

Dr. Stephan Vogt
Brandreferendar
Institut der Feuerwehr Nordrhein-Westfalen, Münster

Vegetationsbrände in munitions- belasteten Bereichen

Facharbeit gemäß § 21 VAP2.2-Feu NRW

Münster, den 17.12.2019

Aufgabenstellung

Vegetationsbrände in munitionsbelasteten Bereichen

- Beschreiben und bewerten Sie die Situation sowie die sich daraus ergebenden Probleme für die Feuerwehren.
- Welchen Einfluss haben die örtlichen Gegebenheiten?
- Stellen Sie dar, wie im Rahmen von Prävention und Einsatztaktik auf diese Probleme reagiert werden kann.

Kurzzusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Konzept für den Umgang mit Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen vorgestellt. Da eine aktive Brandbekämpfung aufgrund der von explodierender Munition ausgehenden Gefahren nicht möglich ist, wurde zum Schutz der Einsatzkräfte besonderer Wert auf präventive Maßnahmen gelegt: Durch die Einrichtung von 300 Meter breiten Laubwaldriegelsystemen sollen Vegetationsbrände vom Brennstoff abgeschnitten und somit zum Verlöschen gebracht werden. Da die Etablierung von Laubwaldriegelsystemen auf den entsprechenden Flächen in der Regel eine vollständige Beräumung des Bodens von Munition erfordert, wurde ein rechteckiges, 2 km mal 4 km großes „Butterkeks-System“ entworfen. Dieses ermöglicht durch eine kleinteilige Parzellierung entlang der Kanten die Ansiedlung von Laubbäumen mittels Samenkugeln, ohne die Flächen betreten zu müssen. Der Bedarf zur Kampfmittelberäumung sinkt dabei, je nachdem ob Synergieeffekte der Überlagerung mehrerer „Butterkeks-Systeme“ ausgenutzt werden, auf drei bis fünf Prozent der zu schützenden Fläche.

Trotz Minimierung der von Munition zu beräumenden Flächen würde die Umsetzung des Ansatzes immer noch eine erhebliche Zeit benötigen. Daher wird die Einrichtung eines Geoinformationssystems (GIS) vorgeschlagen, das zur Identifizierung der am stärksten von Vegetationsbränden bedrohten Gebiete dienen und durch logisch-datenbasierte Priorisierung eine Umsetzungsreihenfolge festlegen soll. Im GIS sollen neben meteorologischen und forstspezifischen Datensätzen unter anderem auch die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Personen hinterlegt werden, um dem hohen Anteil der durch anthropogene Einwirkung entstandenen Vegetationsbrände in der Risikobewertung Rechnung zu tragen. Die hierzu notwendigen Bewegungsmuster von Personen, aber auch die Früherkennung von Bränden, sollen durch Überwachungsflüge mit Starrflügel-Drohnen und automatisierte Auswertung von dabei aufgezeichneten Infrarotsignaturen ermittelt werden.

Selbst im günstigsten Fall werden die Bäume auf den betroffenen Flächen mindestens ein Jahrzehnt benötigen, bis sie die notwendige Größe zur sicheren Eindämmung von Vegetationsbränden erreicht haben. Daher sollen bei geeigneten Witterungsbedingungen präventive Landschaftspflegebrände in den kleinteiligen Parzellen gelegt werden, mit denen die Brandlast auf den betroffenen Flächen, und damit auch die Intensität möglicher unkontrollierter Vegetationsbrände, minimiert werden. Durch erdgebundene Löschdrohnen und Düsensschläuche soll eine sichere Eingrenzung der Landschaftspflegebrände innerhalb der jeweiligen Parzellen gewährleistet werden. Das dafür notwendige Löschwasser soll, falls keine ausreichend leistungsfähigen Wasserentnahmestellen in der Umgebung verfügbar sind, aus Wasserlagersäcken mit mehreren hundert Kubikmetern Volumen entnommen werden, die an vorbereiteten Stellen im Wald aufgestellt und aus großen Wasserzwischenlagern befüllt werden. Diese sollen wiederum Wasser aus großvolumigen Transportmitteln wie z.B. ausrangierten Eisenbahnkesselwaggons beziehen. Die Wasserförderung zwischen Wasserlagerstellen und Einsatzstelle soll mit leistungsstarken Pumpensystemen erfolgen.

Die Anschaffungskosten für notwendiges feuerwehrtechnisches Material werden auf 2,2 Millionen Euro, die jährlichen Personalkosten auf 700.000 Euro geschätzt.

Abstract

This manuscript presents a concept for handling wildland fires in areas contaminated by unexploded ordnances (UXOs). Due to the specific dangers originating from UXOs heated by fire, mainly preventive measures such as establishment of broadleaf forest bars will be discussed as they allow cutting wildland fires from fuels without conducting direct attacks by fire fighters. Since planting trees in UXO contaminated areas usually requires clearing up all explosives in the corresponding range, a special system was designed that divides the sites of interest in sufficiently small parcels of land and thus, allows planting trees by bare throwing of seed balls. Consequently, it is not necessary to enter the UXO contaminated sites and in addition, the areas requiring clearance by the explosive ordnance disposal unit can be limited to three to five percent (depending on whether synergy effects can be used or not) of the overall UXO contaminated area.

However, the explosive ordnance disposal unit will nevertheless be busy for years and thus, a geographic information system (GIS) is proposed to allow risk assessment and consecutive prioritization, *i.e.* to decide which sites have to be protected first. Besides meteorological and silvicultural data sets, also other parameters such as the probability of presence of people in the forest shall be recorded and analyzed, as it may provide a measure for the probability of anthropogenically induced wildland fires. For this purpose, fixed-wing unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with infrared sensors are proposed as extensive, automated surveillance of people's presence in the forest and early-stage detection of wildland fires as well.

Despite careful prioritization and fastest possible implementation of the silvicultural measures, the broadleaf forest bars will require at least a decade to grow to a level that provides sufficient resistance against wildland fires. Therefore, the individual parcels of land will be subjected to preventive burning in order to reduce the fuel load in these sites and consequently minimize the intensity of possibly occurring, uncontrolled wildland fires. Unmanned ground vehicles (UGVs) as well as specialized fire hoses setting water walls will be used to reliably isolate the fire within the desired parceled sites. As these measures will require large amounts of water, special water bags containing hundreds of cubic meters of water are preventively deployed at certain positions in the forest, being filled from larger water storage sites located *e.g.* near railroad tracks. These water storage sites in turn are intended to be filled by supplying water by discarded tank lorries. Transfer of water from storage sites to the incident scene should be realized by powerful pump systems.

The overall cost for firefighting equipment is estimated to be approx. 2.2 million euros; the salary for the required staff is estimated to be annually about 700,000 euros.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Beschreibung der Situation	2
2.1	Ursachen für Vegetationsbrände	2
2.2	Arten von Vegetationsbränden	2
2.3	Klassische Taktiken zur Bekämpfung von Vegetationsbränden	3
2.4	Kontrollierte Brände zur Landschaftspflege und Vorfeuer.....	4
2.5	Vegetationsbrandbekämpfung aus der Luft	5
2.6	Die Operation verbundener Kräfte	6
2.7	Die besonderen Gefahren durch Munitionsbelastung	6
2.8	Bewertung der Gesetzeslage.....	7
2.9	Prognosen für die Zukunft.....	7
3	Analyse der Problemstellung	8
3.1	Die angenommene Ausgangslage	8
3.2	Problemaufriss	8
3.3	Herleitung des Problemlösungsansatzes	9
3.4	Konsequenzen für die zu wählende Einsatztaktik.....	11
4	Maßnahmen zur Umsetzung des Ansatzes	12
4.1	Einrichtung eines Geoinformationssystems	12
4.2	Der Einsatz von Drohnentechnik zur Waldbrandfrüherkennung	12
4.3	Waldbauliche Präventionsmaßnahmen	13
4.4	Präventive Brände zur Landschaftspflege	16
4.5	Drohnentechnik zur Brandbekämpfung.....	17
4.6	Löschwasserversorgung	19
4.7	Einsatz des Systems bei unkontrollierten Bränden	20
4.8	Kosten.....	20
5	Ausblick	22
	Literaturverzeichnis	23
	Symbolverzeichnis	31
	Abbildungsverzeichnis.....	32
	Anhang	33
	Eidesstattliche Erklärung	35
	Datenträger	36

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich Vegetationsbrände zu einem von der Öffentlichkeit besonders beachteten Thema entwickelt, das auch in der Feuerwehrfachpresse ausführlich diskutiert wurde.^{1–9} Dies begründet sich vor allem durch die extremen Waldbrandereignisse, die es hierzulande insbesondere in den Jahren 2018 und 2019 zu verzeichnen gab: die Waldbrandstatistiken der Jahre 2013 bis 2018 der *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung* hielten für den Zeitraum 2013 bis 2017 in Deutschland zwischen 120 und 525 Hektar verbrannten Waldes pro Jahr fest (restliche Vegetationen nicht einberechnet), für das Jahr 2018 verzeichnet die Statistik jedoch mehr als 2300 Hektar Abbrandfläche.^{10–15} Obwohl für das Jahr 2019 noch keine Zahlen vorliegen, geht man alleine für den Brand in Lübtheen (Mecklenburg-Vorpommern) von fast 1000 Hektar verbrannten Waldes aus,¹⁶ sodass auch in diesem Jahr überdurchschnittlich viel Waldfläche dem Feuer zum Opfer gefallen sein dürfte.

Ein wesentlicher Grund für den starken Anstieg der Brandflächen in der Waldbrandstatistik wird in den veränderten klimatischen Bedingungen aber insbesondere auch in der Munitionsbelastung ausgemacht: Das Jahr 2018 sowie die Monate bis zur Jahresmitte 2019 waren deutlich zu warm und zu trocken,^{9,17,18} zusätzlich sammelte sich in vielen Wäldern aufgrund der Winter- und Frühjahrsstürme 2018 und 2019 vermehrt Windwurf in den Wäldern an.^{19–23} Neben vertrockneter Bodenvegetation, die besonders auf lockeren und wasserarmen Böden zu finden ist, stellen Windwurf bzw. ungeräumte Forstabfälle aus dessen Aufarbeitung ein wichtiges Initialbrandgut für Bodenbrände dar.^{18,24,25} Diese Erhöhung der Brandlast begünstigt die Ausbreitung von Vegetationsbränden massiv und kann Bodenbrände durch Ausbreitung über z.B. hängende Totbäume schnell zu großen Feuern aufwachsen lassen.^{24,26,27} Weiter verschärft wird die Lage durch Schädlinge wie z.B. den Borkenkäfer, der stehende Bäume absterben und vertrocknen lässt und somit die Ausbreitungswahrscheinlichkeit zum Vollbrand deutlich erhöht.⁵ Aber auch junge Nadelbäume mit bodennahem Astwerk, also vor allem Wälder mit weniger als 40 Jahren Bestandsalter, bieten den Flammen Angriffsfläche zum Aufwachsen in die Baumkrone, wohingegen Laubbäume die Ausbreitung des Brandes verlangsamen oder sogar stoppen können.^{5,25,28,29}

Besonders prekär wird die Lage, wenn sich Vegetationsbrände auf munitionsbelasteten Flächen ausbreiten: die entstehende Wärmeentwicklung kann bodennah liegende Munition zur Detonation bringen und damit für Menschen im Umkreis eine akute Lebensgefahr darstellen.^{1,30,31} Da die Reichweiten der klassischen Brandbekämpfungsmaßnahmen im Vergleich zum Radius des um die detonierende Munition entstehenden Gefahrenbereiches sehr klein sind, schließen sich aktive Brandbekämpfungsmaßnahmen quasi aus.^{1,32} Die Folge ist die ungestörte Ausbreitung des Vegetationsbrandes, welche nicht nur die Entstehung großflächiger Feuer bedeutet, sondern ggf. auch die Entwicklung sehr intensiver und schwer zu bekämpfender Brände.

Speziell hinsichtlich der sich ändernden klimatischen Bedingungen^{17,33} und des großen Anteils von munitionsbelasteten Flächen in Deutschland ist es daher von großer Bedeutung ein tragfähiges Konzept für den Umgang mit Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen zu entwickeln. Die vorliegende Arbeit soll dazu unter Beleuchtung von Prävention und Taktik ihren bescheidenen Beitrag leisten.

2 Beschreibung der Situation

2.1 Ursachen für Vegetationsbrände

In der Fachliteratur wird seit langem und mit großer Einigkeit unter den Autoren davon ausgegangen, dass der allergrößte Teil der Vegetationsbrände, d.h. konkret mindestens neun von zehn, direkt oder indirekt vom Menschen verursacht werden.^{2,5,6,34} Der Anteil der nachgewiesenen Brandstiftungen nimmt mit ca. 13% zwar keinen prominenten Platz bei den Brandursachen ein,² wobei jedoch mit einem größeren Anteil zu rechnen ist, wenn man die unentdeckt gebliebenen Brandstiftungen hinzuzieht. Weitere anthropogene Brandentstehungsursachen sind beispielsweise heiße Abgasanlagen von Fahrzeugen, unbeaufsichtigte oder außer Kontrolle geratene Nutzfeuer und unachtsam weggeworfene Zigarettenkippen.^{2,27,29}

2.2 Arten von Vegetationsbränden

Das Erscheinungsbild von Vegetationsbränden kann sich abhängig von der lokalen Topografie, den Windverhältnissen und besonders der Vegetationsbeschaffenheit sehr stark unterscheiden. Eine grobe Einordnung der Eigenschaften eines Vegetationsbrandes ist anhand der folgenden Kategorien möglich:³⁵

- Als **Bodenfeuer** bezeichnet man den Brand von bodennaher Vegetation und lebloser Biomasse, also beispielsweise Reisig, Totholz oder ähnlichem Brandgut. Bodenfeuer sind die am häufigsten vorkommenden Vegetationsbrände, wobei sie sich unter gewissen Bedingungen schnell zu Vollfeuern (s.u.) entwickeln können.^{26,35,36} Die Flammenlängen von Bodenfeuern sind meist kleiner als ein Meter, können sich aber je nach Umgebungsbedingungen auf bis zu drei Meter aufwachsen.²⁶
- Eine speziellere Variante der Bodenfeuer sind die **Graslandfeuer**, bei denen ausschließlich Gräser, Getreidehalme oder -stoppeln brennen. Diese Brennstoffe sind zwar leicht zu entzünden und sorgen daher für eine hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit, können aber durch die geringe Brandlast auch nur kurze Zeit brennen und mit geringem Aufwand gelöscht werden.²⁶
- Das **Kronenfeuer** (auch **Wipfelfeuer** genannt) ist die Bezeichnung für den isolierten Brand von Baumkronen ohne ein Bodenfeuer als Stützfeuer. Ganz ohne ein Stützfeuer können Kronenfeuer nur für kurze Zeit existieren,^{35,36} jedoch kann ein aktives bzw. passives Kronenfeuer dem Bodenfeuer sehr wohl vorweg- oder hinterherlaufen: für Deutschland sind allerdings nur passive Kronenfeuer als stabil bekannt.³⁶
- Unter dem Begriff **Vollfeuer** versteht man eine Kombination aus Boden- und Kronenfeuer, also den Vollbrand eines Waldes, wodurch eine besonders starke Thermik entsteht, die daraus resultierende Flugfeuer bis zu 300 Meter weit tragen kann.^{28,35} Die Flammenlänge von Vollfeuern kann mehrere Dutzend Meter betragen.^{26,36} Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 50% aller größeren Waldbrände in Deutschland das Potential zur Entwicklung eines Vollfeuers hätten.³⁶
- **Erdfeuer**, also das unterirdische Verbrennen entzündlicher Bestandteile im Boden, sind sehr selten und zeichnen sich durch ihre hohe Beständigkeit gegen

Löschmaßnahmen aus.³⁵ Anfällig für Erdfeuer sind vor allem Moor- und Heidelandschaften.

Je nach Art des Vegetationsbrandes liegen die typischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten bei wenigen Metern pro Stunde für Erdfeuer und bei 15 bis maximal 250 Metern pro Minute für Boden-, Kronen- und Vollfeuer^{26–28,35–37} (wobei die meisten Literaturstellen sich auf 15 Meter pro Minute festlegen^{26,28,36}). Selbstverständlich sind Variationen dieser Geschwindigkeiten durch die Art und den Trocknungsgrad des Brandgutes sowie dessen Durchlüftungsrate möglich, sodass Graslandfeuer als Extrembeispiel bis zu 300 Meter pro Minute zurücklegen können.²⁶ Abgesehen vom Erdfeuer wird die Ausbreitungsrichtung von Vegetationsbränden hauptsächlich durch die Windrichtung und die Topographie bestimmt:^{26,27,35,36} die Ausbreitungsrichtung folgt dem Wind und im Gelände frisst sich das Feuer stets hangaufwärts, wobei als Faustformel eine Vervielfachung der Ausbreitungsgeschwindigkeit für 20° Steigung angenommen werden kann.³⁶ Eine Brandausbreitung in tiefer gelegene Gebiete ist vor allem aufgrund von herabrollendem Brandgut anzunehmen.³⁵ Eine sprunghafte Ausbreitung von Vegetationsbränden kann durch Flugfeuer erfolgen, die noch in ca. 300 Meter Entfernung Vegetation entzünden können.²⁸ Diese Sekundärbrände lassen sich sehr effizient mit Handlöschgeräten bekämpfen, solange sie sich noch nicht zu größeren Bränden vereinigt haben.²⁸

2.3 Klassische Taktiken zur Bekämpfung von Vegetationsbränden

Sobald Vegetationsbrände eine größere Fläche einnehmen und somit ein zeitnahes Löschen des Brandes nicht gewährleistet werden kann, sieht die klassische Taktik zur Brandbekämpfung das Abschneiden des Feuers von neuem Brennstoff vor.^{26,27,35,38}

Dies kann durch offensive Taktiken erreicht werden, bei denen ein nur wenige Meter breiter Streifen am Rand des Feuers abgelöscht wird und somit aufgrund der hohen Wiederentzündungsschwelle des bereits verkohlten Materials eine weitere Brandausbreitung unterbunden werden kann.^{26,38} Dazu umrunden Kräfte mit einem Löschfahrzeug die Einsatzstelle und Löschen je nach Flammenlänge mit D- oder C-Rohren, ggf. unterstützt durch den Einsatz von Handwerkzeugen wie z.B. Feuerpatschen, den Flammensaum ab.^{26,38} Diese Taktik zeichnet sich durch den relativ geringen Löschmittelbedarf und die hohe Verfügbarkeit an geeignetem Material in den deutschen Feuerwehren aus, eignet sich jedoch nur für Bodenfeuer mit maximal fahrzeughohen Flammenlängen und ausreichend erschlossenes Gelände.²⁶ Die offensive Brandbekämpfung von Vollfeuern wird in der Literatur kritisch diskutiert: auf Basis einer empirischen Auswertung von einigen Dutzend Waldbränden der 50er-, 60er- und 70er-Jahre wird das frontale Bekämpfen des Bodenfeuers in einem Vollfeuer als sehr effektiv empfohlen,^{28,36} während andere Quellen strikt davon abraten und stattdessen defensive Brandbekämpfungsstrategien empfehlen.²⁶ Unabhängig vom verwendeten taktischen Ansatz erfordern alle offensiven Maßnahmen eine Befahrbarkeit des Geländes mit den vorhandenen Feuerwehrfahrzeugen, feuerwehrtechnisches Gerät sowie ausreichend dicht ausgeführte Wegenetze und eine ausreichende Löschwasserversorgung.

Defensive Taktiken zur Vegetationsbrandbekämpfung zielen ebenfalls auf das Abschneiden des Feuers von neuem Brennstoff ab, bewerkstelligen dies aber durch die

Anlage von Brandriegeln, auf denen entweder gar kein oder nur mit hohem Energieaufwand zu entzündender Brennstoff vorhanden ist.^{25,26,28,35,36} Dazu werden beispielsweise unter Zuhilfenahme von Handwerkzeugen oder schwerem maschinellen Gerät Wundstreifen angelegt, mit denen auf einer Breite von wenigen Metern bis hin zu mehr als einhundert Metern der Brennstoff entfernt bzw. unter die Erde gepflügt wird.^{26,35} Die notwendige Breite dieser Wundstreifen und damit auch der mit der Anlage verbundene Aufwand hängt maßgeblich von der Art des erwarteten Vegetationsbrandes ab: während für Boden- und Graslandfeuer schon wenige Meter breite Wundstreifen sehr effektiv sind, müssten mehrere Hundert Meter breite Streifen angelegt werden, wenn im Falle von z.B. Kronen- oder Vollfeuern mit Flugfeuern gerechnet wird.^{26,28,35} Ein waldbauliches Analogon von Wundstreifen sind Laubwaldriegel, also Schonungen von Bäumen, die sich nur schwerlich entzünden lassen und auch den Wuchs von leicht entzündlicher Bodenvegetation bzw. die Ansammlung von trockenen Nadeln und Totholz unterdrücken.^{28,39} Dieser Effekt ergibt sich oftmals aus der erhöhten Bodenfeuchtigkeit, die viele Laubbäume aufgrund ihrer Wasserspeicherkapazität sowie der geringen Durchlässigkeit für Sonneneinstrahlung ermöglichen.³⁹ Für Laubwaldriegel eignen sich vor allem Robinie, Birke, Hainbuche, Spitzahorn, Linde und Lärchen,^{28,39} wobei Birken als Pionierbaumart fungieren und damit karge Böden für andere Baumarten urbar machen können.^{39,40} Waldbauliche Maßnahmen werden bevorzugt als Mittel der passiven Brandbekämpfung bzw. zur Ausbreitungsverhinderung eingesetzt, wenn es sich um besonders ausgedehnte, intensive oder in schlecht bzw. aufgrund von Munitionsbelastung gar nicht zugänglichem Gebiet befindliche Brände handelt.⁵ Dabei muss jedoch beachtet werden, dass Laubwaldriegel in den ersten Jahren des Wachstums von Bränden überrollt werden können.

2.4 Kontrollierte Brände zur Landschaftspflege und Vorfeuer

Solange die Laubwaldriegel nicht ihre volle Wirkung entfalten, besteht eine ausgeprägte Schwachstelle in der passiven Brandbekämpfungsstrategie: Durch von Brandlast befreite Wege lassen sich zwar Bodenfeuer mit großer Wahrscheinlichkeit aufhalten, Vollfeuer jedoch keineswegs.^{26,41} Da Vollfeuer wiederum ohne Bodenfeuer nicht stabil sind, kann ihr Kollaps erreicht werden, indem die Bodenfeuer durch teilweise Entfernung der brennbaren Vegetation in Kombination mit gezielten Löschangriffen schnell gelöscht werden. Durch kontrolliertes Abbrennen von vertrockneter Bodenvegetation kann daher die Brandlast soweit abgesenkt werden, dass heranrollende Brände zumindest in den ersten Jahren nach Aussaat der Bäume innerhalb der geplanten Laubwaldriegel zum Stehen gebracht werden können.

Die Anwendung des kontrollierten Abbrennens, präventiv wie auch im akuten Einsatz, hat sich vielfach in Südeuropa und den USA,^{25–27,36} aber auch beispielsweise beim Brand kampfmittelbelasteter Flächen in Schweden 2018⁴² bewährt. Das Verfahren wird abseits von Akutmaßnahmen und in unkritischen Wetterlagen als Element der Landschaftspflege verwendet,^{25,43} wobei besonders für deutsche Kiefernwälder der Winter als optimale Jahreszeit für kontrollierte Brände berichtet wurde.⁴⁴ Es werden durch Ausbringen eines Benzin-/Dieselgemischs Brände in Form von Feuerinseln oder -streifen entgegen der Windrichtung entzündet, sodass sie vom Wind in eine vorbereitete Verteidigungsstellung getrieben werden.^{26,43} Durch die Anzahl und Form der entzündeten Initialfeuer lassen sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie die maximale

gleichzeitige brennende Fläche einstellen.²⁶ Feuer können daher gezielt in einer Dimension angelegt werden, die eine Löscharbeit zu jedem Zeitpunkt ermöglicht: hier müssen speziell Art, Umfang und Trocknungsgrad der Bodenvegetation, die aktuellen Wetterverhältnisse sowie die zur einschreitenden Brandbekämpfung bereitstehenden Ressourcen berücksichtigt werden.⁴³ Daher erfordert das kontrollierte Abbrennen von Vegetation auch viel Erfahrung, sodass die hierfür im europäischen Ausland beschäftigten Kräfte meist hauptamtliche, speziell ausgebildete Waldbrandbekämpfer sind.⁴³ Obwohl kontrolliertes Abbrennen in vielen Ländern als wichtiges Element der Waldbrandprävention bewertet wird, bestehen in Deutschland vielfältige Bedenken gegenüber dieser Methode.^{43–45} Oftmals unterbleibt daher präventives Abbrennen der Flächen⁴⁴ oder die Brandflächen werden als Kompromiss mit Naturschutzverbänden kleiner als einen Hektar gehalten.⁴¹

Als Vorfeuer bezeichnet man die Verbreiterung eines vorhandenen Wundstreifens oder anders gestalteten Haltelinie durch gezieltes Abrennen der Vegetation.²⁶ In vielen Literaturstellen erfolgt oftmals eine missverständliche Verwendung der Begriffe Vorfeuer und Gegenfeuer: Gegenfeuer werden bei großen Bränden gelegt, um durch den thermikbedingten Luftzug zum Hauptfeuer hingezogen zu werden und diesem den Luftsauerstoff zu entziehen.²⁶

2.5 Vegetationsbrandbekämpfung aus der Luft

Speziell im Nachgang zu oben genannten, komplexen Waldbrandereignissen in 2018 und 2019 wurde in der Öffentlichkeit zuletzt intensiv über eine Brandbekämpfung aus der Luft und die Notwendigkeit zur Anschaffung entsprechender Luftfahrzeuge diskutiert.^{46–48} Dem stehen die eher kritischen Meinungen vieler Experten und Gremien aus der Feuerwehr entgegen.^{24,26,27,29,49} Sie begrüßen zwar den Einsatz von Hubschraubern zum gezielten Abwurf von Löschwasser oder zum Löschwassertransport in schwer erreichbare Gebiete, geben aber zu bedenken, dass dazu seitens der Feuerwehr Flughelferausbildungen, die Einrichtung eines Flugsicherheitsleitdienstes, die Bereitstellung geeigneter Wasserentnahmestellen und „Wasserabwurfleitoffiziere“ notwendig sind.^{24,26,27,29,35,49} Ferner müssen die Piloten das Fliegen mit pendelnder Außenlast und den zielgenauen Abwurf des Wassers trainiert haben, um sich sicher in der Einsatzstelle bewegen zu können.²⁷ Die Wasserabwürfe durch Flugzeuge werden aufgrund der eingeschränkten Zielgenauigkeit, der Eigengefährdung der Kräfte am Boden durch herabstürzende Wassermassen und den geringen Abwurffrequenzen von den Experten als nicht zielführend betrachtet.^{24,27,29}

Unabhängig vom Luftfahrzeugtyp sind die Betriebskosten, die sich durchaus im fünfstelligen Bereich pro Flugstunde bewegen können, im Vergleich zum effektiven Nutzen sehr hoch und die landesspezifischen Regelungen für die Kostenübernahme der Einsätze häufig undeutlich definiert, sodass für die anfordernde Gebietskörperschaft ein beträchtliches finanzielles Risiko im Raum steht.²⁷ Die Vorlaufzeit von (mindestens) mehreren Stunden erschwert die frühzeitige Einbindung von Wasserabwürfen in die Brandbekämpfungsstrategie zusätzlich.²⁷

Die Lageerkundung und Koordinierung der bodengebundenen Kräfte aus der Luft, ob nun mit Hubschraubern oder Drohnen, betrachten die Experten einhellig als einen

wichtigen Baustein einer Vegetationsbrandbekämpfung.^{26,27,29} Umfassende Informationen über die Ausdehnung, die Ausbreitungsrichtung und -geschwindigkeit sind aus der Luft schnell zu erfassen und können speziell im Falle von Drohnen jederzeit von der Feuerwehr selbst eingeholt werden, ohne auf ein Luftfahrzeug von fremden Organisationen angewiesen zu sein.^{50,51}

2.6 Die Operation verbundener Kräfte

Herr Dr. Ulrich Cimolino stellt in seiner Dissertation eindrücklich dar, wie eng die oben vorgestellten feuerwehrtechnischen und -taktischen Maßnahmen untereinander sowie mit dem Wirken organisationsfremder Hilfskräfte, wie z.B. Förstern, Waldbauern oder Meteorologen, verzahnt werden müssen, um eine effiziente Vegetationsbrandbekämpfung zu gewährleisten.²⁷ Besonders Feuerwehren in Nordostdeutschland haben diese Verzahnung in der Vergangenheit häufig trainieren und perfektionieren können,⁵ und doch kam es in den Jahren 2018 und 2019 zu schwer unter Kontrolle zu bringenden Waldbränden in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern.^{52,53} Das Land Brandenburg hatte 2018 beispielsweise mit ca. 71% aller Brandflächen den weitaus größten Anteil in der Bundesrepublik¹⁵ und begründet dies im Bericht zu den betreffenden Einsätzen mit der hohen Waldbrandgefährdung, die das Land aufgrund der trockenen Sandböden und ausgedehnten Kiefernwälder habe und welche durch vorhergehende Winterstürme bzw. deren Windwurf noch zusätzlich verstärkt worden sei.¹⁸ Besonders zu berücksichtigen sei laut Bericht aber auch, dass knapp ein Drittel der brandenburgischen Waldflächen mit Kampfmitteln belastet seien, was die aktive Brandbekämpfung erheblich erschwere.¹⁸

2.7 Die besonderen Gefahren durch Munitionsbelastung

Tatsächlich stellen spontane Umsetzungen von Munition eine beträchtliche Gefahr für die vorgehenden Einsatzkräfte dar, da die Explosion von beispielsweise einer Artilleriegranate durch Splitterbildung noch in bis zu 300 Metern lebensgefährliche Verletzungen nach sich ziehen kann.⁵⁴ Die Verteilungsdichte der z.B. in brandenburgischen Wäldern liegenden Restkampfmittel kann anhand der Schätzungen des *United Nations Mine Action Service* (UNMAS) erahnt werden: die Organisation geht davon aus, dass bis zu 30% aller abgefeuerten Explosivgeschosse nicht beim Aufschlag detonieren.³⁰ Somit sind in der Bundesrepublik Deutschland neben den ehemaligen Truppenübungsplätzen, auch von Alliierten, sowie die Schlachtfelder des Zweiten Weltkriegs als erheblich munitionsbelastet einzustufen. Da die dort aufzufindende Munition trotz der enormen Liegedauer bereits durch Tritterschütterungen, kleine Stöße oder auch durch die Wärmebelastung eines Feuers gezündet werden können,³⁰ sind aktive Brandbekämpfungsmaßnahmen und viele präventive, waldbauliche Arbeiten im betroffenen Gebiet als lebensgefährlich zu bewerten.^{27,32} Die zur Abstellung dieser Gefahr notwendige Beseitigung der Munition muss durch geschultes Personal erfolgen und ist zeit- und kostenaufwendig:^{18,54} Je nach Art und der Konzentration von Munition können spezielle Erdabtrage- und -siebverfahren notwendig werden, die durchaus Kosten in der Größenordnung von rund einer halben Million Euro pro Hektar verursachen können.³¹ Mittelfristig ist also eine flächendeckende, professionelle Kampfmittelberäumung der betroffenen Flächen nicht wahrscheinlich. Auch sind weder die thermi-

sche Belastung durch Brände noch die Provokation mechanisch ausgelöster Zündungen (durch z.B. weidende Viehherden oder technische Lösungen) nach Erfahrungen der UNMAS ausreichend sichere Kampfmittelbeseitigungsstrategien, um eine nachfolgende gefahrlose Betretung des Gebietes zu ermöglichen.³⁰ Vegetationsbrände in munitionsbelasteten Bereichen stellen also besondere feuerwehrtechnische wie -taktische Herausforderungen für die Einsatzkräfte dar, da die klassischen Konzepte der Vegetationsbrandbekämpfung nur begrenzt anwendbar sind.

2.8 Bewertung der Gesetzeslage

In den meisten Forstgesetzen der Bundesländer steht Waldbrandprävention als Pflichtaufgabe der Forstämter festgeschrieben, die zur Umsetzung auch Maßnahmen in Wäldern in privatem oder körperschaftlichem Besitz anordnen können, wobei den Eigentümern dabei eine Entschädigung zusteht.^{55–62} Da diese Entschädigungen jedoch oftmals kaum an die real entstehenden Ertragsausfälle heranreichen,⁶³ sind in vielen Fällen Widersprüche gegen die erlassenen Verwaltungsakte und somit langwierige Rechtsstreitigkeiten zu befürchten. Besonders in kleinteilig parzellierten Wäldern mit vielen Privateigentümern kann die angeordnete Durchführung waldbaulicher Präventionsmaßnahmen zum Waldbrandschutz somit sehr langwierig werden.

Anders stellt sich die Lage auf munitionsbelasteten Flächen dar: hier ist aufgrund der Unbetretbarkeit der Fläche auch keine Forstwirtschaft möglich, sodass keine Erträge aus diesen Wäldern zu erwarten sind. Gleichzeitig können aber ohne Kampfmittelberäumung auch keine waldbaulichen Maßnahmen durchgeführt werden.^{30,31,64} Folglich müssen die Grundstückseigentümer, in deren Zuständigkeit die Kampfmittelsondierung und -beräumung als Zustandsstörer in vielen Bundesländern liegt,^{64,65} mindestens die Ausgaben für die Kampfmittelsondierung tragen^{65–67} und würden ggf. durch Anwendung der Gebührensatzungen der Kampfmittelbeseitigungsdienste zusätzlich an den Räumungskosten beteiligt. Die finanziellen Aufwendungen würden viele Inhaber kleiner wie großer Waldstücke gleichermaßen hart treffen und so würde auch hier die Anordnung zur Durchführung von waldbaulichen Maßnahmen vermutlich in vielen Fällen aufgrund von Widersprüchen juristisch geklärt werden müssen.

2.9 Prognosen für die Zukunft

Vor dem Hintergrund von Studien zum Klimawandel, die für Deutschland längere und trockenere Sommer sowie stärker auf Unwetter konzentrierte Niederschläge vorhersagen,³³ sind häufiger und gleichzeitig intensiver ausfallende Vegetationsbrände zu erwarten. In den letzten Jahren wurde diesen Bränden mit massiven Kräfteaufgeboten^{42,52,53} begegnet, was im Hinblick auf die Dauer des Fernbleibens vom Arbeitsplatz der größtenteils ehrenamtlichen Kräfte zukünftig problematisch werden kann. Es ergibt sich daher die dringliche Notwendigkeit eine Strategie zum Umgang mit Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen zu finden – diese Arbeit soll im Rahmen ihrer Möglichkeiten einen Beitrag dazu leisten, erhebt aber keineswegs den Anspruch eine endgültige Lösung des Problems darstellen zu können: dafür sind neben den feuerwehrtechnischen Aspekten zu viele weitere Interessen aus Kampfmittelräumung, Natur- und Landschaftsschutz, Forstwirtschaft, Emissionsschutz und nicht zuletzt auch finanzielle Aspekte zu berücksichtigen.

3 Analyse der Problemstellung

3.1 Die angenommene Ausgangslage

Diese Arbeit wird sich auf die extremen Gegebenheiten konzentrieren, wie sie z.B. in den Waldbrandrisikogebieten Nordostdeutschlands zu finden sind: Als Ausgangslage werden somit große, gleichmäßig bewachsene Wälder in Kiefernmonokultur angenommen, die von einzelnen Wegen durchzogen und auf ganzer Fläche mit Munition belastet sind. Passend dazu werden die Böden als sandig-trocken und mit leicht entzündlicher Bodenvegetation betrachtet. In diesem Szenario sind Bodenfeuer die Regel, Vollfeuer aber auch durchaus möglich und daher in der Planung zu berücksichtigen. Durch die Annahme der Abwesenheit jeglicher die Waldbrandbekämpfung unterstützender Gegebenheiten wird ein Extremfall dargestellt, der es erlauben soll, die dieser Arbeit zugrundeliegenden Gedankengänge in möglichst guter Klarheit darzustellen. Der Autor empfiehlt dennoch ausdrücklich, dass alle örtlichen, die Brandausbreitung begrenzenden Faktoren von Beginn an in die Planungen der örtlichen Forstämter und Brandschutzdienststellen einbezogen werden.

Inwiefern die Ergebnisse dieser Arbeit auf andere wald- und flächenbrandgefährdete Gebiete mit Munitionsbelastung in Deutschland angewandt werden können, sollte in Abstimmung mit Experten der lokalen Forstbehörden erörtert werden, um der individuellen örtlichen Klima-, Boden- und Vegetationsbeschaffenheit Rechnung zu tragen.

3.2 Problemaufriss

Mindestens 90% der Vegetationsbrände in Deutschland werden durch Vorsatz oder Fahrlässigkeit verursacht^{5,6} und können, wenn sie außer Kontrolle geraten, ganze Landstriche bedrohen und die in ihnen enthaltenen Dörfer sowie Ökosysteme vom Feuer schwer schädigen oder gar vernichten. Die dabei entstehende Rauchfahne kann Menschen im näheren Umkreis und teilweise sogar noch in weit entfernten Städten beeinträchtigen.^{52,68,69} Sofern die Abbrandflächen zudem munitionsbelastet sind, besteht durch z.B. thermische Umsetzung der vor Ort befindlichen Sprengkörper akute Lebensgefahr für Menschen im Einwirkungsbereich der Geschossfragmente und Schrapnelle.^{30–32,54}

Aber auch ohne Brandereignis macht die Vielfalt der im Zweiten Weltkrieg und in jüngerer Zeit verschossenen Munition die Reaktion der Kampfmittel auf Erschütterung, Wärme oder Druck nicht vorhersehbar.³¹ Es muss daher grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass munitionsbelastete Flächen vom Laien weder für Inspektionen noch für Forst- oder Baumaßnahmen gefahrlos betreten werden können.^{30,31,54} Eine flächendeckende Kampfmittelberäumung ist aufgrund des personellen wie finanziellen Aufwands in den kommenden Jahren nicht abzusehen.³¹

Viele der in Deutschland besonders von Waldbränden bedrohten und zusätzlich munitionsbelasteten Flächen liegen im Nordosten der Bundesrepublik und zeichnen sich durch trockene, sandige Böden aus, die vorwiegend durch Kiefermonokulturen be-

wachsen sind.⁵ Diese Wälder begünstigen den Wuchs von schnell vertrocknender Bodenvegetation und sind wenig widerstandsfähig gegen Stürme, sodass Windwurf und trockene Vegetation leicht entzündliche, kritische Brandlasten sein können.^{5,36}

3.3 Herleitung des Problemlösungsansatzes

Die effektivste Form der Brandbekämpfung ist die Verhinderung der Brandentstehung. Da der allergrößte Teil der Vegetationsbrände anthropogenen Ursprungs ist,^{2,5,6,34} sollte diese Ursache zuerst angegangen werden: Dazu muss die Bevölkerung in Bezug auf das richtige Verhalten im Wald sensibilisiert und Brandstifter durch eine erhöhte Entdeckungswahrscheinlichkeit abgeschreckt werden. Zu diesem Zweck können mit Infrarotsensoren ausgestattete, automatisiert fliegende Drohnen Brände und Menschen im Gelände detektieren: Dies soll die Möglichkeit zur Frühentdeckung der Feuer durch die bereits bestehenden Feuerwachtürme⁷⁰ erweitern und gleichzeitig die Hauptbewegungsflächen der Menschen im Wald, als Maß der wahrscheinlichsten Brandentstehungspunkte, identifizieren. Im Gegensatz zu Feuerwachtürmen können Drohnen jedoch bei Bedarf in bestimmten Gebieten konzentriert eingesetzt werden.

Zur Erkennung von lokalen Risikoschwerpunkten müssen neben der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Menschen auch noch Umwelteinflüsse betrachtet werden: Daher sollen die aus den Drohnenüberwachungsflügen gewonnenen Erkenntnisse in ein Geoinformationssystem (GIS) überführt werden, in das auch weitere relevante Datensätze wie Forstbestandskarten mit Art und Alter der Baum- und Bodenvegetation, Grundwasserspiegel, Bodenfeuchtigkeit und die vermutete Kampfmitteldichte einfließen. Die benötigten Daten können von Dritten bereitgestellt oder selbst erhoben werden. Die im GIS erkennbaren Brandrisikoflächen sollen der gezielten Gefahrenabwehrplanung dienen.

Bei Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen sind ein aktives Eingreifen der Feuerwehr zur Brandbekämpfung oder präventive waldbauliche Maßnahmen als passive Methode der Ausbreitungsverhinderung unbedingt erforderlich. Jedoch ist der Einsatz von Kräften im Nahbereich von thermisch belasteten Kampfmitteln mit nicht vertretbarer Eigengefährdung verbunden, weshalb eine aktive Brandbekämpfung mit klassischen Mitteln als taktische Option zwangsläufig entfällt.¹ Löschpanzer, wie sie derzeit von privaten Dienstleistern betrieben werden, erlauben zwar einen gewissen Schutz der Kräfte, erreichen den Brandort aber nur durch zeitintensives Niederwalzen der Vegetation oder durch Einnahme von Verteidigungsstellungen auf bestehenden Wegen, an denen sie das Feuer auf sich zu laufen lassen. Auf stark munitionsbelasteten Flächen können auch sie nicht in den Einsatz gebracht werden.⁵² Sie würden zur Etablierung einer effektiven, durchgängigen Brandbekämpfung zudem in größerer Anzahl benötigt, um an mehreren Stellen gleichzeitig eingesetzt werden zu können.

Löschwasserabwürfe aus der Luft sind primär zur Ausbreitungsverlangsamung eines Vegetationsbrandes gedacht und nicht zum vollständigen Niederkämpfen größerer Feuer geeignet.^{5,27,29} Zudem sind auch Luftfahrzeuge im Nahbereich durch explodierende Munition gefährdet, da die Splitterwirkung sich halbkugelförmig, also auch nach oben, richtet.²⁷ Alternativ sind jedoch spezielle Drohnen in Form von ferngesteuerten Kleinflugzeugen zur Durchführung von Löschwasserabwürfen denkbar.^{50,71}

Viele der Waldbrandrisikogebiete mit Kampfmittelverdacht befinden sich im Nordosten der Bundesrepublik Deutschland und somit in Regionen mit trockenen und sandigen Böden, in denen die Kiefer quasi als Monokultur vorliegt. Zur Ausbreitungsverhinderung von Vollfeuern wären unter normalen Bedingungen bis zu 300 Meter breit ausgeführte Waldbaumaßnahmen in Form von Wundstreifen oder Laubwaldriegeln nötig^{28,72} – falls starke Winde erwartet werden, müssen sogar noch breitere Streifen ausgeführt werden. Diese waldbaulichen Maßnahmen müssen in jedem Fall durch eine anliegende Wegeführung begleitet werden. Für die Schaffung von Wundstreifen müssten großflächige Kampfmittelberäumungen und nachfolgende Rodungen durchgeführt werden, was angesichts der zur wirksamen Eingrenzung von Bränden benötigten Anzahl von Wundstreifen einen erheblichen Kostenaufwand für Anlage und Unterhaltung, d.h. vor allem Freihaltung von Bewuchs, nach sich ziehen würde. Alternativ könnten in die Kiefernbestände Laubwaldriegel eingebracht werden. Da der Boden munitionsbelastet ist, müssten entweder unter Kampfmittelberäumung und ggf. Rodung junge Laubbäume gepflanzt oder alternativ, ohne Notwendigkeit zur Kampfmittelberäumung, Samen ausgebracht werden. Letzteres ist zwar deutlich günstiger, verlangt aber – verglichen mit dem Pflanzen von Jungbäumen - durch die Keim- und Wachstumsphase längere Zeit bis zur Wirksamkeit der Maßnahme. Kiefern haben zudem eine sehr hohe Keimkraft und setzen sich damit leicht gegen Samen und Keimlinge anderer Baumarten durch, sodass es besonderer Konzepte bedarf, um andere Baumarten in Kiefernwäldern mit trockenen Böden nachhaltig anzusiedeln.^{39,40,63} Um funktionierende Laubwaldriegel zur Vegetationsbrandbegrenzung bilden zu können, müssten solche Keimlinge zudem mindestens zehn Jahre ungestört heranwachsen.⁶³ Daher sollte die Brandlast in den Bereichen der anzulegenden Laubwaldriegel reduziert werden, um während dieser Zeitspanne die Bekämpfung von Bränden zu erleichtern. Erreicht werden kann dies durch Entfernung des brennbaren Materials von Hand, was eine Kampfmittelberäumung zur gefahrlosen Betretung erfordern würde, oder durch präventives, kontrolliertes Abbrennen der Gebiete.

Bei akuten Brandereignissen wäre das Legen von Vorfeuern eine denkbare Möglichkeit, um dem Schadfeuer den Brennstoff zu entziehen – allerdings müsste dabei sichergestellt werden, dass sich keine Kräfte im durch eventuell explodierende Munition entstehenden Gefahrenbereich aufhalten und trotzdem die sichere Kontrolle über den Brand gewährleistet ist. Daher müssten autark arbeitende Löschgeräte wie Düsenschläuche oder erdgebundene Löschdrohnen in Betrieb genommen werden können,^{7,8} bevor der mit der Flammenfront wandernde Gefahrenbereich die Verteidigungsstellungen erreicht hat. Dies erfordert ausreichend ausgebaute Zuwegungen und von Munition geräumte Aufstellflächen, um die möglichen Verteidigungsstellungen mit dem notwendigen Gerät schnell erreichen und vorbereiten zu können. Zudem müssten ausreichende Wassermengen über Schläuche zugeführt werden können und redundante Löschdrohnen für eine gesicherte Ausbreitungsverhinderung zur Verfügung stehen.

Ein alternativer Einsatz von Löschpanzern zur Kontrolle der Vorfeuer würde die Beräumung von Teilen der munitionsbelasteten Flächen nicht ersparen, da auch Löschpanzer für eine effektive Brandbekämpfung Zuwegungen in die vom Vorfeuer abzubrennenden Gebiete benötigen. Zur Schaffung solcher Zuwegungen müssen Bäume entfernt werden, wofür wiederum eine Beräumung von Munition notwendig ist. Analog zu den Löschdrohnen müssen auch für den Löschpanzer ausreichende Mengen

Löschwasser zur Verfügung stehen, wobei der Autor aufgrund mangelnder Erfahrung nicht einschätzen kann, ob beim Einsatz von Löschpanzern ein Pendelverkehr oder eine Einspeisung über nachgeschleppte Schlauchleitung in diesem Fall sinnvoller ist. Aufgrund der notwendigen fahrzeugtechnischen Umrüstungen zum Löschpanzer, dem Treibstoffverbrauch sowie dem aufwändigen Transport zur Einsatzstelle sind Löschpanzer mit hoher Wahrscheinlichkeit teurer als erdgebundene Löschdrohnen.

Wie die Waldbrandstatistik des Bundes für das Jahr 2018 zeigt, sind mehr als 70% der verbrannten Flächen im Privatbesitz.¹⁵ Auf Privatgrundstücken können Waldbrandschutzmaßnahmen nur aufgrund von durch die Forstämter erlassenen Verwaltungsakten durchgeführt werden, gegen die die Betroffenen Widerspruch und ggf. Klage einreichen können. Die Ausnutzung des Rechtsweges ist umso wahrscheinlicher, je höher die aufgrund von Forstmaßnahmen und den vorhergehenden Kampfmittelsondierungen und -räumungen zu erwartenden Kosten sind. Das bedeutet gleichzeitig, dass sich die Einrichtung von Waldbrandschutzmaßnahmen weiter verzögern wird. Dies kann vermieden werden, indem die Länder alle anfallenden Kosten für den Waldbrandschutz, inklusive der Kampfmittelsondierungs- und -räumungskosten, übernehmen, sofern die betroffenen Gebiete munitionsbelastet sind. Dazu müssten Änderungen in den Landesforstgesetzen vorgenommen werden, die die Kostenübernahme festschreiben und den Forstämtern gleichzeitig beschränktes Nutzungsrecht dieser Flächen zusprechen. Hiermit soll der regelmäßige Einsatz von Feuern zur Landschaftspflege als präventive Brandlastverringerung rechtlich ermöglicht werden.

3.4 Konsequenzen für die zu wählende Einsatztaktik

Bei Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen ist jede Brandbekämpfungsmaßnahme am Boden und in der Luft auszuschließen, die den Kräfteinsatz in durch Kampfmittelumsetzung gefährdeten Gebieten erfordert.^{1,32,49} Somit scheidet der Angriff als einsatztaktische Option aus. Es sollte zudem eine ausreichende Ausbreitungsverhinderung zum Schutz von Dörfern, Städten und besonders wertvollen Ökosystemen vor Feuer und bedrohlichen Rauchgaskonzentrationen gewährleistet werden können. Dies kann erreicht werden durch Laubwaldriegel sowie den kontrollierten Einsatz von Vorfeuern, die das Schadenfeuer von neuem Brandgut abschneiden. Zur Kontrolle der Vorfeuer eignet sich vor allem Drohnentechnik, die redundant und mit Geräten zur ausreichenden Löschwasserversorgung vorgehalten werden muss. Damit ergibt sich ein einsatztaktischer Kombinationsansatz aus Verteidigung und Rückzug, d.h. dass zwar an vorbereiteten Stellen Gerät zur verteidigenden Brandbekämpfung eingesetzt wird, sich dort aber zur Durchführung dieser Maßnahmen keine Menschen aufhalten sollen müssen. Eine Änderung der Landesforstgesetze zur wirkungsvollen Umsetzbarkeit der waldbaulichen Maßnahmen scheint notwendig.

Ergänzt werden sollen die Brandbekämpfungsmaßnahmen durch die Schaffung eines Geoinformationssystems (GIS), das die Identifizierung der am stärksten durch Vegetationsbrände gefährdeten Waldgebiete ermöglichen soll. Dabei soll das GIS Daten aus Drohnenflügen, bodengebundenen Sensoren und bestehenden Datensätzen zusammenführen und damit eine regionale und auf spezifische Besonderheiten angepasste Erweiterung des Waldbrandgefahrenindex des Deutschen Wetterdienstes darstellen.⁷³

4 Maßnahmen zur Umsetzung des Ansatzes

4.1 Einrichtung eines Geoinformationssystems

Es soll ein Geoinformationssystem geschaffen werden, das die parallele Visualisierung verschiedener, für die Vegetationsbrandbekämpfung relevanter Datensätze ermöglicht, um besonders durch Vegetationsbrände gefährdete Gebiete zu identifizieren. Herr Dr. Ingo Werner bewertete in seiner Dissertation über das zielgerichtete Sicherheitsmanagement des munitionsbelasteten Naturschutz- und Erholungsgebietes *Königsbrücker Heide* den Nutzen eines GIS als sehr hoch, da es eine einfache und logische Priorisierung von Aufgaben bei der Bearbeitung komplexer sicherheitstechnischer Problemstellungen ermögliche.⁷⁴ Auch viele andere Institutionen, darunter verschiedene Berufsfeuerwehren oder der Deutsche Städtetag, empfehlen die Nutzung eines GIS zur einfachen Visualisierung komplexer Zusammenhänge von Datensätzen wie sie beispielsweise in der Landschaftsökologie und Stadtplanung anfallen.^{75–78} Aufgrund der großen Nutzerzahl stehen neben den einfachen Geobasisdaten, also den „klassischen Karten“, auch umfangreiche Geofachdaten, d.h. spezielle raumbezogene Informationen zu beispielsweise Grundwasserspiegel, Vegetationsbeschaffenheit und Traglast von Wegen, zur Verfügung.^{76–78} Exemplarisch ist hier das NavLog-System als fertige GIS-Speziallösung für den Forst zu nennen, das bereits von vielen Akteuren im Wald, u.a. in der Gefahrenabwehr, verwendet wird.^{79–81} Ferner dürften bereits einige relevante Erkenntnisse aus einem Forschungszusammenschluss vorliegen, der bereits 2008 u.a. ein erstes Modell eines „Waldbrand-GIS“ für Brandenburg erstellt hat.⁸² Gleichwohl kann die Einräumung der Nutzungsrechte durch den Inhaber oder die Inkompatibilität der Datenformate mit dem GIS problematisch werden, sodass die Pflege eigener Datensätze zu erwägen ist, sofern die Akquise mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist oder keine anderen Quellen vorhanden sind.^{74,76,82}

Zur Planung wirkungsvoller Prävention müssen lokal aufgelöst die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Besuchern, die Kampfmittelbelastungssituation, die Topographie und Bodenfeuchte, die Sturmschadenflächen der vergangenen Jahre sowie Art, Alter und Bewuchsdichte der Vegetation betrachtet werden können. Für die konkrete Festlegung der einsatztaktischen Maßnahmen sind verfügbare Wasserentnahmestellen ausreichender Leistungsfähigkeit, die aktuellen Wetterdaten sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammenfront relevant. Die notwendigen Geofachdaten sollen aus Drohnenflügen (siehe unten), ortsfesten Messstationen sowie bestehenden Datensätzen anderer Institutionen bereitgestellt werden.

4.2 Der Einsatz von Drohnentechnik zur Waldbrandfrüherkennung

Die Datenerhebung zu den aktuellen Brandereignissen und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von Personen im Wald soll über automatisch gesteuerte und mit Infrarotsensoren ausgestattete Drohnen erfolgen, die im Vergleich zu bemannten Luftfahrzeugen bei geringem Kostenaufwand, d.h. unter 10% der Betriebskosten eines Sportflugzeuges,⁸³ mehrere Stunden in der Luft bleiben können. Teilweise haben die Drohnen eine Funkreichweite von 100 km und können so unter günstigen Umständen pro Flug weit mehr als 150 km² Gelände überwachen. Sie bedürfen jedoch mit mehr als 25 Kilogramm Startgewicht zum Betrieb einer Ausnahmegenehmigung nach §21, Abs.

2 Luftverkehrsordnung.^{83,84} Die Luftfahrzeuge sollen auf ihren von Bodenkontrollstationen vorprogrammierten Streifflügen größere Wärmesignaturen aufnehmen und in einer Bildauswertung nach „Menschen“, „Tieren“ oder „Unbekannt“ sortieren, wobei als „Unbekannt“ eingestufte Wärmesignaturen einem Operator vorgelegt werden. Alle Wärmesignaturzuordnungen zur Kategorie „Mensch“ sollen zwecks Abschätzung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen ins GIS überführt werden, sodass die typischen Bewegungsmuster von Menschen im betroffenen Gebiet erkennbar werden.

Stellt das Bodenkontrollteam ein auffälliges Verhalten eines einzelnen Menschen fest, wie z.B. Aufenthalte fernab der Wege, soll die Drohne diesen Menschen weiter überwachen, die Position melden und so eine Personenkontrolle ermöglichen. Für Jäger, Förster und andere Personen mit Notwendigkeit zum Aufenthalt abseits der Wege sollen mitgeführte Sender eine Identifizierung ermöglichen und damit fälschlicherweise ausgelöste Verfolgungen von diesen Personen vermeiden. Brandstifter sollen mit diesem öffentlich zu kommunizierenden Prozedere abgeschreckt und Menschen im Umkreis von Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen frühzeitig vor möglicher Splitterwirkung gewarnt bzw. gezielt gerettet werden können. Nach Auffassung von Prof. Dr.-Ing. Alexander Knoll von der Hochschule München ist das hier beschriebene Bilderkennungsverfahren der Wärmebildsignaturen mit derzeitigen technischen Mitteln zwar nicht als standardisiertes Softwaresystem erhältlich, aber nach Anpassung der bisher verfügbaren Technologien umsetzbar.⁸⁵ Die beschriebene Drohnentechnik ist bereits am Markt erhältlich (siehe Anhang für Kurzbeschreibung),⁸⁴ ähnliche Drohnensysteme erfüllen bereits besagte Aufgaben in der russischen Föderation.⁸⁶

Für die weitere Bewertung akuter Brandereignisse müssen im GIS außerdem Datensätze zu Lage und Ausdehnung der Brandflächen, Wetterdaten, Lage von Wasserentnahmestellen, Wegenetzen inklusive deren Tragfähigkeit und Gefahrenbereichen um munitionsbelastete Flächen abrufbar sein. Daraus können tagesaktuelle Karten für die örtlichen Einsatzkräfte erstellt werden, in denen alle Gefahrenschwerpunkte sowie die Brandausbreitungsprognosen für die kommenden Stunden dargestellt sind. Beim Einsatz der deutschen Kräfte zur Vegetationsbrandbekämpfung in Schweden im Jahr 2018 wurden mit solchen GIS-basierten Karten sehr positive Erfahrungen gemacht.⁴²

4.3 Waldbauliche Präventionsmaßnahmen

Wie im Problemaufriss beschrieben, besteht bei der offensiven Brandbekämpfung von Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Flächen eine nicht vertretbare Eigengefährdung der Einsatzkräfte. Das Feuer muss also durch präventiv geplantes Abschneiden des Brennstoffes eingedämmt werden, um es dann aus Mangel an Brandgut selbstständig in seinen Grenzen verlöschen zu lassen. Dazu eignen sich unter anderem Laubwaldriegel, da diese eine schwer zu entflammende Vegetation darstellen und gleichzeitig den Wuchs leicht vertrocknender Bodenvegetation unterdrücken. Da Flugfeuer als ein Mechanismus der Brandausbreitung bis zu 300 Meter überwinden können, sollten Laubwaldriegel in etwa diese Breite aufweisen und zusätzlich von Wegen durchzogen sein, um Kontrollfahrten abseits von Brandereignissen zu ermöglichen.

Laubwaldriegel sollen eine Parzellierung des Waldes ermöglichen und damit sicherstellen, dass das Feuer sich innerhalb der betroffenen Parzelle totläuft. In der ehemaligen DDR wurden Laubwaldriegel schachbrettartig angelegt und dabei in Haupt- und Nebenriegel unterschieden.⁷² Dabei waren die Hauptriegel 300 Meter breit und verliefen in 2 Kilometern Abstand voneinander quer zur Windrichtung, um auch anrollende Vollfeuer stoppen zu können.⁷² Maßgebend für den Verlauf der Schutzstreifen waren dabei bestehende Wegesysteme, Fluss- und Bachläufe sowie bestehende Laubwälder und Kieferschonungen mit Bestandsaltern von mehr als 40 Jahren, die weniger leicht entzündlich sind als junge Kiefernbestände.⁷² Die parallel zur Windrichtung verlaufenden Nebenriegel bestanden in den DDR-Planungen aus Straßen, die beidseitig um jeweils fünf Meter breite, freigeräumte Wundstreifen ergänzt wurden und im Abstand von 50 bis 60 Metern angelegt wurden.⁷² Insgesamt wurden beispielsweise im Staatsforst Oranienburg bis zum Jahr 1982 20 Waldbrandriegel mit einer Gesamtlänge von 57 Kilometern geplant,⁷² was bezogen auf die gesamte DDR ein deutlich größeres Laubwaldriegelsystem erahnen lässt.

Bei Betrachtung der oben dargestellten Forstplanungen der DDR muss berücksichtigt werden, dass ein planwirtschaftlich organisiertes Land im Vergleich zu marktwirtschaftlichen Systemen waldbauliche Maßnahmen auf den kollektivierten Flächen einfacher planen und umsetzen konnte. Dies ist insofern von Bedeutung als ca. 76% der 2018 in Brandenburg verbrannten Waldfläche in Privatbesitz sind. Dagegen sind nur ca. 13% in Landes- und ca. 10% in Körperschaftsbesitz¹⁵ und daher müssen die Forstämter langwierige Verfahren mit dem Erlassen von Verwaltungsakten, ggf. eingehenden Widersprüchen und den anschließenden Verwaltungsgerichtsverfahren durchführen. Sie sollten daher über Gesetzesänderungen zur widerspruchsfreien Durchführung von waldbaulichen Maßnahmen auf munitionsbelasteten Flächen ermächtigt werden: erst dann lassen sich Laubwaldriegel, Wegenetze und andere Elemente des vorbeugenden Waldbrandschutzes in der maximal möglichen Umsetzungsgeschwindigkeit realisieren.

„Maximal mögliche Umsetzungsgeschwindigkeit“ ist dabei ein freundlich gewählter Terminus, der zum Ausdruck bringen soll, dass selbst bei vollem Kräfteinsatz der Kampfmittelbeseitigungsdienste und Forstbehörden Laubwaldriegel nur in der zeitlichen Dimension von Jahren eingerichtet werden können. Daher müssen die Laubwaldriegel nach einem System geplant werden, das eine gute Schutzwirkung bei geringstmöglichem Kampfmittelräumungsaufwand bietet. Dazu wird vom Autor dieser Arbeit ein „Butterkeks-System“ (weil es bildlich einem Butterkeks ähnelt, vgl. **Abbildung 1**) vorgeschlagen, bei dem der Wald durch Laubwaldriegel in große, rechteckige Flächen abgeteilt wird, deren Kanten wiederum durch periodisch angelegte Stichwege parzelliert sind. Laubwald soll nur 150 Meter links und rechts vom Hauptweg, also in den Parzellen, angesiedelt werden, der innere Teil des Rechtecks bleibt unberührt.

Die geplanten Laubwaldriegelsysteme, die in ihren Kantenlängen zwei Kilometer lang und vier Kilometer breit sind, sollen quer zur Hauptwindrichtung ausgerichtet werden. Die Hauptwege entlang der Kanten sollen durch Verdichtung und durch eine Breite von zehn Metern für Großfahrzeuge befahrbar sein und gleichzeitig Aufbau- und Arbeitsfläche für Gerätschaften bieten. Die Hauptwege werden alle 50 Meter von einem Stichweg gekreuzt, der jeweils mit fünf Metern Wegbreite je 150 Meter nach links und

nach rechts in den Wald führt und nur begehbar, nicht aber befahrbar sein muss. Es werden nur die Wege von Munition geräumt, die Inhalte der Parzellen bleiben unberührt.

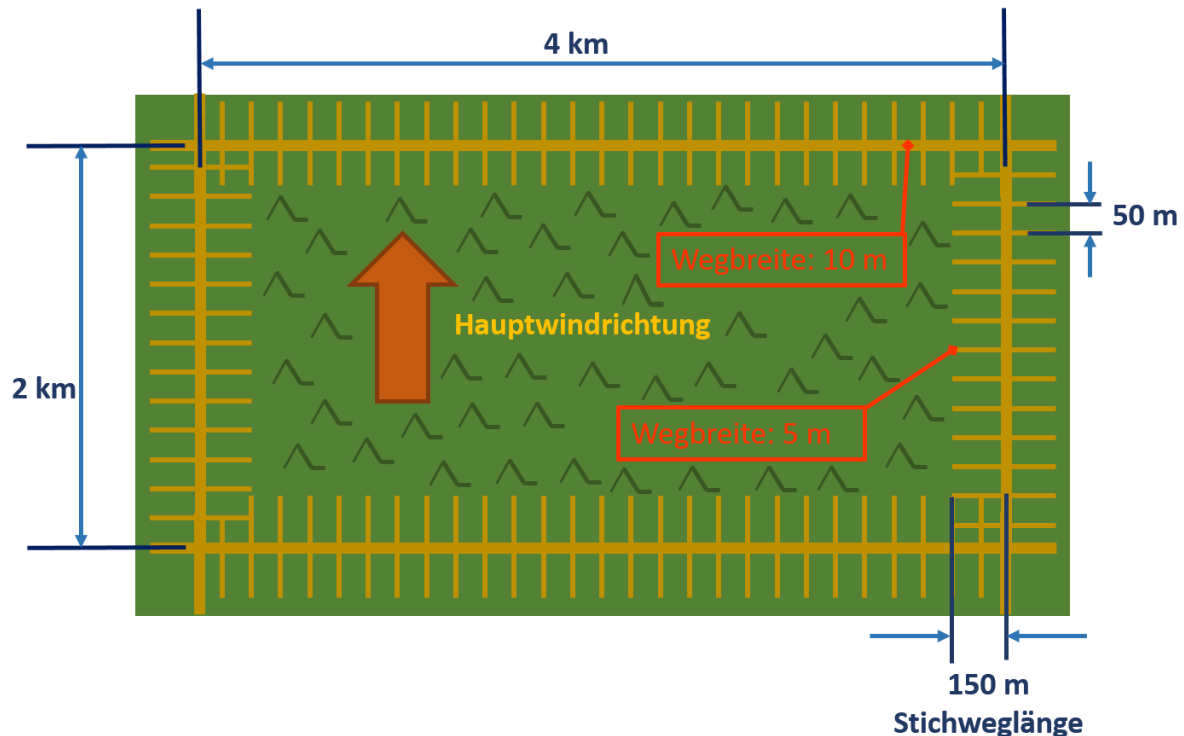


Abbildung 1. Schematische, nicht maßstabsgetreue Abbildung des erwogenen Laubwaldriegelsystems. Aufgrund der Ähnlichkeit zu einer Gebäcksorte wird es als „Butterkeks-System“ bezeichnet.

Die kleinteilige Parzellierung entlang der Hauptwege soll verschiedene Aufgaben erfüllen:

1. Durch kontrollierte Feuer zur Landschaftspflege bei unkritischen Wetter- und Vegetationsbedingungen soll die Brandlast in den einzelnen Parzellen nach und nach vermindert werden. Dabei bieten die Stichwege und der Hauptweg die Möglichkeit, erdgebundene Drohnen (s.u.) einzusetzen, um das Feuer von drei Seiten zu kontrollieren, ohne dass sich Menschen im Gefahrenbereich aufhalten müssen. Durch Ausbrennen der Parzellen auf beiden Seiten des Hauptweges entsteht so ein mehr als 300 Meter breiter Sicherheitsstreifen.
2. Auf den abgebrannten Flächen sollen über Verteilung von Samenkugeln, die sich bereits in anderen Ländern bewährt haben,^{87,88} Laubwälder angepflanzt werden, ohne die Fläche betreten zu müssen. Die Ausbringung der Samenkugeln kann über Drohnen, bemannte Luftfahrzeuge oder Druckluftkanonen erfolgen. Bei hinreichender Feuchtigkeit wurden bis zu 70% erfolgreiche Ansiedlung der ausgebrachten Samen beobachtet,⁸⁷ vermutlich wird dieser Anteil aber aufgrund der kargen Böden nicht erreicht werden. Es eignen sich vor allem Birke und Robinie für die Aussaat,⁶³ jedoch sollten auch andere Baumarten getestet werden. Die relativ kleinen Parzellen bieten hier gute Forschungsmöglichkeiten.
3. Im Falle von Brandereignissen, bei denen sich die Parzellen noch außerhalb des für Munition einzuhaltenden Sicherheitsabstandes befinden, können Vorfeuer gezielt in jenen Parzellen entzündet werden, auf die das Schadenfeuer

zuzurollen scheint. Dies setzt allerdings voraus, dass Drohnentechnik und Löschwasser in kurzer Zeit verfü- und einsetzbar sind.

Mit Errichtung eines solchen Systems müssten mit ca. 46,8 Hektar angelegten Wegen auf 989 Hektar Gesamtfläche nur ca. 4,7% (gerundet) des Flächeninhaltes eines Laubwaldriegelsystems von Munition geräumt werden. Sobald das „Butterkeks-System“ nicht als einzelnes Rechteck vorhanden ist, sondern sich schachbrettartig im Wald ausbreitet, sinkt der Anteil der von Munition zu beräumenden Fläche aufgrund von Synergieeffekten auf 2,4% (gerundet). Die Kosten zur notwendigen Kampfmittelräumung pro Rechteck liegen Schätzungen zufolge im Bereich um 20 Millionen Euro,³¹ wobei diese Schätzung auf dem Einsatz von privatwirtschaftlichen Fremdfirmen und deren Gerät sowie einer flächig konstant hohen Munitionsbelastung basiert. In Anbetracht der zu räumenden Gesamtflächen wäre ein geringerer Kostenansatz zu erwarten, wenn das betreffende Bundesland selbst dieses Spezialgerät anschafft und weniger stark munitionsbelastete Flächen geschickt in die Planung der Laubwaldriegelsysteme einbezogen werden.

Ein Nachteil des vorgeschlagenen Systems ist, dass die ausgesäten Laubwaldriegel etwa zwei bis drei Jahre länger wachsen müssen als gepflanzte Jungbäume und ihre Funktion so erst nach ca. 10 Jahren vollumfänglich erfüllen können.⁶³ Die Alternative zur Schaffung des vorgeschlagenen „Butterkeks-Systems“ wäre die Kampfmittelberäumung und ggf. Rodung von Flächen in jeweils 150 Meter Breite links und rechts vom Hauptweg, um dort manuell Jungbäume zu pflanzen. Die Schaffung von Wundstreifen würde den gleichen Räumungs- und Rodungsansatz verlangen und gleichzeitig noch eine jährliche Unterhaltung durch Pflügen oder Eggen erfordern. Laubwaldriegel werden in Bezug auf die Nachhaltigkeit und die Kosten der Maßnahme daher als die sinnvollste Maßnahme erachtet, auch wenn der zeitliche Ansatz bis zur Wirksamkeit der Maßnahme größer ist.

4.4 Präventive Brände zur Landschaftspflege

Bis die Laubwaldriegel zu ausreichender Größe gewachsen sind, besteht eine Lücke in der Ausbreitungsverhinderung von großen Vegetationsbränden. Diese soll geschlossen werden, indem die Brandlasten in den Parzellen des „Butterkeks-Systems“ durch kontrolliertes Abbrennen bei günstigen Witterungsbedingungen minimiert werden. Im Einsatzfall sollen dort nur Bodenfeuer mit geringer Intensität möglich sein, die wiederum einfach zu bekämpfen sind, sodass mögliche Vollfeuer innerhalb der geplanten Parzellen zum Kollaps gebracht werden können. Umfassende statistische Auswertungen von Waldbränden²⁸ ergaben, dass Kronenfeuer in Deutschland in einem einzelnen Extremfall 300 Meter ohne stützendes Bodenfeuer zurücklegten ohne zu kollabieren, meist aber sehr viel früher verlöschen. Damit besteht eine gute Chance selbst Vollfeuer innerhalb der brandlastarmen Parzellen einzufangen. Priorisiert werden soll die Reihenfolge des Ausbrennens von Parzellen mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem GIS.

Als Verteidigungsstellung für die kontrollierten Brände zur Landschaftspflege sollen die Haupt- und Stichwege an den drei Seiten der Parzellen dienen, die jedoch aufgrund der Kampfmittelbelastung der Gebiete nicht von Menschen besetzt werden können.

Daher ist der Einsatz von Drohnentechnik zum Legen der kontrollierten Brände, zur Beobachtung des Brandverlaufs^{83,86} und zur wirksamen Eingrenzung der Brände erforderlich; eine detaillierte Darstellung der notwendigen Technik folgt im nächsten Unterkapitel.

Für das Legen der Feuer sowie das In-Stellung-bringen und Bedienen der Drohnentechnik wird gut ausgebildetes Personal benötigt, das in einem mehrwöchigen, zentral koordinierten Lehrgang bei europäischen Partnern mit viel Erfahrung im Vorfeuereinsatz ausgebildet werden soll.

Da die Abbrandfläche jeder einzelnen Parzelle kleiner als ein Hektar ist, bestehen keine Bedenken bezüglich Konfrontationen mit Naturschützern.⁴¹

Neben dem Einsatz von Feuern zur Verminderung der Brandlast sollten die ausführenden Kräfte ebenso im Legen von Vorfeuern geschult werden, um im gegebenen Fall durch das akute Ausbrennen einzelner Parzellen einen gezielten Wundstreifen schaffen zu können. Die Option zum Einsatz von Vorfeuern ist allerdings eng mit der schnellen Verfügbarkeit der entsprechenden Drohnentechnik und Löschwasserversorgung verbunden.

4.5 Drohnentechnik zur Brandbekämpfung

Unabhängig davon, ob in munitionsbelasteten Gebieten Löschmaßnahmen zur Bekämpfung kontrollierter Brände oder akuter Feuer notwendig sein sollten, muss eine vermeidbare Gefährdung von Menschen ausgeschlossen werden. Daher soll die aktive Brandbekämpfung, deren Beobachtung sowie das kontrollierte Legen von Feuern zur Landschaftspflege von Drohnen geleistet werden.

Es existieren bereits kommerziell erhältliche, luftgestützte Drohnen, die eine gezielte Entzündung von einzelnen Bränden durch den Abwurf selbstentzündender Kugeln ermöglichen.^{89,90} Mit einem Stückpreis von ca. 32.000 Euro⁹¹ entspricht der Anschaffungspreis den äquivalenten Kosten von, je nach Fluggerät, 0,72 bis 12 Hubschrauberbetriebsstunden.^{92–94} Umso wichtiger ist es im Angesicht der Kosten, dass die Bediener den sicheren Umgang mit dem Gerät beherrschen, um es weder zu beschädigen noch selbstentzündende Kugeln in den Baumwipfeln zu platzieren, was ein unerwünschtes Kronenfeuer provozieren könnte.

Um ungeplanten Brandausbreitungen wirkungsvoll begegnen zu können, sollen bodengebundene Löschdrohnen zum Einsatz kommen, die ferngesteuert durch zielgerichtete Löschmaßnahmen eine Ausweitung der Boden- zu Vollfeuern unterbinden sollen. Mittlerweile gibt es am Markt einige passende Löschroboter,^{95–99} wobei speziell die Drohnen FireCrabber und Thermite RS1-T4 vielversprechend erscheinen, um außer Kontrolle geratene Vegetationsbrände zu bekämpfen: mit leistungsstarken Elektro- bzw. Dieselmotoren können sie in ferngesteuerter Fortbewegung Schlauchleitungen mit ca. 360 Kilogramm Wasser ziehen, über frei schwenkbare Hohlstrahlrohre und mit Sprühbildvariation Wasser abgeben, erreichen Wurfweiten von maximal 80 Metern und liefern dem Bediener Bilder von der Einsatzstelle. Damit eignen sie sich nach Ansicht des Autors zu von den Stich- und Hauptwegen ausgeführten Löschangriffen auf

Brände, die sich zu Vollfeuern ausweiten könnten. Ähnliches leisten auch die Systeme Magirus AirCore und LUF 60, allerdings arbeiten diese Drohnen auf Basis eines Hochleistungslüfters, der die Bildung von Flugfeuern begünstigen könnte, bevor der Löscheffekt eintritt – dies könnte eine ungewünschte Brandausbreitung auf andere Parzellen nach sich ziehen.

Das System FireCrabber ist am Markt zu einem Preis von ca. 63.000 Euro pro Stück¹⁰⁰ erhältlich, für den Thermite RS1-T4 wurde seitens des Herstellers keine Preisauskunft gegeben. Dabei hat der RS1-T4 in der kleinsten Ausführung eine Werferkapazität von 2.270 Litern pro Minute, während der FireCrabber in der kleinsten Monitorausführung mit einem Durchfluss von 65 bis 750 Litern pro Minute deutlich geringere Anforderungen an die Wasserversorgung stellt¹⁰⁰ und sich damit für den Zweck als geeigneter erweist. Nach Ansicht des Autors sind zehn Löschdrohnen notwendig: an jeder der durch Wege erschlossenen Seiten der Parzellen sollen zwei Drohnen platziert und vier sollen als Redundanz einsatzbereit im Hintergrund gehalten werden. Gesteuert werden sollen die Drohnen aus sicherer Entfernung aus einem entsprechend ausgerüsteten LKW heraus, wobei für jede Drohne ein Arbeitsplatz vorzusehen ist. Die Fernsteuerungsreichweite des FireCrabbers beträgt zwar nur 150 Meter, lässt sich aber, da es sich bei der Übertragungseinheit um ein handelsübliches WLAN-System handelt, mit beim Aufbau der FireCrabber ausgebrachten Repeatern problemlos auf mehrere Hundert Meter erweitern. Der Ausbildungsaufwand zur Steuerung der Drohnen ist aufgrund der intuitiven Steuerung¹⁰¹ als nicht sehr hoch einzuschätzen, sodass auch ehrenamtliche Kräfte in dieser Aufgabe eingebunden werden könnten.

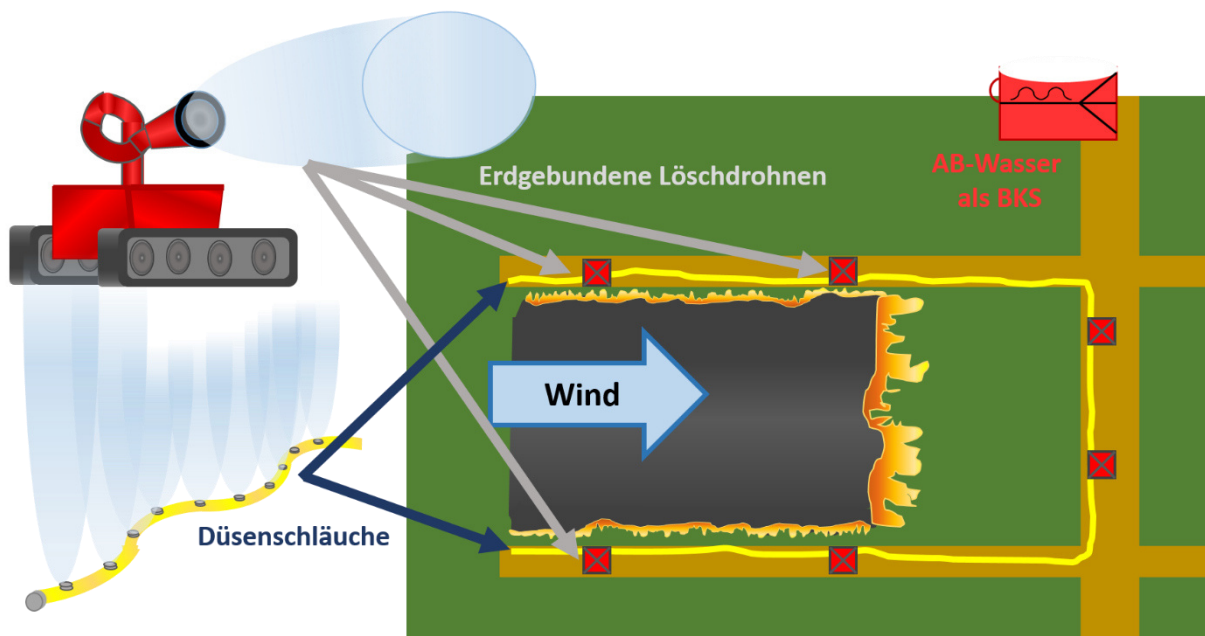


Abbildung 2. Schematische Darstellung einer für präventive Landschaftspflegebrände vorbereiteten Verteidigungsstellung. Löschdrohnen und Düsenschläuche werden separat mit Wasser gespeist.

Für die statische Brandbekämpfung, also das Eingrenzen des Feuers an den Stich- und Hauptwegen durch vor Ort ausgelegte und nicht-selbstbewegliche Geräte, sollen die notwendigen Gerätschaften in Stellung gebracht werden, bevor eine Gefährdung durch Kampfmittelumsetzung besteht, d.h. bevor entsprechende Feuer gelegt werden.

Hier bieten sich Düsenschläuche an, die es mit geringem Wasserdurchsatz von 60 Litern pro Minute pro 20 Meter-Schlauch speziell für die Waldbrandbekämpfung auf dem Markt gibt¹⁰² und die mit motorisierten Geländefahrzeugen auf 320 Meter Länge zügig und ohne großen Personalaufwand verlegt werden können.¹⁰³

Zur Verteidigung einer Parzelle ergibt sich demnach ein Bedarf von 18 Düsenschläuchen und zehn Löschdrohnen. Das Material soll auf einem Gerätewagen Logistik zur Einsatzstelle gebracht werden.

4.6 Löschwasserversorgung

Im ungünstigsten Fall, d.h. bei massiver Brandausbreitung zu verschiedenen Seiten, wäre der gleichzeitige Einsatz aller in Stellung gebrachten FireCrabber und Düsenschläuche erforderlich und es ergäbe sich ein Löschwasserbedarf von ca. 8.600 Litern pro Minute. Auch wenn dieses Szenario unwahrscheinlich ist, so muss doch ein unkontrolliertes Übergreifen der Landschaftspflegebrände auf andere Parzellen unbedingt verhindert werden und daher empfiehlt der Autor nichtsdestotrotz die Vorbereitung auf dieses Extremszenario.

Daher werden starke Pumpensysteme wie z.B. das Hytrans Fire System (HFS) Hydrosub 250 benötigt, das bis zu 10.000 Liter pro Minute über eine Wegestrecke von 3 km fördern kann.¹⁰⁴ Es bietet somit noch eine Leistungsreserve, die z.B. beim Aufbau einer Verteidigungsstellung gegen heranrollende Vollfeuer wertvoll sein kann. Ergänzt werden kann dieses, auf LKW-Anhänger verlastbare System durch zwei Abrollbehälter mit den technischen Möglichkeiten zur Verlegung einer Doppelleitung, mit der auch im Falle von Schlauchplatzern durch Kampfmittelumsetzung noch eine Redundanz vorhanden ist.¹⁰⁵ Die Komponenten des Herstellers HFS kosten, ohne Wechselladerfahrzeug, insgesamt ca. 750.000 Euro.¹⁰⁴

Es ist abzusehen, dass keine natürliche Wasserentnahmestelle, abgesehen von Seen, Flüssen und Kanälen, ausreichende Kapazitäten zum mittelfristigen Maximalbetrieb des Hydrosub 250 Pumpenmoduls haben wird, ohne dass es sich als deutlicher Eingriff in den regionalen Grundwasserspiegel niederschlagen würde. Daher müssen alternative Lösungen gefunden werden: so z.B. Wasserlagersäcke, die aus reißfester Folie bestehen und pro Sack zwischen 100 m³ und 2000 m³ Speicherkapazität mitbringen.^{106,107} Sie sind u.a. in länglicher Form mit etwas weniger als acht Metern Breite verfügbar, sodass sie entlang eines breiten Weges wie etwa der Hauptwege des „Butterkeks-Systems“ ausgelegt werden können.¹⁰⁸ Die Lagersäcke werden auf eine Rolle gewickelt mit einem Anhänger zur Einsatzstelle gebracht, ausgerollt und können sodann befüllt werden. Aufgrund der UV-Beständigkeit des Materials können die Systeme auch für die präventive Einrichtung von Löschwasserlagerstätten eingerichtet werden, sodass sie außerhalb der Frostperioden ausgebracht und befüllt werden können, um dann für Löscharbeiten über das ganze Jahr nutzbar zu sein. Die Aufstellorte der Wasserlagersäcke sind stark von den lokalen Verhältnissen, besonders in Bezug auf Wegenetzanbindung, Munitionsbelastung und Vegetationsbrandrisiko abhängig.

Alternativ wäre die Einrichtung von Löschwasserzisternen als Wasserlager möglich, die jedoch in Bezug auf Bau und nötiger Kampfmittelräumung aufwändiger wären.

Problematisch bleibt die Löschwasserlogistik zum Befüllen der Wasserlagersäcke bzw. Zisternen: selbst mit extrem großen Güllefässern lassen sich nicht mehr als 30 m³ Wasser aufnehmen,¹⁰⁹ sodass mit Traktoren mehrfach die Distanzen in die Wälder und zurück zum nächsten, offenen Gewässer ausreichender Größe überbrückt werden müssten. Dies kann, je nach Entfernung zum nächsten größeren Gewässer, tagelange Arbeit zur Befüllung eines 1000 m³ großen Wasserlagers (bestehend aus drei Säcken zu je 350 m³) bedeuten. Sinnvoller ist es daher nach Auffassung des Autors, direkt neben bestehenden Bahnstrecken ein „Wasserzwischenlager“ mit mehreren großen Wasserlagersäcken zu je 2000 m³ einzurichten, welche mit Hilfe von verkehrssicheren, aber nicht mehr für Gefahrguttransport zugelassenen Eisenbahnkesselwagen gefüllt werden. Da viele Eisenbahnkesselwagen ca. 100 m³ Fassungsvermögen haben¹¹⁰ und teils aufwändig verschrottet werden,¹¹¹ erscheint es sinnvoll, diese Ressource zukünftig für die Wasserversorgung nutzen. Mit einem Zug aus Kesselwagen könnten in hoher Geschwindigkeit und auch aus mittlerer und größerer Entfernung mehrere tausend Kubikmeter Wasser in das „Wasserzwischenlager“ gebracht und so ein Eingriff in den Grundwasserhaushalt vor Ort vermieden werden. Vom Wasserzwischenlager wiederum kann das Löschwasser mit Pumpensystemen wie dem Hydrosub 250 oder Traktoren mit Vakuumpfässern in einzelne Wasserlager verteilt werden, um für die Bekämpfung kontrollierter und unkontrollierter Feuer zur Verfügung zu stehen.

4.7 Einsatz des Systems bei unkontrollierten Bränden

Sollte es zu einem akuten, unkontrollierten Brandereignis in einem Gebiet kommen, in dem die Laubwaldriegel noch nicht die für die Schutzfunktion notwendige Größe erreicht haben, sollen die Parzellen des „Butterkeks-Systems“ zur Errichtung einer Verteidigungsstellung verwendet werden, da hier eine geringere Brandlast als an vergleichbaren anderen Stellen erwartet werden kann. Allerdings muss das In-Stellung-bringen der Löschdrohnen, Düsenschläuche und Wasserversorgung für das Personal gefahrlos möglich sein, d.h. dass die Verteidigungsstellung nicht während der laufenden Vorbereitungsarbeiten vom mit der Flammenfront wandernden Gefahrenbereich eingeholt werden darf. Daher wurden in dieser Arbeit überwiegend schnell aufbaubare Systeme vorgeschlagen: Das Hytrans Fire System HydroSub 250 Pumpensystem ist als Anhänger relativ zügig neben den Wasserlagersäcken in Stellung gebracht, die notwendigen Schläuche können mit bis zu 40 km/h Geschwindigkeit verlegt werden,¹¹² sodass die Wasserversorgung bei guter Koordination zügig aufgebaut werden kann. Durch Raupendumper lassen sich 300 Meter Riegelstellung mit Düsenschläuchen in ca. 10 Minuten aufbauen¹⁰³ und auch das In-Stellung-bringen der FireCrabber ist ausschließlich durch in Position fahren und ankuppeln der notwendigen Schläuche in kurzer Zeit zu schaffen.

4.8 Kosten

Im Folgenden werden die Kosten für die technischen Gerätschaften resümiert, die der Autor als Mindestanforderung zur erfolgreichen Verteidigung eines „Butterkeks-Systems“ ansieht. Es wird ein Kostenansatz von ca. 2,3 Millionen Euro für die Technik beziffert. Dies beinhaltet mit ca. 1,37 Millionen Euro die Komponenten der Wasserförderung und –speicherung: Darunter fallen neun Wasserlagersäcke zu je 350 m³ mit Aufroll- und Transportsystemen,¹⁰⁸ ein Hytrans Fire System Hydrosub 250 mit

Schlauchverlegegeräten und 6000 Meter Schlauch auf Abrollbehältern,¹⁰⁴ ein Abrollbehälter mit Puffertank und Pumpen^{113–115} sowie zwei Wechselladerfahrzeuge, für die nach Recherchen je ca. 160.000 Euro veranschlagt werden.^{116–119} Auf die Systeme zur aktiven und passiven Brandbekämpfung entfallen Kosten in Höhe von ca. 890.000 Euro: dazu zählen zehn FireCrabber Drohnen,¹⁰⁰ Düsenschläuche,¹²⁰ ein Kleinkettenfahrzeug zum Transport der Düsenschläuche¹²¹ sowie ein Gerätewagen Logistik (für den nach Recherchen 200.000 Euro veranschlagt werden^{122–125}) für den Transport der Geräte zur Einsatzstelle. Nicht einberechnet sind die Kosten für die erwähnten Drohnensysteme zur Brandfrüherkennung, für die zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit kein Angebot vorlag. Ferner wurden die Kosten zur Einrichtung des GIS ebenso wenig betrachtet wie die Kosten für den Erwerb und die Ertüchtigung von ausrangierten Kesselwagen, sowie die Gebühren für die Miete einer entsprechenden Lokomotive und das Nutzungsentgelt für das Schienennetz: der finanzielle Aufwand für diese Maßnahmen ist stark abhängig von der aktuellen Marktsituation und den Details der technischen Umsetzung, die wiederum den Arbeits- und Materialaufwand bestimmen. Auch die Kosten für die Kampfmittelräumung, die hochgradig von der Kampfmitteldichte auf den zu bearbeitenden Flächen abhängig ist, wurden nicht einberechnet.

Für die Bedienung der technischen Gerätschaften wird vom Autor ein Personalansatz von 10 Funktionen veranschlagt, die im Tagesdienst das präventive Ausbrennen der Parzellen des „Butterkeks-Systems“ durchführen und absichern sollen: zum Verlegen und Aufnehmen der Schläuche sind zwei Funktionen pro Wechselladerfahrzeug vorgesehen, eine Funktion soll das Hydrosub 250 Pumpenmodul bedienen, vier Funktionen auf dem Gerätewagen Logistik sollen den Aufbau der Löschdrohnen und Düsenschläuche bewerkstelligen und eine Funktion soll die Leitung übernehmen. Die Löschdrohnen werden nach Abschluss der Aufbauarbeiten von den oben aufgezählten Funktionen, ggf. unterstützt durch ehrenamtliche Kräfte, bedient. Legt man aufgrund von Urlaub, Krankheit oder anderen Ursachen einen Personalausfall von 30 Prozent (geschätzt) zugrunde und zieht die 2014 vom Bundesministerium der Finanzen ausgegebenen Personalkostensätze¹²⁶ zur Berechnung heran, ergeben sich jährliche Personalkosten von ca. 700.000 Euro, das entspricht ca. 53.500 Euro pro feuerwehrtechnischer Planstelle und Jahr.

Für die Umsetzung des hier vorgeschlagenen Konzeptes werden somit pro „Butterkeks-System“ Kosten in Höhe von 3 Millionen Euro erwartet, von denen ca. 700.000 Euro jährlich als Personalkosten fällig werden. Eine detaillierte Aufschlüsselung aller bekannten Kosten findet sich im Anhang. Wie bereits erwähnt, verbleiben jedoch weitere, nicht einschätzbare Kostenpositionen zum Wassertransport auf der Schiene, der Brandfrüherkennung aus der Luft und der Kampfmittelräumung, die im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden konnten.

Wie viele „Butterkeks-Systeme“ insgesamt geplant werden müssen, vermag der Autor nicht zu sagen, da dies stark abhängig von den spezifischen örtlichen Gegebenheiten ist, zumal die Dichte der einzurichtenden „Butterkeks-Systeme“ sich nach der Einstufung der Schutzwürdigkeit von Einsiedlerhöfen, Siedlungen, Dörfern, Städten und Naturschutzgebieten richtet.

5 Ausblick

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ansätze zum Umgang mit Vegetationsbränden auf munitionsbelasteten Gebieten fokussieren sich sehr stark auf präventive Maßnahmen mit relativ langer Umsetzungsdauer – vor allem bezogen auf das Wachstum der Laubwaldriegel. Die Wirksamkeit der anberaumten Maßnahmen verlagert sich dadurch um mehrere Jahre in die Zukunft und kann in der Zwischenzeit durch derzeit nicht vorhersehbare Störeinflüsse beeinträchtigt werden: Dies können ausgedehnte Trockenperioden oder Vegetationsbrände sein, die den Wuchs der ausgesäten Bäume verlangsamen oder sogar zunichtemachen, aber auch vollkommen andere Entwicklungen der Bewuchsflächen als sie aufgrund der theoretischen Betrachtungen in dieser Arbeit zu erwarten gewesen wären. Es ist daher sinnvoll, einen pluralistischen Ansatz zu wählen, bei dem neben der Birke oder Robinie noch verschiedene weitere, von forstwirtschaftlichen Fachleuten für geeignet gehaltene Bäume in die Laubwaldriegel eingebracht werden. Zur adäquaten Durchführung einer solchen Variation sind neben fundiertem Sachverstand auch die personellen Ressourcen zur engmaschigen Dokumentation und wissenschaftlichen Analyse der Erkenntnisse erforderlich. Daher empfiehlt der Autor, die kleinteiligen Parzellen der „Butterkeks-Systeme“ als Studienobjekt für Forschungsprojekte zu verwenden und somit die für die Zukunft am besten geeigneten Baum- und Pflanzenarten zu ermitteln. Durch die Maßnahme wäre eine generische Fortentwicklung der Laubwaldriegel, inklusive der Anpassung an die verschiedenen Boden- und Klimaveränderungen, möglich.

Da nicht nur das Wachstum der ausgesäten Bäume, sondern auch die vorhergehende Kampfmittelberäumung eine Begrenzung der Umsetzungsgeschwindigkeit darstellt, kämen die Ergebnisse des Forschungsprojektes zur Eignung der verschiedenen Baumarten vermutlich noch ausreichend zeitig, um in die Planung weiterer Laubwaldriegelsysteme einfließen zu können. Nichtsdestotrotz sollte die Arbeitsgeschwindigkeit der Kampfmittelräumung durch unterstützende Forschung an neuen Detektions- und Räumungsmethoden erhöht werden. Mit steigender Effizienz des Verfahrens und somit gleichzeitig sinkenden Kosten sind nach und nach immer kleinteiligere Parzellierungen der betroffenen Flächen möglich, sodass engmaschigere Laubwaldriegel ein früheres Verlöschen der Vegetationsbrände bewirken können. Die Emission von Rauchgasen, die Vernichtung von ökologisch wertvollen Lebensräumen und nicht zuletzt die Gefährdung von Siedlungen und Dörfern könnten dadurch nochmals erheblich reduziert werden.

Aufgrund des sich abzeichnenden und von Experten in seiner Ausgestaltung skizzierten Klimawandels empfiehlt der Autor dringend, die Waldbrandpräventionsmaßnahmen wissenschaftlich begleiten zu lassen, um Unzulänglichkeiten der aktuellen Verfahrensweise frühzeitig erkennen und abstellen zu können. Neben den bereits ange deuteten Forschungsfeldern in Forstwissenschaft und Kampfmittelräumung sollen auch andere Disziplinen, die sich im Verlauf der Maßnahmen als hilfreich erweisen, einbezogen werden können. Nur mit breitem wissenschaftlichem Sachverstand lässt sich nach Auffassung des Autors eine angemessene Reaktion auf den Klimawandel, eine der größten Herausforderungen des noch jungen Jahrtausends, entwerfen.

Literaturverzeichnis

1. Cimolino, U. Einsätze bei Munitionsverdachtsflächen. *Brandschutz* **12**, 978–986 (2019).
2. Cimolino, U. Ursachen von Vegetationsbränden. *Brandschutz* **12**, 987 (2019).
3. Zawadke, T. Vegetationsbrände - eine unterschätzte Gefahr? *Brandhilfe* **9**, 22–25 (2018).
4. Sonderheft: Wald- und Flächenbrandbekämpfung. *Feuerwehr-Magazin* (2016).
5. Hanl, A. Waldbrände in Deutschland. *Brandschutz* **10**, 756–760 (2018).
6. Hanl, A. Effektive Vorbereitung auf Waldbrände. *Brandschutz* **9**, 699–702 (2019).
7. Ludewig, S. Test im Beelitzer Stadtwald. *Feuerwehr-UB* 38–39 (2019).
8. Burhoff, M. Ausstattungskonzept für Waldbrandbekämpfung. *Feuerwehr Einsatz:NRW* 10–13 (2019).
9. Cimolino, U. Vegetationsbrandbekämpfung - und das Klima bzw. Wetter. *vfdb Zeitschrift* 184–190 (2019).
10. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2013*. (2013).
11. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2014*. (2014).
12. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2015*. (2015).
13. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2016*. (2016).
14. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2017*. (2017).
15. Lachmann, M. *Waldbrandstatistik 2018*. (2018).
16. Waldbrandschutzkonzept für die Lübtheener Heide. 09.09.2019 (2019). Available at: <https://www.forstpraxis.de/waldbrandschutzkonzept-fuer-die-luebtheener-heide/>. (Accessed: 30th September 2019)
17. DWD. Zeitreihen und Trends. *abgerufen: 30.09.2019* 1 (2019). Available at: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html#buehneTop>.
18. *Waldbrände 2018 im Land Brandenburg*. (2018).
19. MDR. Der Südharz: ein Jahr nach Orkantief Friederike. (2019). Available at: <https://www.mdr.de/sachsen-anhalt/magdeburg/harz/ein-jahr-nach-orkan-friederike-100.html>. (Accessed: 10th October 2019)
20. Westfalenblatt. Landesverband zieht Zwischenbilanz. (2018). Available at: <https://www.westfalen-blatt.de/OWL/Kreis-Lippe/Kalletal/3170682-Orkan-Friederike-verursacht-Sturmholz-von-52.000-Festmetern-Landesverband-zieht-Zwischenbilanz>. (Accessed: 10th October 2019)
21. Forstpraxis. Ein Jahr nach Friederike in NRW. (2019). Available at: <https://www.forstpraxis.de/ein-jahr-nach-friederike-in-nrw>. (Accessed: 10th October 2019)

22. Forstpraxis. Hessen: Friederike und die Folgen. (2019). Available at: <https://www.forstpraxis.de/hessenforst1-jahr-nach-friederike/>. (Accessed: 10th October 2019)
23. Forstpraxis. Deutschland: Frühjahrsstürme fordern etwa 2 Mio. Festmeter Sturmholz. (2019). Available at: <https://www.forstpraxis.de/deutschland-fruehjahrsstuerme-fordern-etwa-2-mio-fm-sturmholz>. (Accessed: 10th October 2019)
24. Cimolino, U., Südmersen, J. & Neumann, N. *Standard-Einsatz-Regeln: Wald- und Flächenbrandbekämpfung*. (Ecomed, 2019).
25. Goldammer, J. G. Waldbrandvorbeugung und die Übertragbarkeit von Konzepten aus den USA. *Allg. Forstzeitschrift* **37**, 1078–1080 (1982).
26. Südmersen, J. Grundlagen der Vegetationsbrandbekämpfung. in *S Waldbrand* 198 (IdF NRW, 2019).
27. Cimolino, U. Analyse der Einsatzerfahrungen und Entwicklung von Optimierungsmöglichkeiten bei der Bekämpfung von Vegetationsbränden in Deutschland. (Bergische Universität Wuppertal, 2014).
28. Liebeneiner, E. Lehren aus den Waldbrand-Berichten im Kieferngebiet. *Allg. Forstzeitschrift* **37**, 1072–1073 (1982).
29. Axinger, M., Cimolino, U., Donner, H.-J. & Südmersen, J. *DFV-Fachempfehlung: Sicherheit und Taktik im Waldbrandeinsatz*. (2018).
30. Enke, T. *Landmines, Explosive Remnants of War and IED Safety Handbook*. (United Nations Mine Action Service, 2015).
31. Bekemeier, K. & Eser, H.-P. Experteninterview: Vorgehen zur Beseitigung von (Klein-)Kampfmitteln. (2019).
32. 'Es ist zu gefährlich!' - Interview mit Kreisbrandmeister Gerd Heine. 17.04.2013 (2013). Available at: <https://www.maz-online.de/Lokales/Teltow-Flaeming/Es-ist-zu-gefaehrlich>. (Accessed: 30th September 2019)
33. Hübener, H. & Al., E. *ReKliEs-De-Ergebnisbericht*. (2017).
34. Goldammer, J. G. Zur Entwicklung der Waldbrandsituation in der Bundesrepublik Deutschland. *Allg. Forstzeitschrift* **37**, 1074–1077 (1982).
35. Diverse. *Waldbrände - Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns*. (Staatliche Feuerweherschulen Bayerns, 2017).
36. Patzelt, S. Waldbrände und deren Bekämpfung - die Lektion gelernt? *Florian Hessen* **11**, 18–22 (2005).
37. Unsere Feuer machen wir selber aus. *Der Spiegel* **34**, 17–26 (1974).
38. Meier, R.-R. Seminar Vegetationsbrandbekämpfung. in *S Waldbrand* 34 (2019).
39. Sanders, T. Experteninterview mit Dr. Tanja Sanders vom Thünen Institut für Waldökologie. (2019).
40. Bauer, F. & Zimmermann, M. *Der Wald in Zahlen von A-Z*. (Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 1963).

41. Brunn, E. Fire Management on Federal Real Estate in Brandenburg. *Int. For. Fire News* **38**, 67–74 (2009).
42. Voss, M., Fischer, B., Rathjens, H. & Ralle, A. Waldbrand in Schweden. *Brandschutz* 880–889 (2018).
43. Hegemann, J.-E. Friendly Fire. *Feuerwehr-Magazin* **1**, 14–19 (2019).
44. Goldammer, J. G. Application of Prescribed Burnings in Pine Stands in Germany to Reduce Wildfire Hazard. *Int. For. Fire News* **38**, (2009).
45. Anonym. Flammender Naturschutz. *Zeit Online* (1998). Available at: https://www.zeit.de/1998/27/199827.feuer_.xml. (Accessed: 25th October 2019)
46. Weiland, S. Deutschland wartet weiter auf Löschflugzeuge. *21.05.2019* (2019). Available at: <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/duerre-und-loeschflugzeuge-gruene-irene-mihalic-kritisiert-planung-der-regierung-a-1268561.html>. (Accessed: 10th October 2019)
47. Arnu, T. Deutschland wird ein Waldbrandland – ein Interview mit Prof. Dr. Johann Goldammer. *24.07.2018* (2018). Available at: <https://www.sueddeutsche.de/panorama/naturkatastrophen-deutschland-wird-ein-waldbrandland-1.4068039>. (Accessed: 10th October 2019)
48. Peter, T. FDP fordert Investitionen in Löschflugzeuge. *28.07.2019* (2019). Available at: <https://www.haz.de/Nachrichten/Politik/Deutschland-Welt/FDP-fordert-Investitionen-in-Loeschflugzeuge>. (Accessed: 10th October 2019)
49. Cimolino, U. Waldbrandgefahren in NRW - Waldbrandtaktik. in *S Waldbrand* 50 (2019).
50. Mahler, S., Rust, H. & Zawadke, T. Drohnen: Anwendungen und Grenzen im Brand- und Katastrophenschutz. *Brandschutz* 38–43 (2018).
51. Weber, U. Infos aus der Luft für Hilfe auf dem Boden. *Feuerwehr-UB* 34–35 (2019).
52. Jann, T. Krieg gegen das Feuer. *Feuerwehr-Magazin* 34–37 (2019).
53. Jann, T. Gefährlicher Waldbrand. *Feuerwehr-Magazin* 26–33 (2019).
54. *Unexploded Ordnance (UXO) Procedures - Field Manual*. (Headquarter Department of the Army, 2005).
55. Waldgesetz des Landes Brandenburg. *20.04.2004* Available at: <https://bravors.brandenburg.de/gesetze/lwaldg>. (Accessed: 29th October 2019)
56. Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen. *23.20.2019* (2019). Available at: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=100000000000000000274. (Accessed: 29th October 2019)
57. Hessisches Waldgesetz. *09.07.2013* (2013). Available at: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjQ6py2ncHIAhXBxMQBHZIRCBcQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fumwelt.hessen.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedia%2Fhmuely%2Fhwaldg_he_-hessisches_waldgesetz_20.05.2016_13. (Accessed: 29th October 2019)

58. Landeswaldgesetz Baden-Württemberg. Available at: <https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwikgdbdncHIAhUFwMQBHT1XAaAQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fwww.landesrecht-bw.de%2Fportal%2F%3Fquelle%3DJlink%26query%3DWaldG%2BBW%26psml%3Dbsbawueprod.psml%26max%3Dtru>. (Accessed: 29th October 2019)
59. Niedersächsisches Gesetz über den Wald und die Landschaftsordnung. 21.03.2003 Available at: www.ml.niedersachsen.de/download%2F83140%2FNiedersaechsisches_Gesetz_ueber_den_Wald_und_die_Landschaftsordnung_NWaldLG_vom_21._Maerz_2002_Stand_13.10.2011.pdf. (Accessed: 29th October 2019)
60. Waldgesetz für das Land Mecklenburg-Vorpommern. 12.06.2011 Available at: <https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fges%2FMVLWaldG%2Fcont%2FMVLWaldG.htm>. (Accessed: 29th October 2019)
61. Gesetz zur Erhaltung und Bewirtschaftung des Waldes, zur Förderung der Forstwirtschaft sowie zum Betreten und Nutzen der freien Landschaft im Land Sachsen-Anhalt. 25.02.2016 Available at: <http://www.landesrecht.sachsen-anhalt.de/jportal/portal/page/bssahprod.psml?quelle=jlink&query=WaldG+ST&psml=bssahprod.psml&max=true&aiz=true>. (Accessed: 29th October 2019)
62. Waldgesetz für den Freistaat Sachsen. 11.05.2019 Available at: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/5405-SaechsWaldG>. (Accessed: 29th October 2019)
63. Graf von Spee, F. & Drixelius, G. Experteninterview: Waldbauliche Optionen auf trockenen Böden und deren Bedürfnisse. (2019).
64. *Arbeitshilfen zur wirtschaftlichen Erkundung, Planung und Räumung von Kampfmitteln auf Liegenschaften des Bundes*. (Bundesministerium der Verteidigung, 2007).
65. *Urteil des Verwaltungsgerichtes Düsseldorf vom 09.06.1999, Aktenzeichen 18K5731/97, IBR 2000, 138=BauR2000, 777*.
66. *VOB Teil C, Punkte 0.1.15-0.1.17*.
67. Siewert, D. et al. Broschüre: 'Kampfmittelfrei Bauen'. (Hauptverband der Bauindustrie, 2014).
68. Störmann, D. Waldbrand in Mecklenbur führt zu amtlicher Gefahrenmitteilung. *Radio Berlin Brandenburg* (2019). Available at: <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2019/07/waldbrand-mecklenburg-gefahrenmitteilung-geruch-berlin-brandenburg.html>. (Accessed: 22nd October 2019)
69. Goldammer, J. G. Fire Management on Terrain Contaminated by Radioactivity, Unexploded Ordnance (UXO) and Land Mines. *Int. For. Fire News* **40**, 76–109 (2010).
70. Feuerwachtürme zur Waldbrandfrüherkennung in Brandenburg. Available at: <https://forst.brandenburg.de/lfb/de/themen/wald-schuetzen/waldbrandgefahr-in-brandenburg/>. (Accessed: 12th December 2019)
71. Quick, D. Autonomous air tankers could soon joining the fire-fighting fray. 18.01.2018 Available at: <https://newatlas.com/autonomous-air-tanker->

- firefighting/53029/. (Accessed: 29th October 2019)
72. Simon, H. Grundsätze für die Projektierung von Waldbrandriegelsystemen und ihr Realisierungsstand. *Unser Brand*. 21–23 (1982).
 73. Deutscher Wetterdienst. Waldbrandgefahrenindex. Available at: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/waldbrandgef/waldbrandgef.html>. (Accessed: 12th December 2019)
 74. Werner, I. Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nachnutzung militärischer Liegenschaften am Beispiel des ehemaligen Truppenübungsplatzes 'Königsbruck'. (Technische Universität Cottbus, 2009).
 75. *Einsatz von Geoinformationen in den Städten - Positionspapier des Deutschen Städtetages*. (2015).
 76. Dunkel, S. Einsatz von Geoinformationen - das schnelle Wo?! *Brandschutz* 396–398 (2018).
 77. Fackler, M. GIS Kataster im Vorbeugenden Brandschutz bei Brandschutzdienststellen. (Facharbeit im Rahmen der Ausbildung für das zweite Einstiegsamt der Laufbahngruppe 2 des höheren feuerwehrtechnischen Dienstes, 2018).
 78. Walz, U. & Wagenknecht, S. Stand und Trends des Einsatzes von GIS bei Schutzgebietsverwaltungen. *Naturschutz und Landschaftsplan*. **42**, 188–192 (2010).
 79. NavLog - ohne Umwege durch den Wald. (2019). Available at: <https://navlog.info/>. (Accessed: 8th November 2019)
 80. NavLog Landeslizenz NRW. (2019). Available at: <https://navlog.info/informationen/21-landeslizenzen/67-landeslizenz-nrw>. (Accessed: 8th November 2019)
 81. Rettung im Wald mit Blaulicht und SiReNe. *Feuerwehr-UB* (2019). Available at: <https://www.feuerwehr-ub.de/aktuelle-meldungen/rettung-im-wald-mit-blaulich-und-sirene/>. (Accessed: 8th November 2019)
 82. Goldammer, J. G. *et al.* An Innovative Conceptual Model of a Forest Fire Management Information and Decision-Support System for Brandenburg State, Germany. *Int. For. Fire News* **37**, 88–102 (2008).
 83. Potthast, F. Drohnen bei der Waldbrand-Erkundung. *Brennpunkt* 36–40 (2019).
 84. Die Drohne Luna NG. *EMT-Penzberg* (2019). Available at: <https://www.emt-penzberg.de/produkte/luna-next-generation/luna-ng-spezifikationen.html>. (Accessed: 21st October 2019)
 85. Knoll, A. Experteninterview: Möglichkeiten der Drohnentechnik (telefonisch). *Tech. Hochschule München* (2019).
 86. Eritsov, A. M. & Goldammer, J. G. Aerial Fire Management on Terrain Contaminated by Radioactivity. *Int. For. Fire News* **40**, 76–109 (2010).
 87. Thailand pflanzt Millionen von Bäumen mit Hilfe von Samenbomben. (2016). Available at: <https://www.gute-nachrichten.com.de/2016/07/umwelt/thailand-pflanzt-millionen-baeume-mithilfe-von-samenbomben/>. (Accessed: 17th October 2019)

88. 'Seed Bombing' Initiative Plants 900000 Trees Daily. (2019). Available at: <https://big-john.com/uncategorized/seed-bombing-initiative-plants-900000-trees-daily/>. (Accessed: 17th October 2019)
89. Dragon Drones: Flame throwers fighting fire with fire. *The Guardian* (2019). Available at: <https://www.theguardian.com/us-news/2019/sep/03/wildfires-drones-controlled-prescribed-burns>. (Accessed: 22nd October 2019)
90. Aerial Fire Drone passes homestead test. *University of North Carolina* (2019). Available at: <https://news.unl.edu/newsrooms/today/article/aerial-fire-drone-passes-homestead-test/>. (Accessed: 22nd October 2019)
91. Angebot IGNIS Drones, eingegangen am 22.10.2019. (2019).
92. Repinski, G. & Traufetter, G. Melden macht frei. *Der Spiegel* **33**, 29–32 (2015).
93. Einsatz und Kosten der Hubschrauberstaffel der Polizei: Denkschrift des Rechnungshofes Baden-Württemberg. (2011). Available at: <https://www.rechnungshof.baden-wuerttemberg.de/de/veroeffentlichungen/denkschriften/254912/254957.html>. (Accessed: 8th November 2019)
94. Bekämpfung von Cannabisplantagen durch Fliegerstaffeln der Bundespolizei. *Drucksache Dtsch. Bundestag* **18/9925**, 1–4 (2016).
95. LUF 60 Spezifikationen. (2019). Available at: <https://www.luf60.at/de/loeschunterstuetzung/loeschroboter-luf-60/>. (Accessed: 25th October 2019)
96. Fire Crabber Spezifikationen. (2019).
97. DOK-ING MVF-5 Spezifikationen. (2019). Available at: https://www.dok-ing.hr/products/firefighting/mvf_5. (Accessed: 25th October 2019)
98. Thermite RS1-T4 und RS3-T1 Spezifikationen. (2019). Available at: <http://www.roboticfirefighters.com/>. (Accessed: 25th October 2019)
99. Magirus AirCore Spezifikationen. (2019). Available at: <https://www.magirusgroup.com/de/de/produkte/spezialfahrzeuge/aircore/>. (Accessed: 25th October 2019)
100. Waldner, D. *Angebot FireCrabber*. (2019).
101. Ferngesteuerter Feuerlöschroboter | Firefighting – Fire & Rescue Training. (2019). Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=UUTDXUzT8mI>. (Accessed: 28th October 2019)
102. Iconos Düsenschläuche mit 2 Millimeter-Düsen. Available at: <https://www.iconos-system.com/duesenschlauch/>. (Accessed: 25th October 2019)
103. Iconos Löschexpress. Available at: <https://www.iconos-system.com/loeschexpress/>. (Accessed: 25th October 2019)
104. Baier, O. *Hytrans Fire System HydroSub 250*. (2019).
105. Hytrans Fire System Hoselayer. Available at: <https://hytrans.com/de/produkte/schlauch-handhabung/p/hoselayer>. (Accessed: 28th October 2019)

106. Albers Alligator Winbag. Available at: <https://www.albersalligator.com/industrial-liquids/alligator-winbag/?lang=en>. (Accessed: 28th October 2019)
107. Albers Alligator L-Tank. Available at: <https://www.albersalligator.com/industrial-liquids/l-tank/?lang=en>. (Accessed: 28th October 2019)
108. Seipelt, F. *Winbags als Löschwassertank*. (2019).
109. Vakuumfass und Güllefass von Fliegl Agrartechnik. Available at: <https://www.fliegl-agrartechnik.de/vakuumfass-und-guellefass-von-fliegl/150/868/206>. (Accessed: 28th October 2019)
110. DB Güterwagenkatalog. Available at: <https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/de/gueterwagenkatalog/wagengattung/gen/kesselwagen/>. (Accessed: 28th October 2019)
111. Nienstädt: Kesselwagen werden im Bahnhof verschrottet. Available at: <https://www.shg-aktuell.de/2019/08/09/nienstaedt-kesselwagen-werden-im-bahnhof-verschrottet/>. (Accessed: 28th October 2019)
112. Hytrans Fire System - Informationen zur Brandbekämpfung. Available at: <https://hytrans.com/de/anwendungen/brandbekampfung>. (Accessed: 28th October 2019)
113. Tagesordnungspunkt 6: Beschaffung eines Abrollcontainers 'Tank' als überörtliches Gerät für den Landkreis Miltenberg. (2017). Available at: https://www.landkreis-miltenberg.de/buergerinfo/to0050.asp?__ktonr=9796. (Accessed: 11th November 2019)
114. Wehren erhalten zwei Abrollcontainer. Available at: http://www.landkreis-birkenfeld.de/city_info/webaccessibility/index.cfm?item_id=834731&modul_id=2&record_id=33799. (Accessed: 11th November 2019)
115. Resümee Fahrzeugkonzept TLF + AB-Tank. (2016). Available at: <https://www.ff-schwaz.at/2016/12/26/26-12-2016-resuemee-fahrzeugkonzept-tlf-ab-tank/>. (Accessed: 11th November 2019)
116. Vorlage - VO/1747/17. (2017). Available at: <https://www.stadt-neustadt.de/buergerinformationssystem/vo020.asp?VOLFDNR=2404>. (Accessed: 8th November 2019)
117. Neues Feuerwehrfahrzeug für Waldmünchen. Available at: <https://www.mittelbayerische.de/region/cham-nachrichten/neues-feuerwehrfahrzeug-fuer-waldmuenchen-20909-art1739488.html>. (Accessed: 8th November 2019)
118. Feuerwehr stellt 160.000 € teuren Wechsellader in Dienst. *RP Online* Available at: https://rp-online.de/nrw/staedte/grevenbroich/feuerwehr-grevenbroich-stellt-160000-euro-teuren-wechsellader-in-dienst_aid-35688633. (Accessed: 8th November 2019)
119. Feuerwehr Altenburg bekommt neues Fahrzeug. Available at: <https://www.lvz.de/Region/Altenburg/Feuerwehr-Altenburg-bekommt-neues-Fahrzeug>. (Accessed: 8th November 2019)
120. *Online-Preisaukunft Düsenschläuche Carl-Henkel GmbH*. (2019).
121. Online-Preisaukunft zu Raupendumpfern bei motorland.de. (2019).

122. Neuer 15-Tonner für die Feuerwehr. *Schaumburger Nachrichten* (2017). Available at: <https://www.sn-online.de/Schaumburg/Niedernwoehren/Samtgemeinde-Niedernwoehren/Neuer-15-Tonner-fuer-die-Feuerwehr>. (Accessed: 11th November 2019)
123. Feuerwehrhaus muss vor Lieferung des neuen Autos stehen. *Neue Presse* (2019). Available at: <https://www.neuepresse.de/Region/Uetze/Nachrichten/Uetze-Feuerwehrhaus-muss-vor-Lieferung-des-neuen-Autos-steinen>. (Accessed: 11th November 2019)
124. Auszug aus der Niederschrift der 5. Sitzung des Finanzausschusses. (2014). Available at: <https://buergerservice.gapa.de/buergerservice/sitzungen/sitzungsprotokoll-oeffentlich/fa/2014-2015/5.pdf>. (Accessed: 11th November 2019)
125. Aus dem Gemeinderat - Bericht der Gemeinderatssitzung vom 25.11.2013. *Gemeinde Rosenberg* (2013). Available at: [https://www.gemeinde-rosenberg.de/index.php?id=327&type=98&publish\[id\]=321633&publish\[start\]=&](https://www.gemeinde-rosenberg.de/index.php?id=327&type=98&publish[id]=321633&publish[start]=&). (Accessed: 11th November 2019)
126. Sur, T. & Haubner, M. *Personalkosten in der Bundesverwaltung für Kostenberechnungen*. (Bundesministerium der Finanzen, 2015).

Symbolverzeichnis

Abkürzungen

AB	Abrollbehälter
BKS	Brandstellenkraftspritze
DDR	Deutsche Demokratische Republik
GIS	Geoinformationssystem
km/h	Stundenkilometer
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Flugdrohne)
UGV	Unmanned Ground Vehicle (bodengebundene Drohne)

Umrechnung von Einheiten

1 ha	10.000 m ²
1 km	1.000 m
1 m ³	1.000 L

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Schematische, nicht maßstabsgetreue Abbildung des erwogenen Laubwaldriegelsystems. Aufgrund der Ähnlichkeit zu einer Gebäcksorte wird es als „Butterkeks-System“ bezeichnet.....15

Abbildung 2. Schematische Darstellung einer für präventive Landschaftspflegebrände vorbereiteten Verteidigungsstellung. Löschdrohnen und Düsenschläuche werden separat mit Wasser gespeist.18

Abbildung 3. Die Drohne *LUNA* (vor dem Update zu *LUNA NG*) im Einsatz bei der Bundeswehr. Abgedruckt mit Erlaubnis der Bundeswehr. Foto: Björn Trotzki/Bundeswehr.....34

Anhang

Aufschlüsselung der Kosten für das feuerwehrtechnische Gerät

Auf den folgenden Seiten sind die Preisinformationen der im Textteil erwähnten Einzelkomponenten aufgeführt, die dem Autor von Unternehmen bei der Recherche für die vorliegende Arbeit zugesandt wurden. Die angesprochenen Unternehmen wurden mit Eingang der Anfrage darüber aufgeklärt, dass die Angebote und Preisinformationen zur Erstellung einer wissenschaftlichen Arbeit dienen und daher nicht zur Bedienung einer aktuellen Ausschreibung gedacht sind.

Die in dieser Arbeit erwähnten Produkte sind exemplarisch ausgewählt und sollen keine Präferenz oder Empfehlung des Autors für ein bestimmtes Produkt ausdrücken.

Position	Preis pro Stück	Anzahl	Gesamtkosten
Wasservorhaltung und Versorgung			
Hytrans HydroSub 250	750.000 €	1	750.000 €
Wechseladerfahrzeug	160.000 €	2	320.000 €
Löschwasserlagersäcke	15.500 €	9	139.500 €
Aufrollsystem für Löschwasserlagersäcke	32.200 €	1	32.200 €
Abrollbehälter Wasser	125.000 €	1	125.000 €
<u>Zwischensumme Wasservorhaltung und Versorgung</u>			<u>1.367 Mio. €</u>
Brandbekämpfung und Drohnentechnik			
Gerätewagen-Logistik	200.000 €	1	200.000 €
Düsenschläuche	1.450 €	18	26.100 €
Raupendumper	2.000 €	1	2.000 €
FireCrabber Drohne	63.000 €	10	630.000 €
IGNIS FireDrone	32.000 €	1	32.000 €
<u>Zwischensumme Brandbekämpfung und Drohnentechnik</u>			<u>890.100 €</u>
Personalkosten (pro Jahr, nach Bundesministerium der Finanzen)			
Beamter LG 1, 2. EA	53.500 €	13	695.500 €
<u>Zwischensumme Personalkosten</u>			<u>695.500 €</u>
<u>Gesamtkosten</u>			<u>2,95 Mio. €</u>

Technische Daten der Drohne *LUNA NG*^a

<u>Abmessungen</u>	<u>Länge</u>	<u>Höhe</u>	<u>Spannweite</u>
	3,0 m	1,1 m	5,3 m
<u>Antrieb</u>	10 kW Einspritzmotor, Multi Fuel		
<u>Flugleistung</u>	<u>Dienstgipfelhöhe</u>	<u>Typische Flugeschwindigkeit</u>	<u>Flugdauer</u>
	> 5000 m	ca. 90 km/h	Bis zu 12 h
<u>Steuerung</u>	Automatikflug als 3 D Wegpunktliste oder ferngesteuert; Flugprogramme können während des Fluges verändert werden		
<u>Sensorik</u>	Schwenkbare Kamerasysteme für optische, infrarot und hyperspektrale Sensoren		
<u>Funkverbindung</u>	Duplex-Mikrowellenverbindung (C-Band), Richtantennen, Uplink für Steuerbefehle, Downlink für Videodaten in Echtzeit		
<u>Gewicht</u>	110 kg Startgewicht		

Die Drohne kann während des Flugbetriebs an andere Bodenkontrollstationen übergeben werden. Gestartet wird mittels eines Katapultes, gelandet wahlweise in kontrolliertem Anflug in ein Fangnetz oder mit Fallschirm.



Abbildung 3. Die Drohne *LUNA* (vor dem Update zu *LUNA NG*) im Einsatz bei der Bundeswehr. Abgedruckt mit Erlaubnis der Bundeswehr. Foto: Björn Trotzki/Bundeswehr

^a Daten teilweise wörtlich entnommen aus Literaturstelle 81



An Herrn
Stephan Vogt

Schleis, den 11.11.2019

ANGEBOT RAUPENFAHRZEUG Firecrabber Water²

Sehr geehrter Herr Vogt,

wie besprochen, möchten wir Ihnen ein detailliertes Angebot für das modulare Raupenfahrzeug für den Bereich Brand- und Katastrophenschutz zusenden.

Anwendungsbereiche im Detail:

- Brandbekämpfungsfahrzeug mit ferngesteuertem Monitor für Brandbekämpfung, Tunnelbrandbekämpfung und Katastrophenschutz.
- Zeitlich wesentlich verkürzte/r Transport und Logistik im Feuerwehreinsatz, Reduzierung der Gefahren für Einsatzkräfte sowie des Mannschaftsbedarfs und Reduzierung des kräfteintensiven Einsatzes egal ob im Flachland oder im steilen Gelände.
- Auf rutschigem und weichem Boden einsetzbar
- Bedienung mit handlicher und anwenderfreundlicher Funkfernbedienung
- Modular und vielseitig
- Transport mittels Anhänger oder Laderampe
- Ladegerät 30 ah 24 V mit Erhaltungsladung
- Batterie 24 V 160 ah AGM
- Geschwindigkeit 0-3 km/h
- CE Konformitätserklärung
- Wasserdichte Konstruktion



Das Raupenfahrzeug Grundgestell entspricht folgenden Richtlinien und Normen:

Maschinenrichtlinie 2006/42 EG

Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG

Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit 2004/108/EG

UNI EN ISO 12100-1: 2010

Die Gültigkeit des Angebots ist 60 Tage.

Zahlungsziel: 50% bei Vertragsabschluss 50% bei Lieferung des Firecrabbers.

Firecrabber Water ² mit Monitor 2700l/min	35.726,40 €
+ Aufbau mit Wärmebildkamera Lt 10	6.482,70 €
+ Absperrventil über Fernbedienung	2.381,40 €
+ elektronischer Wärmeschutz für Innenteile	921,38 €
Nettobetrag ohne MwSt.	45.511,88 €
Gesamtbetrag	45.511,88 €
+ optional Geschwindigkeit 3 km/h	2.622,38 €
+ optional Transportkiste klappbar	1.913,63 €
+optional Monitor 65-750 l/min	2.551,50 €

Wir hoffen, mit unserem Angebot Ihren Vorstellungen zu entsprechen und Ihnen hilfreiche Informationen für eine Entscheidung geliefert zu haben. Für eventuelle Fragen stehen wir Ihnen selbstverständlich jeder Zeit zur Verfügung.

Gehen Sie mit uns durchs Feuer und sicher zum nächsten Einsatz!

Mit freundlichen Grüßen
Firecrabber vGmbH
David Waldner
Gamper Thomas



Vogt, Stephan (370)

Von: Oliver Baier | Hytrans® <Oliver.Baier@hytrans.com>
Gesendet: Mittwoch, 6. November 2019 16:44
An: Vogt, Stephan (370); 'peffi.vogt@googlemail.com'
Betreff: Angebot HFS

Sehr geehrter Herr Vogt,

ich habe mal schnell unser Berechnungsprogram hinzugezogen und ein paar Berechnungen auf Basis unserer Standard Einheiten HydroSub®150, HydroSub®250 und HydroSub®550F gemacht. Die von Ihnen genannten Anforderungen/Parameter sind sehr breit und können mit verschiedenen Systemen teilweise- oder ganz abgedeckt werden.

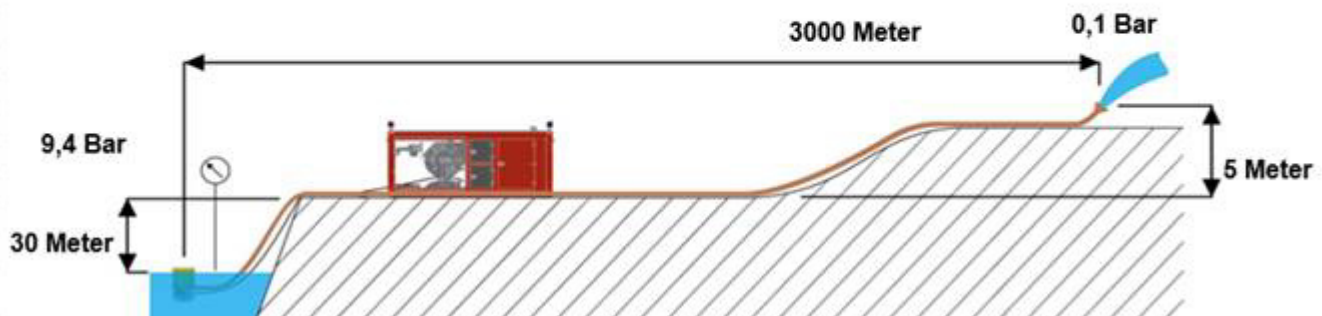
Beispiel A)

Mit unserer Standard HydroSub150 mit Lenzsatz wäre eine 3km Förderwegstrecke mit 4200lpm in einer Doppelleitung F möglich. Nachteil ist das wir keine Schaumzumischung in diese Einheit miteinbauen können und ein externes System genutzt werden müsste. Diese Lösung käme in der Basis auf rund € 550.000,- und würde bestehen aus : 1 x HS150 mit Lenzsatz, verlastet auf einem CombiContainerHRU200 welcher neben der HS150 auch 2km F-Schlauch transportieren kann (wie die KatS NRW Systeme), 1 x AB-Schlauch mit 4km DN150-F Druckschlauch und einem Schlaucheinzieh-Gerät HRU200. Dazu kämen dann noch Schlauchbrücken, Armaturen usw.

HFS Performance Calculator 2.53



Art des Systems	HydroSub		
Schaumzumischung nötig	NEIN		nominale Kapazität
Pumpe Typ & Ausführung	HS150 + HFS3000 HiFlow		8000 Liter / Min
Schlauchdurchmesser	6" (150mm) F		
Anzahl parallel verlegte Schlauchleitungen	2		
Max. Arbeitsdruck Schlauch	12 Bar Standard 10"-12"		
Erforderliche Förderleistung	4100	Liter / Min	
Erforderlicher Druck Schlauchende	0,1	Bar	
Pumpenförderhöhe	30	Meter	
geografische Förderhöhe	5	Meter	
Max. mögliche Förderwegstrecke	3000	Meter	

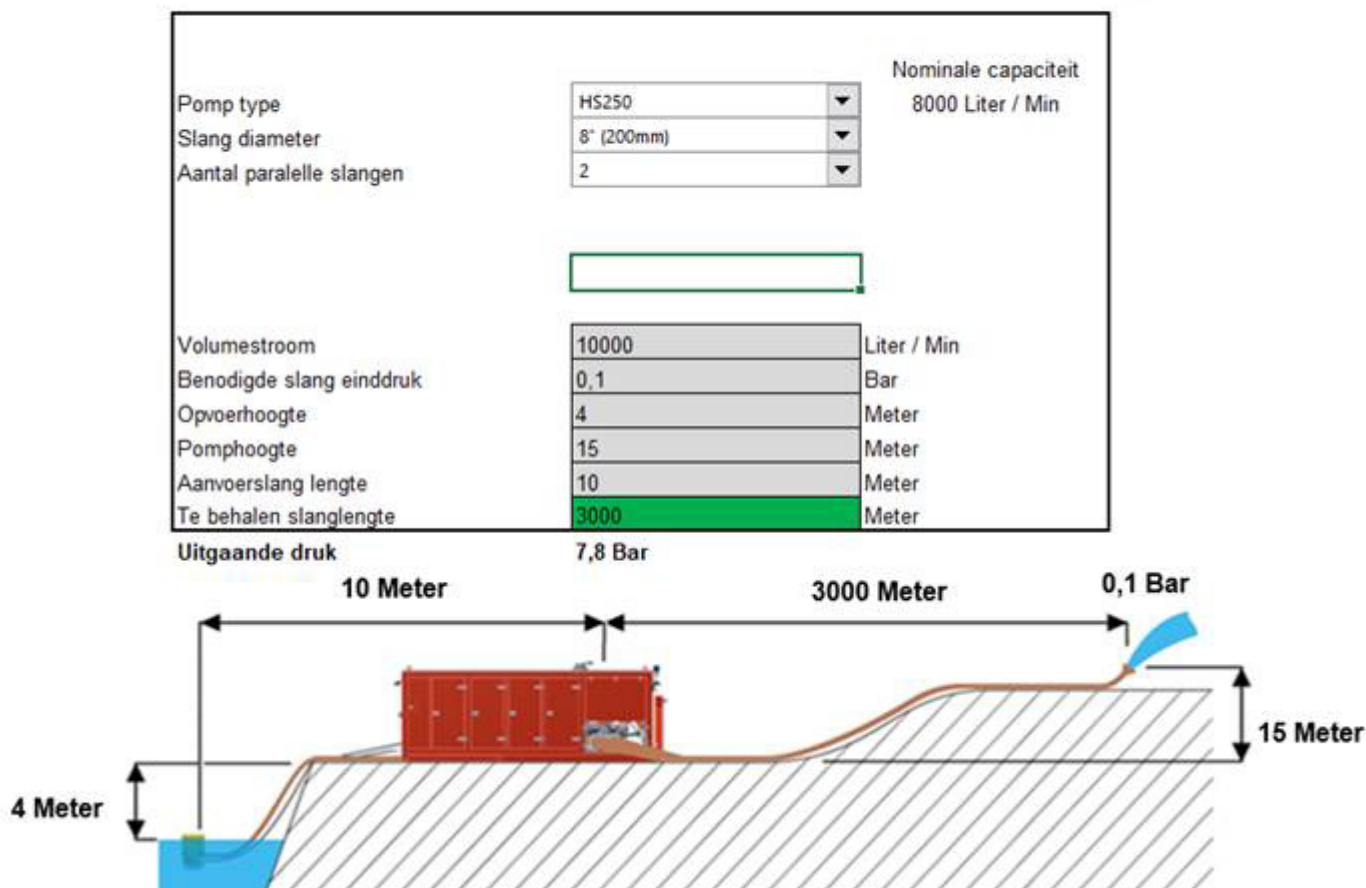


Beispiel B)

Wenn die 30 Meter Höhenunterschied auf 15 Meter- und die geodätische Höhe auf 4 Meter zurückgebracht werden können dann kann unserer neuen HydroSub®250 mit einer Doppelleitung DN200 die 10.000lpm über 3km fördern.

Nachteil ist das wir keine Schaumzumischung in diese Einheit miteinbauen können und ein externes System genutzt werden müsste. Diese Lösung käme in der Basis auf rund € 750.000,- und würde bestehen aus : 1 x HS250 auf Anhänger, 2 x AB-Schlauch mit jeweils 3km DN200 Druckschlauch und je einem Schlaucheinzieh-Gerät HRU200. Dazu kämen dann noch Schlauchbrücken, Armaturen usw.

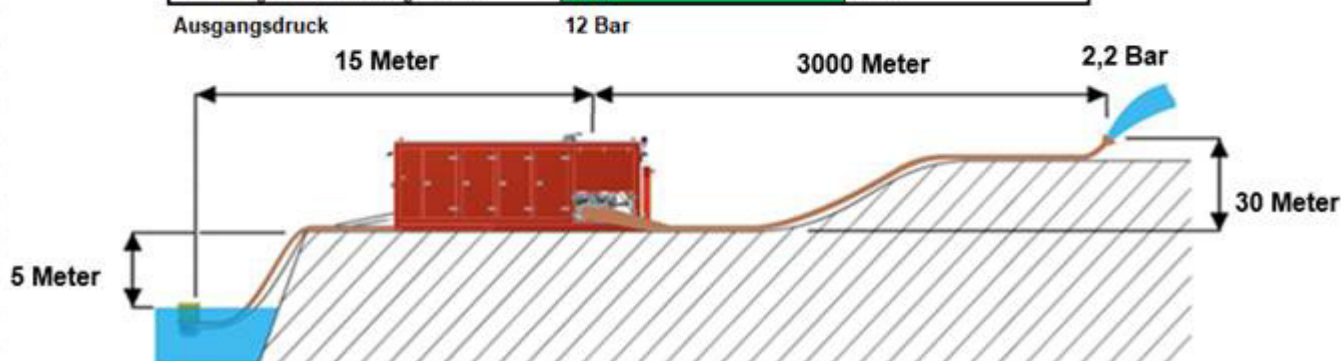
IFV Performance Calculator 1.0



Beispiel C)

ausgehend von dem Worst-Case-Szenario wäre eine HS550F (max. 15.000lpm bei 12 Bar) mit einer Doppelleitung DN200 nötig. Vorteil wäre das diese Einheit mit Schaumzumischung ausgerüstet werden kann. Nachteil ist der höhere Basispreis von ca. € 1.000.000,- bestehend im Groben aus einer HS550F, 2 x AB-Schlauch mit jeweils 3km DN200 Druckschlauch und je einem Schlaucheinzieh-Gerät HRU200. Dazu kämen dann noch Schlauchbrücken, Armaturen usw.

Art des Systems	HydroSub	
Schaumzumischung nötig	JA	
Pumpe Typ & Ausführung	H5550F	nominale Kapazität
Schlauchdurchmesser	8" (200mm)	15000 Liter / Min
Anzahl parallel verlegte Schlauchleitungen	2	
Max. Arbeitsdruck Schlauch	12 Bar Standard 10"-12"	
Prozentsatz Schaumzumischung	3,0	%
Erforderliche Förderleistung	10000	Liter / Min
Erforderlicher Druck Schlauchende	2,2	Bar
Pumpenförderhöhe	5	Meter
geografische Förderhöhe	30	Meter
Zufuhrschlauchlänge	15	Meter
Max. mögliche Förderwegstrecke	3000	Meter



Wie Sie sehen gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten und Lösungen welche zum Einsatz kommen könnten. Die Frage ist welche Konfigurationen logisch- und einsatztechnisch geeignet sind und welche Mittel zur Verfügung stehen.

Können Sie mit dieser Information schon mal etwas anfangen? Falls Sie ein Informationsangebot erhalten möchten und um längere Wartezeiten zu vermeiden wäre es auf Basis der momentan laufenden Anfragen, Projekten und Geschäftsreisen gut um die am meist geeignete Lösung zu definieren.

Best regards / Met vriendelijke groet / Mit freundlichen Grüßen,

Oliver Baier
Sales Manager



Hytrans Systems b.v. | Lemmer | The Netherlands
 Tel. : +31 (0)514 608996
 E-mail : sales.hfs@hytrans.com
 Web : www.hytrans.com
 Chamber of Commerce Leeuwarden 01033962

Van: Vogt, Stephan (370) <Stephan.Vogt@bielefeld.de>

Verzonden: dinsdag 5 november 2019 11:57

Aan: Sales.HFS | Hytrans® <Sales.HFS@hytrans.com>

Onderwerp: Angebot

Sehr geehrte Damen und Herren,

Vogt, Stephan (370)

Von: stephan.vogt <stephan.vogt@mail.idf.nrw.de>
Gesendet: Sonntag, 10. November 2019 13:06
An: Vogt, Stephan (370)
Betreff: Fwd: Aw: AW: winbags Löschwassertanks

Von meinem Samsung Galaxy Smartphone gesendet.

----- Ursprüngliche Nachricht -----

Von: Frank Seipelt <F.Seipelt@gmx.de>
Datum: 10.11.19 11:42 (GMT+01:00)
An: stephan.vogt@mail.idf.nrw.de
Betreff: Aw: AW: winbags Löschwassertanks

Sehr geehrter Herr Vogt,

die Firma Albers Alligator bietet drei Varianten zur Löschwasserbevorratung an:

1. Winbag, aufrollbarer Lagertank: der größte verfügbare winbag hat eine Kapazität von 350m³. Er ist 44m lang und 7,6m breit. Die maximale Füllhöhe beträgt 125cm. Winbags verfügen standardmäßig über zwei 6" Anschlüsse mit Perrot-Schieber können aber auch mit Storz-Kupplungen ausgestattet werden. Die ideale Einsatzmöglichkeit der winbags bei Bränden ist folgende:

Brennt es in abgelegenen Wald- oder Mooregebieten können winbags in aufgerolltem Zustand in das Einsatzgebiet gebracht und dort mit dem winsystem-Aufrollsystem abgerollt und anschließend mit Löschwasser befüllt werden. Das bedeutet, dass mit den winbags schnell und ohne Erd- und Verrohrungsarbeiten große Mengen an Wasser zwischengelagert werden können. Dadurch steht ein ausreichender Wasservorrat zur Verfügung, an dem sich die Einsatzfahrzeuge bedienen können. An den Standort der winbags werden keine Ansprüche gestellt, außer dass die Fläche eben und frei von sehr spitzen Gegenständen sein muss. Nach dem Einsatz werden die winbags aufgerollt und dabei wie eine Tube leer gepresst. Das winsystem verfügt über eine Dreipunktaufhängung für Traktor oder Unimog und einen Hydraulikantrieb. Es kann aber auch auf einem Trailer geliefert werden.

Der 350m³ winbag kostet 13.000 EUR netto, das winsystem-Aufrollsystem mit Dreipunktaufhängung kostet 15.000 EUR. Bei diesem System können die aufgerollten winbags samt Aufrollspindel abgenommen werden und dadurch kann ein winsystem eine beliebige Anzahl von winbags bedienen. Für die winbags müssen lediglich die Aufrollspindeln (1.925 EUR) mitbestellt werden.

Ein weiterer Einsatzbereich der winbags besteht darin, dass mit den winbags auch kontaminiertes Löschwasser nach einem Einsatz in Industriebetrieben gesammelt bzw. zwischengelagert werden kann.

2. L-Tank, flexibler Lagertank: L-Tanks sind einfache Lagertanks, die nicht aufrollbar sind. Sie werden mit Handschlaufen ausgestattet, so dass sie mit einigen Helfern ausgebreitet und wieder zusammengelegt werden können. L-Tanks sind in beliebiger Größe bis maximal 1.000m³ erhältlich. Zum Beispiel: 50m³, 10,00m x 5,69m x 1,25m (2.665,00 EUR); 100m³, 14,80m x 6,96m x 1,25m (3.825,00 EUR); 250m³, 21,60m x 10,77m x 1,25m (7.790,00 EUR); 500m³, 26,90m x 16,51m x 1,25m (12.580,00 EUR); 1.000m³, 39,90m x 21,59m x 1,25m (23.230,00 EUR).

Die ideale Einsatzmöglichkeit der L-Tanks ist folgende:

In entlegenen Wald- oder Mooregebieten können im Frühjahr L-Tanks abgelegt und mit Wasser befüllt werden. Dadurch steht im Brandfall ein "Start-Kontigent" an Löschwasser zur Verfügung, das im Einsatzfalle dann wieder befüllt werden kann. Am Ende der Brandrisiko-Periode können die L-Tanks entleert, abgeholt und eingelagert werden. Die L-Tanks sollten vor unbefugtem Zugriff mit Bauzäunen geschützt werden oder man fragt Landwirte in der Nähe, ob der Tank auf Ihrem Gelände abgelegt werden kann.

3. Bagtanks zur dauerhaften Lagerung von Löschwasser

Bagtanks sind sehr große Lagersäcke, die in eine vorbereitete Erdmulde installiert werden können und dauerhaft Löschwasser in einem Volumen von bis zu 7.000m³ vorhalten. Der größte bagtank mit 7.000m³, 66,00m x 34,54m, kostet 101.735 EUR. Im Vergleich zum offenen Löschwasserteich hat der bagtank den Vorteil, dass er als geschlossenes System die Verdunstung des Wassers verhindert.

Einfach Folienauskleidungen für Löschwasserteiche werden von Albers Alligator in beliebiger Größe angeboten.

Die verwendeten Folien sind absolut reißfest und UV-beständig und werden seit über 20 Jahren zur Wasser, Abwasser und Güllelagerung eingesetzt. Ich selbst habe die ersten bags 2005 in Russland verkauft, wo sie bis heute im Einsatz sind. Bei Bedingungen von +40°C im Sommer und -40°C im Winter.

Die großen Vorteile der Systeme von Albers Alligator liegen meiner Meinung nach bei den winbags und den L-Tanks. In diesem Sommer habe ich mit verschiedenen Verantwortlichen der Feuerwehrverbände bundesweit gesprochen. Die Resonanz war sehr positiv aber leider bin ich wohl nie zu den tatsächlichen Entscheidern durchgedrungen. Deshalb freue ich mich, wenn Sie es mit Ihrer Arbeit schaffen, die Systeme in Fachkreisen bekannter zu machen.

Wir werden uns auch auf einem kleinen Stand auf der Interschutz in Hannover präsentieren.

Zur Klärung weiterer Fragen stehe ich gerne zur Verfügung.

Viele Grüße

Frank Seipelt

Albers Alligator

Dr. Frank Seipelt - Handelsvertretungen

Schönemoorer Dorfstr. 63

D-27777 Ganderkesee

mob. +49 (0)171 21 86 469

f.seipelt@gmx.de

www.frankseipelt.de

Gesendet: Donnerstag, 07. November 2019 um 21:19 Uhr

Von: stephan.vogt@mail.idf.nrw.de

An: "Frank Seipelt" <F.Seipelt@gmx.de>

Betreff: AW: winbags Löschwassertanks

Sehr geehrter Herr Seipelt,

bitte verzeihen Sie meine verzögerte Reaktion, ich bin derzeit leider nur sporadisch mit Internet versorgt.

Ich benötige Informationen zu den Winbags: was sind die größten verfügbaren Größen? Welche genauen Maße haben diese? Was würde ein Winbag von der größten Sorte kosten? Gibt es Preisnachlass für die Bestellung größerer Mengen (>50)?

Zudem bräuchte ich noch Informationen zu anderen Produkten von Albers Alligator, die sich zur Löschwasservrohaltung eignen: Was ist die größte verfügbare Größe? Welche Maße hat diese? Was würde auch einer dieser Behälter kosten? Gibt es auch hier Preisnachlass für die Bestellung von mehreren (ca. 10)?

Bitte beachten Sie, dass ich die Informationen für eine wissenschaftliche Arbeit benötige, aus denen ich eine Handlungsempfehlung für Vegetationsbrände in munitionsbelasteten Gebieten formuliere.

Viele Grüße

Dr. Stephan Vogt

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Dr. Stephan Vogt, die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der von mir angegebenen Quellen angefertigt zu haben. Alle aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde noch keiner Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt.

Münster, 17.12.2019

.....

Dr. Stephan Vogt

Datenträger