageerfassung während des Einsatzes Waldbrand

Die Lageerfassung und die Ableitung der taktischen Entscheidungen in der Wald- bzw. Vegetationsbrandbekämpfung ist für Feuerwehrführungskräfte substantiell. Hier stehen neben den Aufgaben der Feuerwehr (retten, löschen, bergen und schützen) ebenso die Sicherheit der Einsatzkräfte, die Effektivität der Taktik und Maßnahmen im Vordergrund. Lageerfassungssysteme können Feuerwehrführungskräfte hierin unterstützen. Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Systeme zur Lageerfassung während eines Einsatzes bei einem Waldbrand vorgestellt.

2.1 Luftaufklärung durch Polizeifliegerstaffeln

Seit 2020 wirkt die Polizeifliegerstaffel in Nordrhein-Westfalen, Hessen sowohl in der Luftaufklärung als auch beim Löschen von Waldbänden mit (Landesregierung Nordrhein-Westfalen, 2020; Weinheimer Nachrichten Odenwälder Zeitung, 2023). Somit fällt die Luftaufklärung der Polizeifliegerstaffel in den Bereich der Detektion, der Lagererfassung sowie der Brandbekämpfung.

Diese können mithilfe ihrer Hubschrauber sowohl Luftaufklärung durch ihre Wärmebildkameras betreiben als auch Löschwasser mithilfe sogenannter Bambi Buckets aus der Luft abwerfen. Die Bundespolizei zählt auch den Einsatz zu Löscharbeiten zu ihren Aufgaben (Bundespolizei 1999 – 2023). Die Zusammenarbeit mit der Polizei in Bezug auf Luftaufklärung bei einem Waldbrand unterliegt den jeweiligen Landeskonzepten bzw. dem Konzept der Bundespolizei.

Im Lernkompass des Institutes der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen sind Empfehlungen für den Einsatz von Luftfahrzeugen der Landespolizei NRW bei der Vegetationsbrandüberwachung und -bekämpfung von dem Landesbetrieb Wald

und Holz Nordrhein-Westfalen (Wald und Holz NRW), der Polizei Nordrhein-Westfalen sowie dem Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen hinterlegt.

2.2 Motorsegler

Motorsegler werden unter anderem in einem Projekt genutzt, welches mit der TH Wildau beforscht wird. Hier handelt es sich um eine Kombination aus Drohne mit 5G Verteiler und einem unbemannten Motorsegler, welcher autonom in einem festgelegten Bereich fliegt und bis zu 8 Stunden in der Luft direkte Livebilder in die Einsatzleitung liefern kann. Das Forschungsprojekt ALADIN (Advanced Low Altitude Data Information System) soll Einsatzkräften im Katastrophenfall ermöglichen, „mithilfe eines dynamisch errichteten und satellitenunterstützten 5G-Campusnetzes ein vollständiges Echtzeitlagebild zu erstellen“ (TH Wildau, 2022). Die Ergebnisse des Projektes müssen abgewartet werden, um zuverlässige Aussagen über deren Effektivität und Nutzbarkeit treffen zu können.

2.3 Robotik

Robotik umfasst technische Lösungen wie Drohnen als auch ferngeführte Einsatzfahrzeuge für unterschiedliche Aufgaben für z. B. Lösch- und Aufklärungsaufgaben in der Brandbekämpfung. Die Fachhochschule Dortmund beteiligt sich an dem Projekt Deutsches Rettungsrobotik Zentrum. „Der Rettungsroboter der Zukunft soll unter anderem in der Lage sein, auf vorgegebenen Pfaden zu patrouillieren, um Feuer oder Rauch zu detektieren und gegebenenfalls auch aufkommende Brandherde sofort zu löschen. Ziel ist ein lernfähiges System, das mit Hilfe einer Raumkarte im Indoor-Bereich autonom navigieren und agieren kann“ (Fachhochschule Dortmund, 2018, 1).

Feuerwehren nutzen derzeit Drohnen als Unterstützungstechnik für ihre Arbeit. Der Verein BOS-Drohneneinheit e. V. gibt auf seiner Homepage an, dass 470 Einheiten mit insgesamt 678 Drohnen in ihrem Register gelistet sind (BOS-Drohneneinheit e. V., 2023). Davon sind 61 % der Einheiten bei den Feuerwehren angesiedelt.

Die derzeitige Empfehlung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2019) empfiehlt als Einsatzbereiche von Drohnen unter anderem die Suche bzw. Ortung von Menschen und Tieren.

„Drohnen können durch ihre unterschiedliche Bauart und Größe verschiedenste Aufgaben übernehmen und in sehr unterschiedlichen Einsatz- und Krisenlagen eingesetzt werden. Die Fluggeräte können

z. B.:

- mit Sensoren ausgerüstet werden,
- Lasten tragen oder
- als Kommunikationsmittel dienen.

Die Einsatzbereiche sind vielfältig und deshalb nicht abschließend aufzuzählen. Gängige Einsatzmöglichkeiten sind die Unterstützung unter anderem bei der:

- Lagefeststellung,
- Lagedarstellung und Dokumentation,
- Detektion von (versteckten) Wärmequellen/Glutnestern,
- Suche/Ortung von Menschen/Tieren oder
- Detektion von Gefahrstoffen und Strahlenquellen.

Für welchen Einsatzbereich das Gerät in Frage kommt, legt die jeweilige Organisation anhand der spezifischen technischen Fähigkeiten der vorhandenen Drohnen fest“ (BBK, 2019, 7).

Der Deutsche Feuerwehr Verband (2022) merkt in seiner Empfehlung „Luftfahrzeugeinsatz/Aerial Firefighting Air Operations für und durch die Feuerwehr“ folgende Aspekte in Bezug auf einen Drohnen im Einsatz für den Vegetationsbrand an:

„Drohnen sind derzeit im direkten, zeitgleichen Einsatzbereich bei Flugbetrieb anderer Luftfahrzeuge auch für die Feuerwehr (oder andere) nicht zulässig! Drohnen können durch den EAL Luft eingesetzt werden, um zum Beispiel einen Löscheinsatz zu kontrollieren oder Luftbilder zu fertigen, wenn die Luftfahrzeuge zum Beispiel einen Tankstopp einlegen müssen“ (Deutscher Feuerwehrverband, 2022, 6).

In einigen Projekten wird die Drohne als Einsatzmittel erforscht und in verschiedenen Größen eingesetzt. Unter anderem bei Trümmersuche im Projekt CURSOR und in Kombination mit Rettungsrobotern im Projekt ALADIN oder dem schon marktreifen System von Alpha Robotics.

In dem interdisziplinären Projekt Evolonica werden Langstrecken-Drohnen zur autonomen Überwachung von Waldgebieten erprobt, welches 2023 begonnen hat (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2023). Neben der Früherkennung kann die Drohne bei Bedarf im Einsatzgebiet eingesetzt werden und die Einsatzkräfte vor Ort mit Echtzeitdaten zum Brandgeschehen unterstützen (Evolonica, 2023). Die Ergebnisse müssen abgewartet werden, um Aussage über die Effektivität etc. vornehmen zu können.

Nikitin et al. (2018) halten Roboter-Feuerlöschfahrzeugkomplexe für die vielversprechendsten und sichersten Mittel zur Brandbekämpfung eines Waldbrandes, die aber auch zur Aufklärung und Erkundung genutzt werden können. Es wird ein Multiagenten-Roboterfahrzeugkomplex zur Waldbrandbekämpfung mittels Brandschutz-Rollschirmen entwickelt. Die Autoren nehmen an, dass die Leistung des Roboterfahrzeugkomplexes zur Waldbrandbekämpfung der einer Brigade von 40 bis 60 Feuerwehrleuten entsprechen könnte (Nikitin et al., 2019, 1).

Diese Roboter sind ferngeführte Einsatzfahrzeuge, welche z. B. speziell für risikoreiche Lösch-, Aufklärungs-, Bergungs- und Sicherungsaufgaben entwickelt wurden. „Die Einsatzmöglichkeiten sind vielseitig, da er die menschliche Interaktion auf ein Minimum reduziert und so nachhaltigen Schutz für die Einsatzkräfte bietet“ (Magirus, 2023). Die Einsatzmöglichkeiten sind unter anderem:

- „Löscheinsätze in schwerem Gelände, z.B. bei Vegetations- oder Waldbränden
- Löscheinsätze in Industriekomplexen oder in Gebäuden
- Unterstützung im Löscheinsatz durch Wärmebilderfassung
- Unterstützung im Löscheinsatz bei der Erkundung des Angriffstrupps
- Gefahrstofferkennung und -handling mittels RAMAN-Spektrometer und/oder Fernmanipulator
- Teilautonomes Befahren von Löschstrecken“ (Magirus, 2023).

Die im Rahmen dieses Grundlagenpapiers durchgeführte Recherche zeigt, dass bislang Studien im Zusammenhang mit Robotern in der Lageerfassung von Waldbränden maßgeblich auf Drohnen bezogen sind, jedoch der Einsatz von bodengebundenen und /oder ferngeführten Einsatzfahrzeugen noch sehr gering ist. Hier müssen weitere Studien Aussage über die Effektivität und Nutzbarkeit anschließen.

2.4 VOST-Gruppe

Fathi und Hugenbusch (2020) beschreiben die sogenannte Virtuell Operations Support Team (VOST-Gruppe), welche zur digitalen Einsatzunterstützung genutzt werden kann. „Die Herausforderung einer gewinnbringenden Verwendung dieser Informationsquellen im Bevölkerungsschutz besteht sowohl darin, die Menge der öffentlich verfügbaren Daten, als auch die Vielfalt der Kommunikationskanäle zu filtern und die gewonnenen Daten aufzubereiten. Die Idee des

Virtual Operations Support Teams setzt genau an dieser Stelle an: Um im Einsatz lagerelevante Informationen zu erfassen, analysieren die digitalen Helfer*innen die soziale Medien und anderen Datenquellen. Die Informationen aus diesen Quellen werden in Form von Lageberichten und Lagekarten zusammengefasst“ (Fathi, Hugenbusch, 2020).

Lülf und Fathi (2023) beschreiben die Hauptaufgaben des VOST in der Informationsgewinnung, -verarbeitung und -darstellung von Daten aus Quellen, die öffentlich zugänglich sind. Dies können zum Beispiel soziale Medien sein. Diese werden zur digitalen Lageerkundung genutzt. Hierzu werden digitale Einsatzkräfte eingesetzt, die Erfahrungen in der Auswertung von Daten, Social-Media-Monitoring und deren Analyse, Geoinformationssystemen, Krisenkommunikation, Open-Source-Intellegence etc. besitzen. Mit diesen Informationen unterstützen die Einsatzkräfte vornehmlich die digitale Lageerkundung sowie die lokale Lagekartierung.

Zusätzlich ist eine Hauptaufgabe die Unterstützung des Stabes als Berater/in, die das VOST mit dem Stab verbindet und Aufgabenschwerpunkte entwickelt sowie die lagerelevanten Informationen anwendergerecht für den Stab aufbereitet (Lülf, Fathi, 2023, 229 ff). „Die Lagebilder von Stäben enthalten immer schon materielle und technische Ressourcen für Einsatzlagen als Teil des Lagebilds, z. B. Unterbringungsmöglichkeiten bei Evakuierungen. Die eigenen Kräfte als zentrale Ressource der Einsatzbewältigung sind Bestandteil des Lagebilds. Hier sind eigene Kräfte der jeweiligen Gebietskörperschaft bzw. Einsatzorganisation sowie Unterstützungskräfte wie beispielsweise die VOST (z. B. in Martini et al. 2015) gemeint“ (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2023, 108).

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2023) beschreibt die Einbindung des VOST in die Stabsarbeit als Entlastung und sinnvolle Ergänzung.

„Viele der in einer Lage benötigten Informationen, durch die sich betroffene Bevölkerung in einer Lage bezüglich Verhalten, Reaktionen und Stimmungen beschreiben lässt, ergeben sich durch Aggregation, Analyse und Interpretation anderer Daten. Teilweise können diese bereits vor einer Lage gesammelt und bereitgestellt werden (soziodemografische Daten, geobasierte Daten). Teilweise müssen diese erst in der akuten Lage erhoben und ausgewertet werden. Mit diesen Tätigkeiten wären die meisten Stäbe angesichts der Ausstattung des Bereichs „Lage“ aktuell jedoch überfordert.

Unterstützung leisten für den Bereich der Analyse sozialer Medien zumeist ehrenamtliche VOST-Teams, die den aktiven Stab online oder vor Ort unterstützen (s. o.). Informationen solcher Unterstützungsdienste müssen vom aktiven Stab allerdings in das Gesamtlagebild integriert und bewertet werden“ (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2023, 123).

Die Nutzung von Daten der VOST-Gruppen von Sozialen Medien könnten somit genutzt werden, bei einem Waldbrand neue Erkenntnisse zu Glutnestern oder weiteren Feuerausbreitungen bei Waldbränden zu gewinnen.

VOST-Gruppen gibt es bei einigen BOS, zum Beispiel dem Technischen Hilfswerk oder auch Städten wie Mülheim an der Ruhr.

Das Ministerium des Inneren des Landes Nordrhein-Westfalen (2022) empfiehlt die aktive Nutzung des VOST. „In Funktionsbereichen Lage sowie Bevölkerungsinformation und Medienarbeit (BuMA) sollten die Möglichkeiten des Einsatzes von „Virtual Operation Support Teams (VOST) bekannt sein und zur Informationsgewinnung genutzt werden“ (Ministerium des Inneren des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022, 20). Inwieweit dieses effektiv für die Waldbranderkennung bzw. Lageerfassung nutzbar gemacht werden kann, müsste durch weiterführende Auswertung von Einsätzen bestätigt werden.

2.5 Maßnahmen für Feuerwehrführungskräfte

Die hier dargestellten Lageerfassungssysteme, speziell im Hinblick auf technische und organisatorische Neuerungen im Bereich der Vegetationsbrände, schließen einander nicht aus. Drohnen werden schon in der Feuerwehr eingesetzt. Die Empfehlung für Feuerwehrführungskräfte können wie folgt zusammengefasst werden:

- Überblick verschaffen, welche Lageerfassungssysteme in dem Wirkungskreis zur Verfügung stehen.
- Regelmäßiger Kontakt mit z. B. der Fliegerstaffel der Polizei.
- Nutzung von VOST (wenn vorhanden).
- Zur Unterstützung der Lagefeststellung aus der Luft muss immer die Schnittstelle zu Löschmaßnahmen aus der Luft geklärt sein.
- Eine intensive Abstimmung ist erforderlich.
- Es sollte beachtet werden, dass üblicherweise ein Einsatz eines Löschflugzeugs/-Hubschraubers dem Einsatz einer luftgestützten Erkundung entgegensteht.
- Ggf. Robotik ausprobieren.

3. Orientierung im Wald

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, sich im Wald bzw. Gelände zu orientieren. Jedoch ist die Orientierung erschwert, da z. T. keine Bezugspunkte durch zu hohe und zu dichte Baumkronen erkennbar sind. Eine Peilung ist zum Teil nicht möglich. Es gibt keine Namen von Waldwegen oder Landmarken. In diesem Kapitel werden unterschiedliche Möglichkeiten für Feuerwehren vorgestellt, die sinnvoll erscheinen. Diese orientieren sich an den unterschiedlichen Führungsebenen. In diesen werden die Maßnahmen direkt zugeordnet.

3.1 Feuerwehrführungskräfte

Karten und GPS-Daten dienen der grundlegenden Orientierung in einem Gelände. Nach landesrechtlichen Zuständigkeiten werden topographische Karten zur Verfügung gestellt. Für die Feuerwehren stehen z. B. Waldbrandeinsatzkarten, der digitale Waldbrandatlas oder Waldinfo.NRW zur Verfügung. Zudem wird ein Modell vorgestellt, welches LIDAR-Daten nutzt, um die Mobilität von Feuerwehren bei einem Waldbrand zu verbessern.

Waldbrandeinsatzkarten

In Bayern gibt es Waldbrandeinsatzkarten. „Die notwendigen waldbrandspezifischen Karteninformationen für die Waldbrandeinsatzkarten werden von den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Forstbetrieben der Bayerische Staatsforsten – ggf. mit Unterstützung der Führung der örtlich zuständigen Feuerwehren – erhoben und an die Regierungen weitergegeben. Durch gegenseitigen Austausch von Informationen und Karten der Integrierten Leitstellen bzw. erstalarmierenden Stellen im Brand- und Katastrophenschutz, Feuerwehren, unteren Forstbehörden und Forstbetrieben der Bayerische Staatsforsten soll das Auffinden von Einsatzorten zur Waldbrandbekämpfung erleichtert werden“ (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, o.J.).

Die Staatliche Feuerweherschule Würzburg erläutert, dass die für die Karten notwendigen Informationen für die Waldbrandeinsatzkarten von den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und den Forstbetrieben der Bayerische Staatsforsten sowie ggf. mit Unterstützung der Führung der örtlich zuständigen Feuerwehren erfasst und an die Regierungen weitergegeben werden.

„Durch gegenseitigen Austausch von Informationen und Karten der Integrierten Leitstellen bzw. erstalarmierenden Stellen im Brand- und Katastrophenschutz, Feuerwehren, unteren Forstbehörden und Forstbetrieben der Bayerische Staatsforsten soll das Auffinden von Einsatzorten zur Waldbrandbekämpfung erleichtert werden“ (Staatliche Feuerweherschule Würzburg, o.J.).

Waldinfo.NRW

Laut dem Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen unterstützt das digitale Kartensystem Waldinfo.NRW Waldbesitzer im Klimawandel und die Feuerwehr bei der Waldbrandbekämpfung.

Für die Feuerwehren werden hier Rettungspunkte oder Wendeplätze für größere Einsatzfahrzeuge im Wald dargestellt sowie Informationen, welche der Waldwege mit schweren Einsatzfahrzeugen befahrbar sind.

Digitaler Zwilling Gefahrenabwehr

Aktuell ist die Entwicklung eines digitalen Zwillings Gefahrenabwehr für das Land NRW auf Grundlage vorhandener GIS-Daten in der Erstellung, der auch für den Anwendungsfall „Vegetationsbrand“ nutzbar gemacht werden soll. Die Zusammenführung von vorhandenen, lagerelevanten Daten in einer (teilweise sogar in 3D) vorhandenen GIS-Struktur mit einfacher Bedienung durch die Fachanwender soll in nächster Zeit den BOS-Anwendern zur Verfügung gestellt werden (Caffier, Fritze, 2023).

Waldbrandeinsatzkarte-Informationssystem Niedersachsen

Ebenso existiert in Niedersachsen das Waldbrandeinsatzkarte-Informationssystem. „Seit dem Jahr 2019 wird in Niedersachsen anstelle einer analogen Druckausgabe der Waldbrandeinsatzkarten (WBEK) eine digitale, internetbasierte Visualisierungskomponente zur Vegetations- und Waldbrandbekämpfung vorgehalten. In der als WBEK-Viewer bezeichneten Anwendung werden landesweit befahrbare Wege in bewaldeten Gebieten, sowie diverse Wasserentnahmestellen (Teich, Hydrant, Brunnen, Wasserentnahmestellen an öffentlichen Gewässern ...) dargestellt“ (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, 2023).

Waldbrandeinsatzkarten Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg

In Sachsen-Anhalt werden ebenso Waldbrandeinsatzkarten vorgehalten. Über das Geoportal des LZW können Waldbrandeinsatzkarten interaktiv betrachtet und bei Bedarf PDF-Dokumente heruntergeladen und gesichert werden (Landeszentrum Wald, 2023).

Der Landesforst MV hält auch Waldbrandeinsatzkarten über des Geoportal Mecklenburg-Vorpommern bereit, die folgende Daten beinhalten:

- „die Forstabteilungskarte inklusiv Brandpotentialflächen
- die Waldbrandriegel

- die Wundstreifen
- das Wegeinformationssystem
- die Wasserentnahmestellen
- die Waldbrandmeldepunkte, Materialdepots [sic!], Sammelstellen etc.“
(GeoPortal MV, o.J.).

Brandenburg hält eine digitale Waldbrandschutzkarte vor. „Die Karte enthält neben Informationen über die Forststruktur (Oberförstereien, Forstreviere und Angaben zur Waldeinteilung) eine Vielzahl sonstiger Informationen zum Waldbrandschutz. In der Karte werden u.a. die Löschwasserentnahmestellen im Wald, die ganzjährig LKW-befahrbaren Waldwege, und die Rettungspunkte dargestellt“ (Landesregierung Brandenburg, 2024).

Auch wenn aufgezeigt werden konnte, dass es schon bestehende Waldbrandeinsatzkarten gibt, konnte ebenfalls dargestellt werden, dass diese noch nicht durchgängig in allen Bundesländern existieren. Zudem sind die Inhalte der bestehenden Karten unterschiedlich. Schon 2022 forderte der Präsident des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) eine bessere Infrastruktur und eine Überarbeitung der Waldbrandkarten, damit sich die Feuerwehren besser auf Waldbrandeinsätze vorbereiten können (Frankfurter Rundschau, 2022).

In Tschechien wurde ein digitales System entwickelt, welches ebenfalls der Orientierung dient. Dieses setzt die Daten von LIDAR voraus. Der Autor stellt das Modell der Cross-Country-Mobilität (CCM) vor, welches von Feuerwehren in Waldgebieten vor oder während eines Brandes genutzt werden könnte. „Um eine Methodik für die Mobilität von Rettungsfahrzeugen in einem Waldgebiet zu entwickeln, muss zunächst die Struktur eines Waldes bestimmt werden.

Wir haben ein digitales Oberflächenmodell (DSM) und ein digitales Höhenmodell (DEM) verwendet, um das Canopy Height Model (CHM) zu bestimmen. DSM- und DEM-Daten wurden von LiDAR gescannt. CHM-Daten und Feldmessungen wurden zur Bestimmung der ungefähren Waldstruktur (Baumhöhe, Stammdurchmesser und Stammabstand zwischen den Bäumen) verwendet. Aufgrund der Aktualisierung des CHM und der Ermittlung der oben genannten Waldstrukturparameter wurden Baumwachstumsgleichungen und Vegetationswachstumskurven verwendet. Die ungefähre Waldstruktur mit berechneter Baumdichte (Stammabstand) wurde zur Modellierung von Fahrzeugmanövern zwischen den Bäumen verwendet. Daten zum Stammdurchmesser wurden in Fällen verwendet, in denen es für das Fahrzeug einfacher war, die Bäume zu überfahren, als zwischen ihnen zu manövrieren.

Obwohl die Ergebnisse dieser Forschung von der Dichte und Qualität der eingegebenen LiDAR-Daten abhängen, kann die entwickelte Methodik zur Modellierung der optimalen Wege von Rettungsfahrzeugen durch ein Waldgebiet bei Waldbränden verwendet werden“ (Rybansky, 2022, 1). Rybansky (2022) hält fest, dass dieses Modell weiter erforscht werden muss. Er geht davon aus, dass die Nutzung für die Feuerwehren bei einem Waldbrand umsetzbar ist. Diese Entwicklung muss beobachtet werden und auf eine Anwendung in Deutschland überprüft werden.

Waldbrandatlas

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2021) betreibt den sogenannten Waldbrandatlas. „Der digitale Waldbrandatlas zeigt aktuelle Gefährdungsstufen, Brände, Waldflächen, Wind- und Niederschlagsvorhersagen, Wasserreservoir zum Auffüllen der Löschfahrzeuge, Rettungspunkte für Wanderer, Hubschrauberlandeplätze, Forstgebiete, Altlastenstandorte und vieles mehr. Dazu können aktuellste Satellitenbilder eingeblendet und so der Lageüberblick abgerundet werden. Das Tool basiert u. a. auf Satelliteninformationen der NASA und auf Daten des Deutschen Wetterdienstes“ (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2021). Dieser Atlas steht für Behörden und betroffene Organisationen (Feuerwehren etc.) zur Verfügung. Diese Informationen sind für die Feuerwehren von großer Bedeutung. Die Kooperation der Vereinigung für Kartographie und Geodäsie und der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. hat [sic!] u.a. das Ziel, den digitalen Waldbrandatlas für deutsche Feuerwehren bereitzustellen (Crisis Prevention, 2023).

Dieser steht für Feuerwehren zur Verfügung und trägt dazu bei, die Lage eines Waldbrandes besser einschätzen zu können.

UTM- und UTMRef-Koordinaten zur Orientierung im Gelände

Das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen stellt ein Ausbildungsvideo zum Thema Kartenkunde in Bezug auf Vegetationsbrand zur Orientierung im Wald bzw. Gelände bereit. In diesem wird erläutert, wie UTM- bzw. UTMRef-Koordinaten zur Orientierung genutzt werden können (Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen, 2021). Es wird der Unterschied zwischen UTM- und UTMRef-Koordinaten erläutert sowie die Anwendung beider Koordination. Das Video erläutert ebenso, dass für die Anwendung dieser Koordinaten eine gewisse Übung notwendig ist.

In Österreich wurde die kostenlose App „UTM Einsatzkarte“ entwickelt, die einen Standort automatisch in UTMRef-Koordinaten umwandelt. Die App soll bei der Lageführung, der Bekanntgabe des Standortes, UTM-Koordination, Einsatzlenkung und Suchaktionen nützlich sein (Feuwehr.Innovativ, 2023). Diese App findet auch Standorte in Deutschland und wandelt den Standort in UTM-Koordinaten um.

3.2 Zugführerebene

Ein Zugführer führt auf der Ebene der taktischen Einheit einen Zug bzw. ist Einsatzleiter, unterstellter Einsatzabschnitts- oder Unterabschnittsleiter innerhalb einer größeren taktischen Gliederung von Kräften oder des Raumes. Als Führungsposition muss er die Anwendung der Hilfsmittel zur Orientierung im Wald beherrschen.

Ein Zugführer sollte wissen, welche Orientierungssysteme in seinem Gebiet zur Verfügung stehen. Er sollte sich mit vorhandenen Waldbrandeinsatzkarten vertraut machen, den Waldbrandatlas nutzen sowie für sein Einsatzgebiet die notwendigen Informationen, die z. B. in Nordrhein-Westfalen der Landesbetrieb Wald und Holz NRW zur Verfügung stellt, nutzen können.

Das bedeutet, dass er die unterschiedlichen Kartensystematiken kennt und entsprechend anwenden kann, sodass er eine Aussage über die Position im Wald treffen und diese Informationen für die Taktik und die Führung seiner Einsatzkräfte nutzen kann.

3.3 Feuerwehreinsatzkräfte

Die Feuerwehreinsatzkräfte bekommen die Informationen von ihrem Gruppen-, Zug- oder Verbandsführer bzw. auch über die Leitstellen. In einem Waldbrandeinsatz nutzen Feuerwehreinsatzkräfte Landmarken, Rettungspunkte sowie zusätzliche markante Punkte im Gelände zur Orientierung.

Landmarken

Unter Landmarken versteht man ein topographisches Objekt, welches auffällig ist und in den meisten Fällen gut erkennbar ist. Diese können zur Orientierung bzw. zur terrestrischen Navigation genutzt werden.

Beispiele für Landmarken können sein:

- Türme
- Windräder
- Waldrand
- Burgen, Schlösser

- Berge
- Gewässer
- Schluchten
- Schneisen etc.

Rettungspunkte

So genannte Rettungspunkte sind definierte Orte im Wald, die der Anfahrt für Rettungsfahrzeuge dienen. „Im Falle eines Unfalls können diese Treffpunkte bei der Kommunikation des Verunfallten bzw. eines Helfers mit dem Rettungsdienst genutzt werden, um das Auffinden des Unfallortes zu erleichtern. Die Ausweisung der Koordinatentreffpunkte kann mit fest im Wald montierten Schildern oder virtuell, d.h. als reine Koordinatenangabe erfolgen“ (KWF, 2020).

Das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e. V. (KWF) ist damit beauftragt, einen bundeseinheitlichen Datensatz für Rettungspunkte in der Forstwirtschaft zu erstellen. Diese Rettungspunkte dienen Personen zur besseren Orientierung und Beschreibung ihres Standortes im Wald. Rettungspunkte sind mit einem entsprechenden Schild versehen.

Sonstige markante Punkte

Sonstige markante Punkte können Brücken, Versorgungsleitungen, Kreuzungen, Beschilderung der Forstbesitzer sein.

3.4 Fazit

Wie aufgezeigt werden konnte, gibt es zwar eine Vielzahl an Systemen zur Orientierung im Wald. Dennoch ist hier anzumerken, dass diese noch weiterentwickelt werden könnten und sollten.

- Derzeit gibt es kein einheitliches Kartensystem, das landesübergreifend zur Verfügung steht.
- Die Verknüpfung von bestehenden GIS-Daten in ggf. vorhandenen Führungshilfsmitteln wie z. B. digitale Lageführungssysteme wäre sinnvoll.
- Wenn vorhandene Datensätze auch Informationen über die Zusammensetzung der Vegetation enthalten, wäre eine Entwicklung von Prognosesystemen für die Ausbreitung von Waldbränden für die Lageführung äußerst interessant.
- Es ist erforderlich, dass entsprechende Systeme im Einsatz auch ohne Netz zur Verfügung stehen.
- Die Einbindung von GPS-Daten von Fahrzeugen ggf. auf allen Ebenen für die Orientierung wäre hilfreich.

4. Praxis vorbereitende Übungen Waldbrand

Im nachfolgenden werden unterschiedliche Übungsmöglichkeiten für die Feuerwehren beschrieben. Es werden die ersten Ergebnisse der Arbeitsgruppe Nationaler Waldbrandschutz aufgezeigt.

In diesem Maßnahmenkatalog wird zusätzlich exemplarisch auf eine Facharbeit mit Übungsmöglichkeiten für Vegetationsbrandlagen eingegangen. Es gibt mehrere Facharbeiten zu diesem Thema, jedoch erscheint es an dieser Stelle sinnvoll, eine exemplarisch der Vollständigkeit halber vorzustellen, da zukünftig die Ergebnisse der länderoffenen Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“ relevant sein werden. Zudem wird auf eine Lernsituation für Feuerwehren eingegangen, die z. B. an Übungsabenden durchgeführt werden kann.

Des Weiteren wird auf die Hospitation am Ausbildungszentrum der Feuerwehr des südfranzösischen Départements Bouches-du-Rhône (SDIS 13) und zum zentralen Ausbildungsstandort Entente Valabre eingegangen. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Ausbildung von Wald und Holz NRW und den Feuerwehren. Abschließend wird auf eine Übung im Krisenstabslehrgang am Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen hingewiesen.

4.1 Länderoffene Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“

„Die länderoffene Arbeitsgruppe ‚Nationaler Waldbrandschutz‘ des Arbeitskreises V der Innenministerkonferenz beschäftigt sich mit der Ausbildung in Bezug auf Vegetationsbrandbekämpfung. In der Arbeitsgruppe sind themenspezifische Unterarbeitsgruppen eingerichtet, die u.a. auch das Thema Ausbildung bearbeiten. Bundesweit wird das Thema Ausbildung in der Vegetationsbrandbekämpfung in einer Unterarbeitsgruppe der Arbeitsgruppe Nationaler Waldbrandschutz bearbeitet. Das IdF Nordrhein-Westfalen vertritt dort die Belange des Landes Nordrhein-Westfalen und bringt die Erfahrungen in die Weiterentwicklung der Ausbildungsinhalte [sic!] ein. Das Ziel ist, Ausbildungsinhalte bundesweit einheitlich zu regeln“ (Landtag.NRW, 2022, 3).

In dem Zwischenbericht der länderoffenen Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz wird darauf verwiesen, dass die Ausbildung in Bezug auf Vegetationsbrandbekämpfung weiter ausgebaut werden muss, da spezielle Lehrgänge und Vorgaben derzeit uneinheitlich und nicht bundesweit existieren.

„Die Vorgaben zur Ausbildung der Vegetationsbrandbekämpfung sind bundeseinheitlich weiter auszubauen. Dies gilt für die Basisausbildung bis zur obersten Führungsausbildung. (...)

Zur Bekämpfung von Vegetationsbränden sind auf allen Ebenen spezielle Kenntnisse in Löschtechnik und –taktik, zum Einsatz besonderer Löschmittel und -geräte und Erkenntnisse sowie Erfahrungen im sicheren Führen von bis zu mehreren tausend Einsatzkräften in Langzeitlagen notwendig. Spezielle Lehrgänge und Vorgaben gibt es weder einheitlich noch flächendeckend in Deutschland“ (Länderoffene Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“, 2023, 7).

Die Arbeitsgruppe beschreibt folgende Maßnahmen für die Ausbildung: „Grundkenntnisse zur Vegetationsbrandbekämpfung soll Bestandteil einer bundeseinheitlichen [sic!] Ausbildungsvorgabe sein. Ausbildungsinhalte und Taktik zur Bekämpfung von Vegetationsbränden sollten durch die UAG Ausbildung der AG ‚Nationaler Waldbrandschutz‘ festgelegt und länderspezifisch umgesetzt werden. Hierbei ist die Fortschreibung der FwDV 2 zu berücksichtigen.

Die Führungskräfteausbildung (Verbandsführer, Stabsausbildung) soll an zentraler Stelle erfolgen. Auf Landesebene sind Gruppen- und Zugführer entsprechend aus- und fortzubilden. Eine Verzahnung aller für den Einsatz relevanten Einsatzkräfte und Spezialisten/Fachberater ist zwingend notwendig“ (Länderoffene Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz, 2023, 8).

In dem Entwurf der Unterarbeitsgruppe Ausbildung der länderoffenen Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“ werden folgende Schwerpunkte aufgegriffen, die die Arbeitsgruppe als relevant für die Ausbildung in der Feuerwehr erachtet:

- Einheitliche Begriffsdefinition
- Einflussfaktoren auf das Feuerverhalten
- Gefahren für die Einsatzkräfte
- Sicherheit
- Persönliche Schutzausrüstung
- Wasserversorgung und Wasserförderung (Mangelressource Wasser)
- Orientierung
- Taktik
- Technik
- Führen im Vegetationsbrandeinsatz
- Empfehlungen zu einheitlichen Ausbildung für die Vegetationsbrandbekämpfung (UAG Ausbildung der AG nat. Waldbrandschutz, 2024)

Die endgültigen Ergebnisse der Arbeitsgruppe sollten abgewartet werden, da diese zukünftig für die Feuerwehren relevant sein werden.

Da bislang noch nicht absehbar ist, wann die Ergebnisse vorliegen, würde sich anbieten, sich mit dem Thema dennoch jetzt schon zu beschäftigen. Hierzu können die in diesem Kapitel benannten Inhalte hilfreich sein.

4.2. Übungsmöglichkeiten für Vegetationsbrandlagen

Hahn (2022) verfasst eine Facharbeit über Übungsmöglichkeiten für Vegetationsbrandlagen. In diesem wird ein Konzept erstellt, welches die Ausbildung im Hinblick auf die praxisorientierten Übungsmöglichkeiten bei Vegetationsbränden verbessern soll. Spezielles Augenmerk wird zudem auf die Betrachtung der speziellen Gefahren bei Vegetationsbränden gelegt. Zudem wird besonders die Optimierung des Schutzes der Einsatzkräfte durch eine Verbesserung der Taktik sowie der richtigen Handhabung der eingesetzten Gerätschaften betrachtet. Es wird beschrieben wie sich Einsatzkräfte durch geplante Übungslagen bzw. Übungsmöglichkeiten auf konkrete Situationen vorbereiten können (Hahn, 2022, 1).

Das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen hat für die Feuerwehren eine Lernsituation „Praktische Vegetationsbrandbekämpfung“ zur Verfügung gestellt, die der Einweisung in die Handhabung der Handwerkzeuge zur Vegetationsbrandbekämpfung dient (Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen, 2021). Die Lernsituation beschreibt die Lernziele, die notwendigen Materialien und Hinweise für den Trainer.

4.3 Übungsszenarien Vegetationsbrand in Frankreich

Es wurde eine Dienstreise zum Ausbildungszentrum der Feuerwehr des südfranzösischen Départements Bouches-du-Rhône (SDIS 13) und zum zentralen Ausbildungsstandort Entente Valabre unternommen. Beim SDIS 13 wurde einer Übung beigewohnt, bei der Feuerwehrangehörige die eigentliche Brandbekämpfung bei Waldbränden in einer Trainingsanlage geübt haben.

Dabei wurden aus Metall gefertigte Nachbildungen von Bäumen und geschotterte Bodenflächen gasbefeuert in Brand gesetzt; die so dargestellten Boden- und Wipfelfeuer wurden dann durch die Vornahme von Strahlrohren bekämpft. Weiterhin wurde bei einer Planübung hospitiert, bei der ein mit einer Computersimulation dargestellter ausgedehnter Waldbrand mit mehreren Löschzügen sowie aus der Luft bekämpft wurde.

Ein weiterer Besuch erfolgte bei der Entente Valabre, einem Ausbildungs- und Simulationszentrum für große Einsatzlagen, welches von mehreren südfranzösischen Départements gemeinsam betrieben wird.

Dort wurde sich u. a. über neue Installationen informiert, darunter ein persönliches Sicherheitstraining für Gefahrenlagen mit einer VR-Brille und dem Remotebetrieb der Simulation, die über eine Internetverbindung die Durchführung von computergeführten Planübungen auch über beliebige Distanzen ermöglicht.

Übung zur Waldbrandbekämpfung in Velaux

Es wurde an einer Übung teilgenommen, bei der ehrenamtliche Feuerwehrangehörige des südfranzösischen Départements Bouches-du-Rhône (Service Départemental d'Incendie et Secours SDIS 13¹) die Bekämpfung eines Waldbrands auf einer speziell dafür konzipierten Simulationsanlage trainieren konnten.

Die Anlage besteht aus Nachbildungen von Bäumen aus Metall und Schotterflächen, wobei die Bäume und Teile der Schotterflächen zur Darstellung von Wipfel- bzw. Bodenfeuern mit Gas in Brand gesetzt werden können, siehe Abbildung 1. Die Anlage wurde von der Aachener Firma „Kidde Fire Trainers“ errichtet und ist in dieser Form weltweit einmalig.



ABBILDUNG 1 SIMULATIONSANLAGE ZUR WALDBRANDBEKÄMPFUNG IN VELAUX

Bei der Übung kam ein speziell für den Waldbrandeinsatz konzipierter Löschzug (Groupe² d'Intervention Feux de Forêts, GIFF) aus vier Waldbrand-Tanklöschfahrzeugen zum Einsatz.

¹ In Frankreich sind alle Départements in alphabetischer Reihenfolge nummeriert.

² Bei der taktischen Einheit „groupe“ der französischen Feuerwehren handelt es sich nicht um eine Löschgruppe, sondern um einen Löschzug. Die ungefähre taktische Entsprechung zur Gruppe nach FwDV 3 wird als „agrès“ bezeichnet.

Während die Fahrzeugführer und Maschinisten erfahrene Einsatzkräfte waren, handelte es sich bei den vorgehenden Trupps um Kräfte der Freiwilligen Feuerwehr, die kürzlich ihre Grundausbildung abgeschlossen hatten und sich nun mit dieser Übung auf Waldbrandeinsätze vorbereiten sollen. Ziele der Übung sollten sein, die richtige Handhabung der Strahlrohre und Schläuche bei der Bekämpfung von Boden- und Wipfel feuern zu erlernen und sich an die enorme Wärmestrahlung zu gewöhnen.

Die Übung wurde von erfahrenen Trainern der kommunalen Feuerweherschule des SDIS gestaltet und begleitet; diese sind in Abbildung 2 an der orangefarbenen Einsatzkleidung zu erkennen. Die Gasbefeuerung der Anlage wird von einem Leitstand, von dem aus man das gesamte Gelände überblickt, überwacht und gesteuert.



ABBILDUNG 2 DURCHFÜHRUNG EINER ÜBUNG

Den insgesamt vier Teilübungen, die an einen Vormittag durchgeführt wurden, lagen jeweils verschiedene vordefinierte Szenarien zugrunde, so etwa der Übergang vom Boden- zum Wipfel feuere oder die Ausbreitung von einer Seite des Geländes zur gegenüberliegenden. In der letzten Übung wurde eine Notsituation simuliert: Der Löschzug stand auf einem Waldweg, wobei der Wald links und rechts davon brannte und dieser Brand die Fahrzeuge gefährdete. Daraufhin wurde der Eigenschutz des Fahrzeuges aktiviert: In einem Rohrgestell um die Fahrzeugkabine sind Düsen angebracht, mit denen ein Wassernebel erzeugt, der die Kabine schützt, siehe Abbildung 3. Das Rohrgestell wird dabei mit Wasser aus dem Fahrzeugtank befüllt; zu diesem Zweck verbleibt immer ein gewisser Wasservorrat im Tank, der nur in Notsituationen wie beschrieben genutzt werden soll.



ABBILDUNG 3 NOTFALLÜBUNG MIT AKTIVIERUNG DES EIGENSCHUTZES

Planübung zur Waldbrandbekämpfung

Des Weiteren wurde eine Planübung des SDIS 13 besucht, bei der Kommunikation und Führung ab der Ebene der Einsatzabschnittsleitungen trainiert wurden. Die Darstellung und Fortführung der Lage erfolgte dabei unter Nutzung des VR-Simulationssystem CRISE, das im nachfolgenden Abschnitt noch näher erläutert wird. In Abbildung 4 sieht man den Arbeitsplatz eines Abschnittsleiters, der sich bei der beobachteten Übung auch in die Perspektive einzelner Führungskräfte in den Abschnitten versetzen konnte.



ABBILDUNG 4 ARBEITSPLATZ ZUR NUTZUNG BEI EINER VR-SIMULATION

Gegenstand der Übung war ein ausgedehnter Waldbrand im Département, der am Boden und aus der Luft bekämpft wird. Abbildung 5 zeigt die Führungsorganisation, die im Grundsatz der deutschen ähnelt mit der Ausnahme, dass die Leitstelle die Gesamtleitung innehat. Dies ist in der Praxis aber eher formaler Natur; die einsatztaktischen Entscheidungen werden von der eigentlichen Führungseinheit, dem Commandement des Opérations de Secours (COS) getroffen.

Der Einsatz war in drei Abschnitte gegliedert: Brandbekämpfung links, Brandbekämpfung rechts und Brandbekämpfung aus der Luft, wobei den beiden Abschnitten zur Brandbekämpfung vom Boden aus jeweils vier bis fünf Löschzüge unterstellt waren. Die Brandbekämpfung aus der Luft erfolgte mit einem Löschflugzeug und einem Hubschrauber mit Außenlastbehälter. In der Übung wurden die Ebenen der Abschnittsleiter, der beiden Luftfahrzeuge und der Einsatzleitung bespielt.

Dies bestand aus drei Personen: dem Einsatzleiter, dem „officier renseignement“ (Lage, entspricht den deutschen Sachgebieten S2 und S3) und „officier moyen“ (Einsatzkräfte und -mittel, entspricht S1 und S4).

In der Einsatzleitung wurde das neuartige, derzeit im landesweiten Roll-out befindliche Softwaresystem CRIMSON TACTIC zur Lagedarstellung genutzt, das unter anderem die Verwendung taktischer Zeichen auf topografischen Karten ermöglicht.

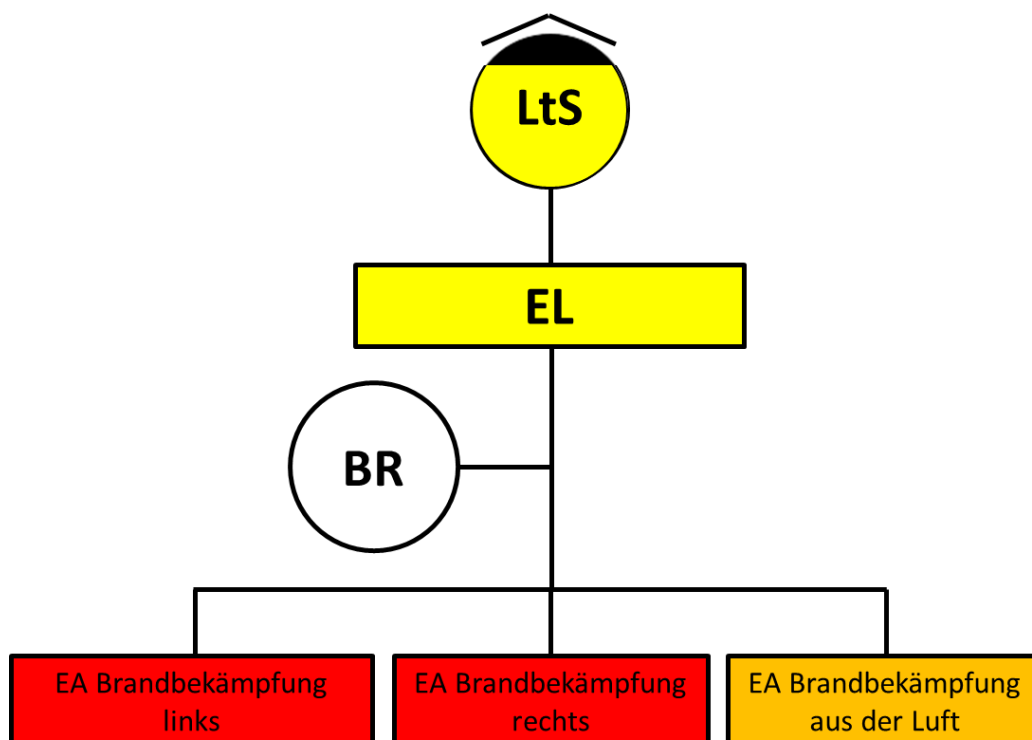


ABBILDUNG 5 FÜHRUNGSORGANISATION BEI DER PLANÜBUNG

Ausbildungsreinrichtung Entente Valabre

Ein weiterer Besuch führte zur Entente Valabre, einer von mehreren französischen Départements gemeinsamen betriebenen und finanzierten Ausbildungseinrichtung zur Führung bei großen Einsatzlagen. Ursprünglich beschränkte sich die Einrichtung auf Waldbrandlagen; inzwischen wurde das Spektrum aber auch auf andere große Einsatzlagen wie Überflutungen und Freisetzungen von Gefahrstoffen erweitert.

Ziel der Einrichtung ist eine vernetzte Ausbildung aller beteiligten Führungskräfte an der gleichen simulierten Lage, von der strategischen Einsatzleitung bis hin zum einzelnen Fahrzeugführer. Letzterer sieht das Geschehen aus der Perspektive des Fahrzeugs und kann seine Rohre vornehmen, siehe Abbildung 6. Mit der Außenwelt kommuniziert er über Funk.

Auch luftgebundene Einsatzmittel, d. h. zur Erkundung eingesetzte oder mit Außenlastbehältern ausgestattete Hubschrauber und die zur Brandbekämpfung eingesetzten Flugzeuge sind darin integriert; dazu sind die Kanzeln eines Hubschraubers und eines Löschflugzeugs dort nachgebaut, siehe Abbildung 7.

Zur Simulation der gesamten Einsatzlage wird das System CRISE eines gleichnamigen französischen Unternehmens (www.vr-crisis.com) mit Sitz in Aix-en-Provence genutzt; es administriert die gesamte Lage bis hin zur Simulation des Brandgeschehens und der Maßnahmen zur Brandbekämpfung. Die Eingabe der Startparameter des Brandes (Ursprung, Richtung und Geschwindigkeit der Ausbreitung) erfolgt über ein Dashbord durch die Übungsleitung. Die Einsatzmittel werden von den Übenden über Sprechfunk angefordert und dann von der Übungsleitung in CRISE disponiert.

Auch hier führt die übende Einsatzleitung die Lagekarte mit dem elektronischen System CRIMSON TACTIC; alternativ kann die Lagekarte auch rein manuell geführt werden.



ABBILDUNG 6 PERSPEKTIVE DES FAHRZEUGFÜHRERS IM SIMULATIONSSYSTEM CRISE



ABBILDUNG 7 NACHBAU EINER HUBSCHRAUBERKANZEL

Seit kurzem ist dort auch ein persönliches Sicherheitstraining mit einer VR-Brille verfügbar, mit dem das Verhalten in Notsituationen trainiert werden kann. Der Übende sieht eine virtuelle 360°-Umgebung beispielsweise bei einem Flammeinschluss.

Ebenfalls neu ist ein Remotebetrieb des Simulationssystems für externe Nutzer, die über Internet angebunden werden.

Damit werden Übende in anderen Teilen des Landes trainiert, die sich nicht nach Valabre begeben müssen, was gerade unter Corona-Bedingungen einen erheblichen Vorteil darstellte. Diese Option wird auch in den französischen Übersee-Territorien genutzt, z. B. in Neukaledonien, einer zu Frankreich gehörenden Inselgruppe im Südpazifik. Für die Operatoren in Valabre bringt das mit sich, dass sie wegen der Zeitverschiebung z. T. zu ungewöhnlichen Zeiten arbeiten müssen. Aus Gründen der IT-Sicherheit ist das Remotesystem komplett vom System vor Ort getrennt.

4.4 Aus- und Fortbildung von Wald und Holz NRW und den Feuerwehren

Es finden gemeinsame Aus- und Fortbildung von Wald und Holz NRW und den Feuerwehren statt. In diesen Schulungen der Feuerwehren zum Thema Wald finden Themen wie z. B. Baumarten und deren Brandverhalten, Geländeform, Struktur der Forstverwaltung sowie Baum- und andere Vegetationsarten, Bodenbestandteile und deren Brandverhalten Berücksichtigung.

Ebenso werden Schulungen aller kommunalen forstlichen Ansprechpartner in der Zusammenarbeit mit den Feuerwehren durchgeführt. In diesen wird auf die Struktur, Befehlsketten, Kommunikationswege und die Aufgabe der Forstbetriebsbezirke und der Regionalforstämter eingegangen.

Das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen führt Schulungen der Leitungsebene von Wald und Holz NRW im Krisenmanagement durch. In dieser werden Themenbereiche wie die Psychologie der Krise, notwendige Maßnahmen, Arbeit eines Krisenstabes, Aufgaben der einzelnen Ebenen von Wald und Holz NRW vermittelt. Zudem finden feuerwehrspezifische Fortbildung sowie Ausbildung der Feuerwehren in Belangen der Vegetationsbrandbekämpfung gemeinsam mit Vertretern von Wald und Holz NRW statt. Es findet ein gegenseitiger Dozentenaustausch statt. Die Evaluation zeigt, dass diese Schulungen gut angenommen werden.

4.5. Empfehlung von möglichen Maßnahmen

- Schaffung von Übungsmöglichkeiten in Deutschland (insb. an Feuerweherschulen der Länder) nach einheitlicher Taktik
- Berücksichtigung des Ausbildungskonzeptes der Unterarbeitsgruppe AG nationaler Waldbrandschutz
- Gemeinsame Übungen mit Waldbesitzern, Forstwirtschaftern und/oder Landeseinrichtungen wie z. B. Wald und Holz NRW

5. Interorganisationelle Zusammenarbeit

In diesem Kapitel wird zusammenfassend auf die interorganisationelle Zusammenarbeit eingegangen. In diesem Zusammenhang wird auf Empfehlungen des Waldbrandmanagements eingegangen, beispielhaft wird die Zusammenarbeit zwischen Wald und Holz NRW mit den Feuerwehren beschrieben und auf die Zusammenarbeit mit der Polizei wird eingegangen. Es gibt Konzepte zum Beispiel für das Bundesland Rheinland-Pfalz und Thüringen, in denen ebenfalls Hinweise für die Zusammenarbeit der beteiligten Akteure enthalten sind.

Nachdem zunächst auf Baden-Württemberg eingegangen wird, wird anschließend exemplarisch das Konzept aus Nordrhein-Westfalen vorgestellt, da dieses den Verfassern hinreichend bekannt ist sowie ein Experteninterview über die Zusammenarbeit tiefergehende Einblicke gewährt hat.

Waldbrandmanagement nach FVA Baden-Württemberg

In dem geförderten Projekt Waldbrand Klima Resilienz (WKR) wird ein Waldbrandmanagement empfohlen. In diesem wird in fünf Schritten auch auf die Zusammenarbeit der beteiligten Akteure eingegangen. Hierbei wird u.a. auf die Vernetzung zwischen den Akteuren (Forst & Feuerwehr, etc.) verwiesen. Diese sei für eine effektive Zusammenarbeit entscheidend. Hierdurch lassen sich Abläufe entwickeln, üben und örtlich regelmäßig wiederholen. Ebenso wichtig sei die Absprache mit Akteuren zu schützenswerten Objekten, dem Schutzgut, da sich aus diesen Priorisierungen Maßnahmen ableiten lassen (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg, o.J.).

In einem entsprechenden Waldmanagementplan wird u.a. die Entwicklung einer Kontaktliste für die Kommunikation, der Informationsaustausch zu Stakeholdern, die Vorbereitung und Übung der Abläufe mit der Feuerwehr, die Unterstützung der Feuerwehr, die Erstellung und Aktualisierung von Waldbrandkarten für Feuerwehren empfohlen (Baden-Württemberg, o.J.).

Waldbrandvorbeugung und Waldbrandbekämpfung in Nordrhein-Westfalen

Das Ministerium des Inneren des Landes Nordrhein-Westfalen und das Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz haben ein Konzept zur Waldbrandvorbeugung und Waldbrandbekämpfung in Nordrhein-Westfalen verfasst, in dem neben rechtlichen Grundlagen, forstwirtschaftliche Maßnahmen, Waldbrandfrüherkennung, feuerwehrtechnische Maßnahmen auch auf die Zusammenarbeit eingegangen wird.

„Jedes Regionalforstamt hat pro Gemeinde bzw. Stadt einen forstlichen Ansprechpartner bzw. -partnerin zur Unterstützung der Einsatzleitung der örtlichen Feuerwehr auf Anforderung bestimmt“ (Ministerium des Inneren des Landes Nordrhein-Westfalen, Ministeriums für Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2022, 33). Zusätzlich wird beschrieben, welche Aufgaben die Rufbereitschaft hat sowie die Prämisse bei einem Waldbrand.

„Die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), wie zum Beispiel die Feuerwehr, sind für das Beseitigen der Gefahr zuständig.

Die Mitarbeitenden von Wald und Holz Nordrhein-Westfalen können dieses lediglich unterstützen“ (Ministerium des Inneren des Landes Nordrhein-Westfalen, Ministeriums für Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2022, 34).

Die Zusammenarbeit mit Wald und Holz NRW, dem Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen sowie den Feuerwehren hat sich seit einigen Jahren etabliert. Dies ist zum Teil noch stark personenabhängig, d. h. das Interesse an dem Thema Waldbrand und Kooperation im Vorfeld ist noch nicht durchgängig institutionalisiert. Eine grundsätzliche Kooperation in der Waldbrandprävention sowie im Vorfeld die Absprachen für den Fall eines Waldbrandes wären an dieser wünschenswert.

In diesem Konzept wird ebenfalls auf die gemeinsame Aus- und Fortbildung eingegangen, deren Inhalte in Kapitel 4.3 dieses Grundlagenpapiers näher beschrieben werden.

Die Konzepte der Bundesländer ähneln sich weitestgehend in den Inhalten sowie den Anforderungen an die Zusammenarbeit.

Zusammenarbeit mit der Polizei

Wie im Kapitel 2 beschrieben, unterstützt die Polizei bei der Luftaufklärung bei einem Waldbrand. Jedoch unterstützt die Polizei beim Waldbrand auch beim Löschen. 2020 wurden zwei Hubschrauber mit so genannten Außenlöschbehälter (Bambi-Buckets) ausgestattet, um Feuerwehren beim Löschen eines Waldbrandes aktiv zu unterstützen (Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg, 2020).

Schöttler beschreibt 2023 zum einen die Zuständigkeiten und Ausstattungsfragen sowie einer Entwicklung, die bei der Waldbrandbekämpfung noch besser unterstützen könnten. „In Deutschland konzentriert sich die Zuständigkeits- und somit Ausstattungsfrage im Bund auf die Bundespolizei und die Bundeswehr; in den Bundesländern auf die Länderpolizeien. Beispielsweise seien genannt:

die Polizeihubschrauberstaffel von Rheinland-Pfalz verfügt derzeit über zwei Hubschrauber, die jeweils 450 l-Wasserbehälter transportieren können.

Durch eine Zusammenarbeitsvereinbarung mit Hessen kann der Pool auf fünf Maschinen aufgestockt werden. 2024 sollen zwei neue Helikopter mit je 800 l – Tanks beschafft werden, die zudem für die Personenrettung einsetzbar und nachflugtauglich sind. Die Bundespolizei verfügt über insgesamt 87 Maschinen an fünf Standorten (2019). Sie sind zur Personenrettung mit Seilwinden ausgestattet und können auch durch verlastbare Wassertanks Löscheinsätze fliegen“ (Schöttler, 2023).

Zusammenarbeit mit der Bundeswehr

Die Bundeswehr unterstützt auch bei der Waldbrandbekämpfung. „Besonders gefragt sind in der Waldbrandsaison die Transporthubschrauber der Bundeswehr.

„Die CH-53 G, genannt der ‚Lastesel der Lüfte‘, ist immerhin 50 Jahre alt und bedarf nicht nur aufwändiger Wartung, sondern ist des Öfteren auch nicht einsatzbereit. Aber die Löschwassermenge von 5000 Litern sorgt noch für eine effiziente Unterstützung der zivilen Brandbekämpfer“ (Schöttler, 2023).

Schöttler (2023) spricht in diesem Zusammenhang von einer Zeitenwende, da aus dem Sondervermögen der Bundeswehr 60 Boeing Chinooks CH-47 F beschafft werden sollen. Diese können durch ihre Fähigkeit zur „Luft-zu-Luft-Betankung“ und einer Tragfähigkeit von 11 Tonnen weiter entfernt eingesetzt werden. „Dadurch verbessert sich die Transportfähigkeit von Wasser von bisher 5000 Liter auf über 10000 Liter (‚Die Bundeswehr‘, Oktober 2022, S. 56)“ (Schöttler, 2023).

Das Bundesland Brandenburg will ein Kompetenzzentrum Waldbrand aufbauen, da eine bessere Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren notwendig sei.

„Bei dem Waldbrand-Kompetenzzentrum soll es etwa um Prävention, die Planung von Einsätzen und eine bessere Koordinierung unter den Organisationen gehen“ (rbb24, 2023). Derzeit gibt es noch keinen Zeitraum, wann ein solches Kompetenzzentrum aufgebaut werden wird.

Allen gemein ist, dass die Zusammenarbeit verbessert wird bzw. werden soll. Es wird festgehalten, dass eine engere Zusammenarbeit bei Waldbränden aber auch im Vorfeld Absprachen sehr hilfreich in realen Brandlagen sind.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Maßnahmenkatalog wird im Rahmen des Projektes Erweiterung des ökologischen, waldbaulichen und technischen Wissens zu Waldbränden (ErWiN) erstellt. Durch verschiedene Methoden werden in diesem zu den Themen Lagedetektionssysteme, Lageerfassungssysteme, Orientierung im Wald, Übungen zum Thema Vegetationsbrand sowie interorganisationale Zusammenarbeit vorgestellt. Die Methoden sind eine Literaturrecherche, Interviews mit Experten sowie Austausch mit der Feuerweherschule Bayern und Sachsen zum Thema Waldbrand und Forschung. Auf Feuerwehrseite wurde der Status Quo der Zusammenarbeit und Lageentwicklung erforscht, unter anderem durch Hospitationen in der Feuerwehr-Führungsausbildung, in Krisenstabsübungen und in einer Leitstelle. Im übergreifenden Bereich gab es Treffen mit niederländischen Feuerwehrleuten und Brandexperten sowie der weitere Aufbau der engen Zusammenarbeit zwischen der Feuerwehr NRW und der Forstbehörde Wald und Holz NRW. Zusätzlich gab es einen Austausch mit der Feuerwehr Niederkrüchten und der Begehung der Brandfläche vom großen Waldbrand „De Meinweg“ an der niederländischen Grenze.

Dieses Grundlagenpapier richtet sich maßgeblich an Feuerwehrführungskräfte und dient als Hilfestellung für ihre Aus- und Weiterbildung im Bereich Wald- und Vegetationsbrandbekämpfung. Auf Grund der föderalen Struktur kann das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen keine konkrete Empfehlung für z. B. ein Lagedetektionssystem abgeben. Es können dennoch Empfehlungen ausgesprochen werden, wie eine Feuerwehrführungskraft sich mit diesen Themen beschäftigen kann. Den Verfassern dieses Grundlagenpapiers ist der geringe Detaillierungsgrad zu den einzelnen Technologien bzw. Systemen bewusst, jedoch hätte ein hoher Detaillierungsgrad dieses Grundlagenpapier sehr umfangreich werden lassen. Ebenso wissen die Verfasser dieses Grundlagenpapiers um den z. T. schwachen Praxisbezug der hier benannten Maßnahmen für den konkreten Einsatz. In diesem Projekt war der Auftrag zum einen die bestehenden Technologien und Systeme im Überblick für die Feuerwehren zusammenzustellen und zum anderen Maßnahmen für die Feuerwehren abzuleiten. Bei Interesse, detaillierte Informationen über die Technologien und Systeme zu erhalten, kann die hier angeführte Literatur herangezogen werden. Zudem gibt es bereits konkrete Übungsbeschreibungen. Eine zusätzliche Wiederholung bzw. eine weitere Übungsbeschreibung erschien daher nicht zielführend.

Wie bereits erwähnt, arbeitet die länderoffene Arbeitsgruppe „nationaler Waldbrandschutz“ z.T. an den gleichen Themen, wie z. B. Ausbildungsinhalte etc. Das Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen ist in dieser Arbeitsgruppe Mitglied. Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe sollten abgewartet werden, da diese zukünftig richtungsweisend sein werden.

Da noch nicht bekannt ist, wann die Ergebnisse der Arbeitsgruppe veröffentlicht werden, kann dieses Grundlagenpapier als Orientierung für die Inhalte in der Aus- und Weiterbildung dienen bis die Ergebnisse der länderoffenen Arbeitsgruppe „nationaler Waldbrandschutz“ veröffentlicht worden sind.

Abschließend wird während der Bearbeitung des Projektes sowie des Grundlagenpapiers festgestellt, dass es weiterhin Forschungsbedarf z. B. in der Effektivität von Lagedetektions- und Lageerfassungssystemen gibt, die zukünftig Beachtung finden sollten.

Literaturverzeichnis

- [1] Akhloufi MA, Couturier A, Castro NA. (2021): Unmanned Aerial Vehicles for Wildland Fires: Sensing, Perception, Cooperation and Assistance. Drones; 5(1):15. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/drones5010015>, zuletzt abgerufen: 12.12.2023
- [2] Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., Grammalidis, N. (2020): A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing, in Sensors 2020, 20, 6442; Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/s20226442>, zuletzt abgerufen: 14.12.2023
- [3] Belozarov, V., Denisov, A., Nikulin, M. (2020): Integration of fire protection of farmland, steppe and forest tracts with agrotechnical processes of their treatment with the help of airships, E3S Web of Conferences 210, 01009 (2020), verfügbar unter: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021001009>. Zuletzt abgerufen 14.12.2023
- [4] BOS-Drohneneinheit e.V. (2023): BOS-Drohneneinheiten Deutschland; Verfügbar unter: <https://drohneneinheit.de/>; Zuletzt abgerufen: 05.05.2023
- [5] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2021): Das Lagebild Bevölkerungsverhalten in der Stabsarbeit. Ergebnisse des Forschungsprojekts „LaBS“. Verfügbar unter: https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/FiB/FiB-34-labs.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [6] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2019): Empfehlungen für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz; Verfügbar unter: https://www.fwvw.de/fileadmin/Downloads/Aktuelles/Fachgebiete/Einsatz_Empfehlungen_Drohnen-einsatz.pdf; Zuletzt abgerufen: 05.05.2023
- [7] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2023): Waldbrandatlas. Verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/waldbrandatlas.html>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [8] Bundespolizei (1999 - 2023): Bundespolizei- Flugdienst, Verfügbar unter: https://www.bundespolizei.de/Web/DE/05Die-Bundespolizei/04Einsatzkraefte/04_Flugdienst/Flugdienst_node.html, zuletzt abgerufen: 21.12.2023
- [9] Caffier, A., Fritze, H. (2023): Digitaler Zwilling Gefahrenabwehr. Präsentation im Rahmen GDI-Forum NRW 2023. Verfügbar unter: https://www.gdi.nrw/system/files/media/document/file/09_20230820_gdi-forum_nrw_dz_gefahrenabwehr_caffier-fritze_handout.pdf. Zuletzt abgerufen: 22.02.2024
- [10] Chrispeels, M., Lamers, C., Labenski, P., Faßnacht, F. E. (2021): Waldbrandschutz ganzheitlich – der Anspruch des interdisziplinären Projekts ErWiN, in: Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.: Tagungsband der 67. Jahresfachtagung, VdS Schadenverhütung GmbH Verlag, Köln.

- [11] Crisis Prevention (2023): Kooperation zwischen dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und der vfdb. Digitaler Waldbrandatlas zur Unterstützung deutscher Feuerwehren. Verfügbar unter: <https://crisis-prevention.de/feuerwehr/kooperation-zwischen-dem-bundesamt-fuer-kartographie-und-geodaesie-und-der-vfdb-digitaler-waldbrandatlas-zur-unterstuetzung-deutscher-feuerwehren.html>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [12] Deutscher Feuerwehr Verband (2022): Fachempfehlung Nr. DFV-FE-70-2022 vom 24. März 2022. Luftfahrzeugeinsatz/Aerial Firefighting Air Operations für und durch die Feuerwehr; Verfügbar unter: https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2022/03/DFV-FE_Luftfahrzeuge_2022.pdf; Zuletzt abgerufen: 05.05.2023
- [13] Evlonic (2023): Waldbrandfrüherkennung, Verfügbar unter: <https://evlonic.de/de/startseite/>, zuletzt abgerufen: 20.12.2023
- [14] Fachhochschule Dortmund (2018): Robotik aus der FH macht Rettung sicherer, in Fachhochschule Dortmund (Hrsg.) FH Presse, Dezember 2018, 39. Jahrgang)
- [15] Fathi, R., Hugenbusch, D. (2020): VOST: Digitale Einsatzunterstützung in Deutschland. Das erste Symposium aller deutschen VOST und ihr Einsatz in der CoVid-Pandemie. In Crisis Prevention, Beta Verlag & Marketinggesellschaft mbH. Verfügbar unter: <https://crisis-prevention.de/katastrophenschutz/vost-digitale-einsatzunterstuetzung-in-deutschland.html#>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [16] Feuerwehr.Innovativ (2023): UTM Einsatzkarte. Verfügbar unter: <https://feuerwehr-innovativ.at/innovationen/utm-einsatzkarte/>. Zuletzt abgerufen: 05.01.2023
- [17] Frederick, K. (2012): Infrared: a critical tool for fire managers, in Forest Service of the U.S. Department of Agriculture, Washington, DC (Hrsg.) Fire Management Today, Volume 72 • No. 2 • 2012, verfügbar unter: https://www.frames.gov/documents/usfs/fmt/fmt_72-2.pdf, zuletzt abgerufen 12.12.2023
- [18] Friedrich, A. (2023): Waldbrandfrüherkennung: Wenn Drohnen Rauchzeichen lesen, Verfügbar unter <https://www.fau.de/2023/08/news/wissenschaft/waldbrandfrueherkennung-wenn-drohnen-rauchzeichen-lesen/>. Zuletzt abgerufen: 20.12.2023
- [19] Frankfurter Rundschau (2022): Feuerwehr fordert bessere Bedingungen. Verfügbar unter: <https://www.fr.de/panorama/feuerwehrverband-fordert-bessere-bedingungen-91689871.html>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [20] Fürstenberg, K. (2022): Literaturreview Vegetationsbrand, in Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz, Heft 1/2022, 7-15
- [21] Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg (o. J.): Waldbrandmanagement. Verstehen – Vorbeugen – Bekämpfen. Verfügbar unter: <https://www.fva-bw.de/news-seiten/waldbrandmanagement>. Zuletzt abgerufen: 05.01.2024
- [22] GeoPortal.MV (2023): Waldbrandeinsatzkarte der Landesforst MV (WBEK). Verfügbar unter: <https://www.geoportal-mv.de/portal/Suche/Me>

tadatenuebersicht/Details/Waldbrandeinsatzkarte%20der%20Landesforst%20MV%20(WBEK)/537b4eb5-67f4-4a4f-8a8f-73197ba44e6e. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024

- [23] Goldammer (2020): Klimawandel, Wetterextreme, Wald und Waldbrand: Herausforderungen an die Waldbesitzer. Erweiterte Fassung der Druckversion in Deutsche Waldbesitzer (Hefte 3 und 4 / 2020. Verfügbar unter: <https://gfmcc.online/wp-content/uploads/GFMC-Deutscher-Waldbesitzer-Juni-2020.pdf>. Zuletzt abgerufen: 29.02.2024
- [24] Goldammer, J., Hille, M., Wittich, K.-P., Kuehrt, E., Oertel, D., & Koutsias, N. (2008). An Innovative Conceptual Model of a Forest Fire Management Information and Decision-Support System for Brandenburg State. *International Forest Fire News*, 37, 88–102.
- [25] Hahn, P. (2022): Übungsmöglichkeiten für Vegetationsbrandlagen. Verfügbar unter: https://lernkompass.idf.nrw/goto.php?target=file_28402_download&client_id=Feuer. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [26] Hochrainer, S. (2005). Naturkatastrophen: Risikowahrnehmung und Vorsorgestrategien: eine empirische Untersuchung zum Hochwasser 2002 in Schwertberg. *SWS-Rundschau*, 45(1), 63-85. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssaoar-164747>. Zuletzt abgerufen 30.10.2023
- [27] Hsieh, R. (2023): ALBERTA WILDFIRE DETECTION CHALLENGE Operational Demonstration of Six Wildfire Detection Systems
- [28] Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (2021): Übungen zur Vegetationsbrandbekämpfung. Verfügbar unter: https://lernkompass.idf.nrw/goto.php?target=file_9142_download&client_id=Feuer. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [29] Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (2021): Kartenkunde für den Vegetationsbrand. Verfügbar unter: <https://player.vimeo.com/video/585781665?h=ceebc73564>. Zuletzt abgerufen: 05.01.2024
- [30] IQ Technologies for Earth and Space GmbH (2023): Anwendungsgebiete. Verfügbar unter: <https://www.iq-firewatch.com/de/anwendungsgebiete>. Zuletzt abgerufen: 24.10.2023
- [31] Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (2020): Rettungspunkte. Verfügbar unter: <https://kwf2020.kwf-online.de/rettungspunkte/>. Zuletzt abgerufen: 18.01.2024
- [32] Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Polizei Nordrhein-Westfalen Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen (2020): Empfehlungen für den Einsatz von Luftfahrzeugen der Landespolizei NRW bei der Vegetationsbrandüberwachung und –bekämpfung
- [33] Landesregierung Brandenburg (2023): Digitale Waldbrandschutzkarte. Verfügbar unter: <https://digitalesbb.de/2019/05/29/digitale-waldbrandschutzkarte/>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [34] Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2020): Reul dankt Polizei und Feuerwehr für die Bekämpfung von Waldbränden, Verfügbar unter: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/reul-dankt-polizei-und-feuerwehr-fuer-bekaempfung-von-waldbraenden>. Zuletzt abgerufen 22.12.2023

- [35] Landeszentrum Wald (2023): Waldbrandschutz in Sachsen-Anhalt. Waldbrandeinsatzkarten. Verfügbar unter: <https://landeszentrumwald.sachsen-anhalt.de/waldschutz/waldbrandschutz/waldbrandeinsatzkarten>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [36] Länderoffene Arbeitsgruppe „Nationaler Waldbrandschutz“ (2023): Zwischenbericht. Verfügbar unter: https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/2023-12-08-06/anlage-zu-top-62-Zwischenbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zuletzt abgerufen: 08.01.2024
- [37] Landtag Nordrhein-Westfalen (2022): Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 277 des Abgeordneten Dr. Werner Pfeil FDP Drucksache 18. /419. Drucksache 18/727. Verfügbar unter: <https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument/MMD18-727.pdf>
- [38] Lülff, M., Fathi, R. (2023): Soziale Medien in der Gefahrenabwehr, Kohlhammer Verlag, 1. Auflage 2023, Mühlheim an der Ruhr
- [39] Magirus (2023): Magirus Wolf R1 - Einsatzunterstützung neu gedacht, verfügbar unter: <https://www.magirusgroup.com/de/de/produkte/spezialfahrzeuge/wolf-r1/>, zuletzt abgerufen 22.12.2023
- [40] Manev, N., Temelkovski, B. , Serafimova, N., Achkoski, J. (2020): Novel approach for finding shortest route using dijkstra's algorithm and fuzzy logic in a wireless sensor network integrated in a forest fire detection system, June 2020, Vol. 19, No. 6, 1007-1016 <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/>; <http://www.eemj.eu>
- [41] Merz, Apel (2004): Risiken durch Naturgefahren in Deutschland - Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen (DFNK). Geoinformationszentrum Potsdam. Verfügbar unter: <http://www.bib.gfz-potsdam.de/pub/str0401/0401.pdf>. Zuletzt abgerufen: 31.10.2023
- [42] Ministerium des Inneren, für Digitalisierung und Kommunen Baden-Württemberg (2020): Polizei. Brandbekämpfung aus der Luft. Verfügbar unter: <https://im.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/brandbekaempfung-aus-der-luft/>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [43] Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2023): Waldbrandeinsatzkarte-Informationssystem. Verfügbar unter: <https://numis.niedersachsen.de/trefferanzeige.jsessionid=D79FAF0F9143BE7C0E9B364F79620A27?docuuid=2c5abe56-f2df-4bdf-aa31-8e992b3993d9>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [44] Nikitin, V., Golubin, S., Belov, R., Gusev, V., Andrianov, N. (2018): Development of a robotic vehicle complex for wildfire-fighting by means of fire-protection roll screens, in FORESTRY 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 226 (2019) 012003 verfügbar unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012003/pdf>, zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [45] Rode, M., Fürstenberg, K. (2023): Projektabschlussbericht CCFireSense, Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen
- [46] Rundfunk Berlin-Brandenburg (rbb24) (2023): Gipfeltreffen in Potsdam. Brandenburg bekommt Kompetenzzentrum gegen Waldbrände. Verfügbar

- unter: <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2023/01/brandenburg-waldbrand-gipfel-feuerwehr-woidke.html>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [47] Sahin, Y. G. (2007): Animals as Mobile Biological Sensors for Forest Fire Detection. *www.mdpi.org/sensors*, *Sensors* 2007, 7, 3084-3099
- [48] Staatliche Feuerweherschule Würzburg (o. J.): Waldbrandeinsatzkarten. In *Feuerwehr-Lernbar*. Verfügbar unter: <https://www.feuerwehr-lernbar.bayern/lexikon/w/waldbrandeinsatzkarten/>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2023
- [49] Schneider, Dirk (2017): Untersuchung von Methoden zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten
- [50] Schöttler, H. (2023): Geodaten – ein Instrument für Katastrophen-prävention in Waldbrandzeiten?. Verfügbar unter: <https://crisis-prevention.de/feuerwehr/2023-geodaten-ein-instrument-fuer-katastrophen-praevention-in-waldbrandzeiten.html#>. Zuletzt abgerufen: 02.01.2024
- [51] Stipaničev, D., Vuko, T., Krstinić, D., Štula, M., Bodrožić, L. (2006): Forest Fire Protection by Advanced Video Detection System - Croatian Experiences, Improvement of Disaster Management Systems - local and global trends. Trogir: RCADR Divulje, 2006. Verfügbar unter: <https://www.bib.irb.hr:8443/279548>. Zuletzt abgerufen: 30.10.2023
- [52] TH- Wildau (2022): Forschungsprojekt ALADIN unter Leitung der TH Wildau: Eine neue Möglichkeit für die Waldbrandbekämpfung, Verfügbar unter: <https://www.th-wildau.de/hochschule/aktuelles/neuigkeiten/news/forschungsprojekt-aladin-unter-leitung-der-th-wildau-eine-neue-moeglichkeit-fuer-die-waldbrandbekaempfung/>, zuletzt abgerufen: 21.12.2023
- [53] Utkin, A.B., Lavrov, U., Vilar, R. (2006): Laser rangefinder architecture as a cost-effective platform for lidar fire surveillance, Elsevier, *Optics & Laser Technology* 41 (2009) 862–870. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399209000322>. Zuletzt abgerufen: 30.10.2023
- [54] Vigily's (2015): Wildfire Detection, verfügbar unter: <https://vigilys.com/technology/firealert/>. Zuletzt abgerufen am 30.10.2023
- [55] Weinheimer Nachrichten Odenwälder Zeitung (2023): Bei großen Waldbränden hilft auch die Polizei, DiesbachMedien GmbH, Verfügbar unter: <https://www.wnoz.de/nachrichten/baden-wuerttemberg-und-hessen/polizei-fliegerstaffel-mit-bambi-bucket-zur-brandbekaempfung-219182.html>, zuletzt abgerufen; 21.12.2023
- [56] Yao, Q., Fang, K., Ou, T. et al. (2022): Reply to: Fire activity as measured by burned area reveals weak effects of ENSO in China. *Nat Commun* 13, 4317 (2022). Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32014-8>, zuletzt abgerufen: 18.12.2023