

Holger Klein-Dietz
Brandamtmann
Feuerwehr Delmenhorst

Automatische Detektion von Vegetationsbränden

Facharbeit gemäß § 21 VAP2.2-Feu NRW

Abgabeort und -datum: Münster, den 20.12.2019

Aufgabenstellung

Im Rahmen der Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen gemäß § 21 der VAP2.2-Feu NRW (Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahnbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen) vom 11. März 2010 wird durch diese Facharbeit folgende Aufgabenstellung bearbeitet:

Automatische Detektion von Vegetationsbränden

Recherchieren Sie den Stand der Technik und der Forschung. Machen Sie Vorschläge, wie die verfügbaren Technologien weiterentwickelt und in den Bundesländern angewendet werden können.

Anmerkung

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Kurzfassung

Die vorliegende Facharbeit beschäftigt sich mit Systemen zur Vegetationsbrand-Früherkennung. Unter Vegetation werden in dieser Facharbeit alle Wald-, Heide-, Moor- und Graslandflächen subsumiert.

Die weltweit eingesetzten Systeme werden zum besseren Verständnis in drei Hauptgruppen (terrestrisch = erdgebunden, aeronautisch = luftgestützt und orbital = weltraumgestützt) unterteilt. Diese Unterteilung gibt Aufschluss über deren Einsatzgebiet. Die verfügbaren Technologien/Sensoren finden teilweise in allen drei Hauptgruppen Anwendung. Im Kapitel zwei sind die verschiedenen Sensoren und deren Wirkprinzipien beschrieben und die auf dem Weltmarkt verfügbaren und eingesetzten Systeme kurz erläutert. Es zeigt sich, dass gerade bei den terrestrischen Systemen eine Vielzahl von Produkten mit unterschiedlichen Funktions- und Wirkweisen verfügbar sind und daher ein entsprechender Wettbewerbskampf herrscht.

Die Akzeptanz des jeweiligen Systems ist nicht nur vom finanziellen Aufwand, der Bedienung und dem Leistungsspektrum abhängig, auch die Täuschungsalarmrate - vergleichbar mit Brandmeldeanlagen in baulichen Anlagen - ist ein wichtiges Kriterium für die Zustimmung und Zufriedenheit des Benutzers.

Wirksame Maßnahmen zum Schutz von Vegetationsgebieten basieren auf drei grundlegenden Säulen: der Vorbeugung, der Pflege und der Abwehr. Daher ist die Vegetationsbrand-Früherkennung ein wesentlicher Bestandteil des Vegetationsschutzes. Wie sich ein Bundesland aufstellt, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, u. a. wie z. B. Besiedlungsdichte, Gefahrenlage nach Waldbrandindex, Topographie. In den meisten Staaten der Welt liegt die Zuständigkeit bei den Forstbehörden, so auch in Deutschland. Die Feuerwehren haben nach ihren Brandschutzgesetzen keine Möglichkeiten aktiv auf die vorbeugenden Maßnahmen einzuwirken. Somit besteht eine zusätzliche Problematik der unterschiedlichen Zuständigkeiten, nicht nur auf ministerieller Ebene.

Im Kapitel drei dieser Facharbeit wird die Situation innerhalb von Deutschland erläutert und die unterschiedlichen Strategien zur Vorbeugung der Forstbehörden anhand einiger Bundesländer beschrieben. Davon lassen sich abschließend Strategien für eine Weiterentwicklung und Umsetzung ableiten.

Terrestrische Systeme sind für ein flächenmäßig kleines Land, wie die Deutschland, die sinnvollste Lösung und müssen mit direkten Schnittstellen zu den Feuerwehren vorhanden sein. Weitere organisatorische und technische Maßnahmen sind erforderlich um eine länderübergreifende, reibungslose Zusammenarbeit gewährleisten zu können.

Bedingt durch den Klimawandel ist mit einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit ausgedehnter und schlecht zu kontrollierender Vegetationsbrände zu rechnen. Die außergewöhnlichen Vegetationsbrandereignisse der letzten Jahre, legen die Sinnhaftigkeit erhöhter und bundesweit koordinierter Anstrengungen zur Prävention nahe.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.2	Allgemeines	1
1.3	Methodik	2
2	Technische Beschreibung der bestehenden	
	Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme	3
2.1	Optische, elektronische und akustische Wirkprinzipien	3
2.2	Beschreibung Terrestrische Systeme	6
2.2.1	Hersteller von terrestrischen Systemen	7
2.3	Beschreibung Aeronautische Systeme	11
2.3.1	Hersteller/Betreiber von aeronautischen Systemen.....	12
2.4	Beschreibung Orbitale Systeme	13
2.4.1	Hersteller/Betreiber von orbitalen Systemen	15
2.5	Technische Bewertung der vorhandenen Systeme	16
2.6	Technische Entwicklungspotentiale für Deutschland	18
3	Zuständigkeiten und Organisation für Vegetationsbrand-	
	Früherkennungssysteme	19
3.2	Aufgaben und Organisation der Forstbehörden	19
3.3	Schnittstelle Forstbehörden - Brandschutzdienststellen	21
4	Zusammenfassung	23
4.1	Organisatorische Potentiale für die Bundesländer	23
4.1	Weiterentwicklung technischer Maßnahmen	23
5	Quellenverzeichnis	26
	Abkürzungsverzeichnis	32
	Abbildungsverzeichnis.....	34
	Tabellenverzeichnis.....	35
6	Anhang	36
6.2	Abbildungen zu Vegetationsbranderkennungssystemen	36
6.3	Leitfragen für Interview mit Forstbehörden	43
	Eidesstattliche Erklärung	44

1 Einleitung

1.2 Allgemeines

Die Vegetation ist ein Sammelbegriff für sämtliche Pflanzen und Pflanzenformen, die in einem bestimmten Areal wachsen. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Vegetationsgebieten (Tropen, boreale Nadelwälder etc.) welche sich hauptsächlich an den Klimazonen der Erde orientieren. Die Vegetation eines Gebietes wird jedoch auch durch lokale Gegebenheiten bestimmt und nicht zuletzt durch den menschlichen Eingriff beeinflusst [1]. Zur Vegetation zählt man in der Bundesrepublik Deutschland folgende Flächen/Gebiete:

Waldflächen, Heide- und Mooregebiete, landwirtschaftliche Nutzflächen (insbesondere Getreidefelder) und sonstige Flächen (insbesondere Gehölz).

Waldgebiete nehmen mit ca. 106.380 km² den größten Anteil an Vegetationsfläche in der Bundesrepublik Deutschland ein, das entspricht ca. 28 % der Gesamtfläche des Landes [2]. Die Vegetation hat als Lebensraum für Tiere, Erholungsraum für Menschen und Lieferant nachwachsender Rohstoffe große ökologische und wirtschaftliche Bedeutung. Die Waldgebiete nehmen hierbei eine besondere Rolle ein, denn sie sind u. a. wichtige Trinkwasserspeicher, Sauerstofflieferanten, Filter für Schadstoffe aus der Umgebungsluft und Niederschlägen, Windbrecher, Klimaregler, Bodenfestiger, Rohstofflieferant, Lebensraum für Wildtiere. Sie stellen daher einen wichtigen Bestandteil für die natürliche Lebensgrundlage dar [3].

Im Jahr 2018 wurde in der Bundesrepublik Deutschland allein durch Brände eine Waldfläche von ca. 2.400 Hektar vernichtet und dadurch ein geschätzter wirtschaftlicher Schaden von 2,7 Millionen Euro verursacht [4]. Durch den Klimawandel wird es vermutlich zu verlängerten und intensiveren Saisons von Vegetationsbränden kommen. Die weltweiten Brandereignisse im Jahre 2018 und 2019 belegen dies bereits, auch in der Bundesrepublik Deutschland ist eine Zunahme zu verzeichnen [5]. Weltweit haben die meisten Vegetationsbrände (ca. 98 %) keinen natürlichen Ursprung, beispielhaft seien u. a. Blitzschlag oder Vulkanausbruch, sondern einen durch Menschen verursachten Grund. Beispielhaft seien Unachtsamkeit mit Feuer, Brandstiftung, Defekte an Landmaschinen, Munitionsreste genannt [3].

Vegetationsbrände werden sich nicht gänzlich verhindern lassen, können aber durch organisatorische und vorbeugende Maßnahmen in ihrem Ausmaß minimiert werden. Eine frühzeitige, gesicherte Detektion und Meldung an die Gefahrenabwehrbehörden hat mehrere positive Auswirkungen:

- schnelle Einleitung und effizientere Brandbekämpfung,
- weniger Einheiten und Löschmittel notwendig,
- geringere Auswirkung für die Umwelt,
- Erhalt von Flora und Fauna,
- Schutz der Umgebung,
- geringerer wirtschaftlicher Schaden,
- Einsparung von Finanzmitteln für die Abwehrmaßnahmen und die Aufforstung.

Ein wesentlicher Baustein bei der Vegetations-Brandbekämpfung ist der Faktor Zeit, sprich die frühzeitige Branderkennung, die umgehende Meldung an die zuständigen Gefahrenabwehrbehörden und die schnelle effektive Brandbekämpfung. Neben Beobachtungen und Meldungen durch Personen ist diese Erkennung mit automatischen Früherkennungssystemen möglich [6]. Vergleichbares kennt das Feuerwehrwesen aus dem Bereich des vorbeugenden Brandschutzes (Schutzziele der Bauordnung und die Brandfrüherkennung). Daher sollten sich die Brand- und Katastrophenschutzbehörden intensiver im Bereich der Vorbeugung, gerade im Hinblick auf Früherkennungssystemen einbringen. Bisher liegt deren Schwerpunkt hauptsächlich bei den operativen Abwehrmaßnahmen (Brandbekämpfung).

In dieser Facharbeit werden alle automatischen Detektionssysteme nachfolgend als Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme bezeichnet. Die einzelnen Systeme werden ab Kapitel 2 erläutert.

1.3 Methodik

Die vorgelegte Facharbeit beschäftigt sich mit den auf dem Weltmarkt angebotenen und eingesetzten Vegetationsbrand-Früherkennungssystemen, sowie deren Einbettung in die vorbeugenden Maßnahmen der Feuerwehr. Es wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik und der Forschung gegeben werden. Zudem wird ein Ausblick auf die dem Autor sinnhaft erscheinende Weiterentwicklungen der bestehenden Systeme gegeben. Eine Beleuchtung der wirtschaftlichen Aspekte, speziell bezogen auf die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, ist durch den begrenzten Umfang dieser Arbeit nicht möglich.

Nach Analyse der aktuell bestehenden Einsatzsituation von Vegetationsbrand-Früherkennungssystem in Deutschland wird deren Weiterentwicklung sowie die Einbindung in die Gefahrenabwehrplanung der Bundesländer diskutiert.

Zum Einstieg in die Thematik wurde mit Herrn Karl-Heinz Knorr, Vizepräsident des Deutschen Feuerwehrverbandes (DFV) und Leiter des Arbeitskreises Einsatz, sowie Herrn Dr. Ulrich Cimolino, Leiter des Arbeitskreis Waldbrandbekämpfung des DFV, ein fernmündliches Gespräch geführt. Darüber hinaus fand ein Austausch mit Prof. Dr. Johann Georg Goldammer, Leiter des Global Fire Monitoring Centers des Max-Planck-Institutes in Freiburg, statt.

Da wenig bis gar keine Übersichtsliteratur zu diesem Thema vorhanden ist wurden vorwiegend Internetpräsenzen zur Recherche herangezogen. Zunächst wurden alle relevanten Literaturstellen gesammelt und gesichtet. Hierbei wurde besonders auf Zitierfähigkeit, Nachprüfbarkeit und Wiederbeschaffbarkeit der Literaturstellen geachtet. Des Weiteren erfolgten telefonische und schriftliche Anfragen bei verschiedenen Behörden/Dienststellen, Instituten, Herstellerfirmen und bei Experten/Fachleuten im In- und Ausland. Mit Vertretern der Forstbehörden auf Landesebene wurde ein strukturiertes Interview geführt. Die Vorlage zum Interview ist in der Anlage beigelegt. Dabei konnte ein Eindruck über die einzelnen Gefährdungen und Strategien der Bundesländer auf Forstebene gewonnen werden.

2 Technische Beschreibung der bestehenden Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme

Systeme zur Früherkennung von Vegetationsbränden lassen sich, je nachdem in welcher Distanz zur Erdoberfläche sie operieren, in die drei Kategorien

- a) terrestrische, also erdgebundene Systeme,
- b) aeronautische, also luftgestützte Systeme und
- c) orbitale, also weltraumgestützte Systeme

einteilen [7]. Beispiele für jede dieser Kategorien können z.B. Feuerwachtürme, Überwachungsdrohnen und Satelliten sein. Die Detektion von Brandereignissen erfolgt über verschiedene optische, elektronische und akustische Effekte. Dabei verwenden die Systeme in allen drei Kategorien ähnliche Sensortechnologie bzw. kombinieren in manchen Fällen sogar komplementäre Sensorik in ein und demselben System, sodass das Prinzip der Vegetationsbrand-Früherkennung keinen Aufschluss über die Operationsdistanz zur Erdoberfläche zulässt.

Obwohl manche Systeme aus verschiedenen Gründen keine 100 % sichere Früherkennung gewährleisten können, werden sie trotzdem unter dieser Bezeichnung geführt. Manche Systeme befinden sich noch in einer Entwicklungs- und/oder Testphase und können noch nicht weiter diskutiert werden. Als Beispiel seien hier das Early Warning Drought Projekt (dessen Markteinführung für 2022 geplant ist) der Niederlande [8] oder das FirePosse360™ System aus Kanada genannt, welches sich auf die Erkennung von Flammen spezialisiert hat. Die Einführung ist für das Jahr 2020 geplant [9].

Für andere im Test befindliche Systeme liegen noch keine aussagekräftigen Datenblätter, Produktbeschreibung oder Auskünfte des Herstellers vor. Es konnte zudem nicht auf Erfahrungen oder Auskünfte von feuerwehrtechnischen Experten für Vegetationsbrandbekämpfung zurückgegriffen werden, da auch diesen noch keine weiteren Erkenntnisse vorliegen.

2.1 Optische, elektronische und akustische Wirkprinzipien

Im Folgenden werden die verschiedenen optischen, elektronischen und akustischen Wirkprinzipien der Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme beleuchtet.

CCD-Sensoren mit Bildstabilisierung (charge-coupled-device, zu Deutsch: „ladungsgekoppeltes Bauteil“) arbeiten nach dem Prinzip Licht in elektronische Signale umzuwandeln. Dieses elektrische Bauteil wirkt als Sensor, ist sehr lichtempfindlich und gibt proportional zur eingestrahlten Lichtmenge ein Signal ab. Aufgrund der hohen Lichtempfindlichkeit können qualitativ hochwertige Bilder (bis zu 16.000 Graustufen) erzeugt werden. Auf den Chips der CCD-Sensoren werden die einzelnen Pixel aufgezeichnet, nacheinander zur Erstellung eines Bildes verarbeitet und abschließend versendet [10].

CCTV, auch als Closed Circuit Television bezeichnet, ist eine Videokamera, die ein räumliches Areal abdeckt. Das CCTV-System arbeitet mit einer fortschrittlichen

visuellen Aufnahmetechnologie und verwendet ausschließlich eigene Videokameras um das Signal ausschließlich auf eine begrenzte Zahl von Monitoren zu übertragen. Dieser aus Datenschutzgründen begrenzte Teilnehmerkreis erklärt die Bezeichnung „Closed Circuit“. Das CCTV ist eine visuelle Sensortechnologie. Die Bilder und Videos eines Areals, werden mit Hilfe von Sensoren in Farbe oder schwarz/weiß erfasst, aufgezeichnet und ausgewertet. Dies hat sich bereits in anderen Bereichen als effizient erwiesen, um z. B. öffentliche Plätze zu überwachen, zur biometrischen Gesichtserkennung oder der Nummernschilder-Überwachung [11].

Kurzfassung: Diese Bildsysteme reagieren auf das sichtbare Spektrum erkennbaren Rauchs bei Tag und auf sichtbare Feuer in der Nacht.

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) - auch als Wärmestrahlung bezeichnet - ist Teil der optischen Strahlung und damit Teil des elektromagnetischen Spektrums (siehe Abbildung eins). Sie schließt sich in Richtung größerer Wellenlängen an das sichtbare Licht an. Der infrarote Spektralbereich wird in nahes, mittleres und fernes Infrarot eingeteilt und bezieht sich auf den Abstand zum sichtbaren Licht. Der Wellenlängenbereich von Infrarot reicht von 780 Nanometer bis 1 Millimeter [12].

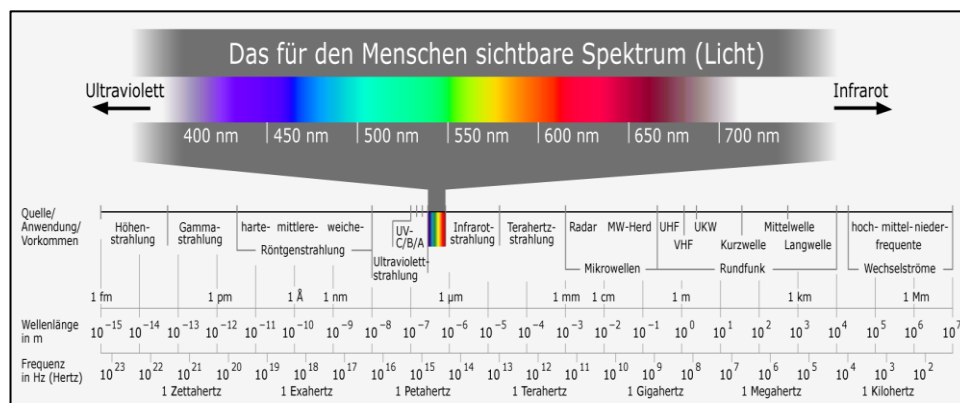


Abbildung 1: Spektralbereich sichtbares Licht / Infrarotstrahlung [12]

Jeder "warme" Körper (Körpertemperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts von circa -273°C) gibt Infrarotstrahlung ab. Die abgestrahlte Energiemenge und die Wellenlängenverteilung der Strahlung hängen von der Temperatur des Körpers ab. Je wärmer ein Körper ist, umso mehr Energie in Form von IR-Strahlung gibt er ab und umso kürzer ist die Wellenlänge der Strahlung. Diese Strahlung kann mit Hilfe von speziellen, zur Detektion von Licht im IR-Bereich entwickelten Kameras aufgenommen und für die Vegetationsbrand-Früherkennung verwendet werden [12].

Kurzfassung: IR-Wärmebildkameras erfassen die Wärmestrahlung eines Brandes und/oder detektieren den spektralen Bereich des Brandrauches.

Alle oben aufgeführten Systeme können als PTZ-Kamera (pan, tilt, zoom, zu Deutsch: „schwenken, neigen und zoomen“) ausgeführt werden. Mit dieser Funktion können stehende oder sich bewegende Objekte erfasst, automatisiert verfolgt und Bildausschnitte zur genaueren Identifizierung vergrößert werden [13].

Temperatursensoren in Früherkennungssystemen messen die Temperatur über eine aus der Temperaturveränderung resultierende Verringerung oder Erhöhung des Widerstandes oder verarbeiten ein elektrisches Signal bezogen auf den Strom oder die Spannung. Die Sensoren können direkt an Baumstämmen befestigt und dadurch unmittelbar in Waldbrandrisikogebieten platziert werden. Durch integrierte Standortkennung in jedem einzelnen Sensor kann der genaue Standort und dadurch der Einsatzort exakt übermittelt werden. Der Überwachungsbereich ist aber auf einen Radius von wenigen Metern begrenzt. Ein Betrieb ist in den meisten Fällen nur mit Batterien möglich und daher auch zeitlich als eher kurz zu bewerten [14]. Temperatursensoren sind meistens Kombinationssensoren und können neben der Temperatur auch die Feuchtigkeit messen. Ein in der Fachwelt beschriebenes Produkt „FireWall“ aus Schweden ist mittlerweile nicht mehr auf dem Markt verfügbar.

Eine weitere Option der Temperaturüberwachung ist die mittels Schallwellen und Radar. Dadurch können Boden- und/oder Wipfelfeuer detektiert werden. Hierbei werden künstliche Schallwellen ausgesendet und durch die Rückkopplung die Lufttemperatur gemessen. Die Schallwellen werden dauerhaft auf eine Frequenz- und Sendeleistung programmiert. Ein Radar sucht die vordefinierte Frequenz innerhalb des Überwachungsgebietes ab, dieses Gebiet kann eine Größe bis zu 28 km² haben. Verändert sich die Temperatur, wirkt sich dies auf die Laufzeit der Schallwellen aus und es wird ein Alarm ausgelöst. Um eine aussagekräftige Temperaturmessung zu erhalten, müssen der Emissionswert und der Abstand des Radars auf die entsprechenden Vegetationsverhältnisse und saisonale Temperaturschwankungen programmiert werden. Um Fehlalarmlösungen zu minimieren, können ein Thermo-Maximal-Wert oder ein Thermo-Differential-Wert definiert und vorgegeben werden. Die Schallwellen sind so gewählt (nicht hörbar), dass Menschen und Tiere im Überwachungsgebiet nicht beeinträchtigt werden [15]. Diese Systeme werden als RASS (Radio-Akustische Sondierungssysteme) abgekürzt. Überwiegend finden diese Systeme in der Meteorologie Anwendung. Es konnte kein auf dem Markt erhältliches Produkt für die Vegetationsbrand-Früherkennung recherchiert werden.

Kurzfassung: Es können die Temperatur, Luftfeuchte etc. gemessen werden. Dies ist entweder mit elektronischen Systemen oder mittels Schallwellen möglich.

Mit dem System „Light Detection And Ranging (LIDAR)“ werden Lichtimpulse als Laserstrahl ausgesendet (ähnlich der Schallwellen bei einem Radar), um Änderungen von atmosphärischen Zuständen oder Konzentrationen festzustellen. Dadurch können eine Rauchfahne, Temperaturdifferenzen, die Luftfeuchtigkeit oder die Schadstoffe eines Vegetationsbrandes detektiert werden. Der ausgesandte Laserstrahl ist für Augen von Menschen und Tieren ungefährlich [16]. Diese Technologie ist nicht mit dem „scannendem Infrarot-Gasvisualisierungssystem“ (SIGIS 2) der Analytischen Task Forces (ATF) der Feuerwehren zu vergleichen. Es wäre zu prüfen, ob die SIGIS 2 zur Detektion von Vegetationsbränden eingesetzt bzw. modifiziert werden kann. Entweder zur Früherkennung und/oder zu Erstellung von Prognosen im Hinblick auf die Ausdehnung und Entwicklung eines Vegetationsbrandes.

Kurzfassung: Das System detektiert die von Rauchpartikeln reflektierten Laserstrahlen und erkennt so Brandereignisse.

Des Weiteren gibt es Erprobungen mit mobilen elektronischen Sensoren, die an Wildtieren angebracht werden. Das ist mittels spezifischer Halterungen oder gar als Implantat möglich. Mit diesen Sensoren lassen sich Temperatur, Position und ein Massenfluchtverhalten von Wildtieren übertragen. Die kleinste Variante eignet sich für Tiere ab der Größe einer Libelle. Da diese Systeme nur mit einer Batterie betrieben werden können, ist die Einsatzzeit auf mehrere Monate oder höchstens wenige Jahre begrenzt [17]. Um verlässliche Daten zu erhalten, gerade im Hinblick auf Massenfluchtverhalten im Brandereignis, muss eine Vielzahl an Wildtieren ausgestattet werden. Seitens des Autors wird diese Technologie aus ethischen Gründen abgelehnt und findet in dieser Facharbeit keine weitere Erläuterung.

Alle oben genannten Systeme greifen zur Positionsbestimmung auf GPS-Daten (Global Positioning System) zurück und können zwei oder dreidimensionale Lagekarten erstellen. Dies ist von der verwendeten Software und Programmierung der Hersteller abhängig.

In den USA gibt es einige Hersteller für den privaten Schutz vor Vegetationsbränden (z. B. SmokeD®). Mit optischen Kameras werden Flammen oder Rauch in einer Entfernung von bis zu 15 km detektiert und Alarm ausgelöst. Eine Installation auf dem Dach oder Schornstein wird empfohlen. Wobei der Schornstein als geeigneter Installationsort bei Systemen mit der Kenngröße Rauch kritisch zu hinterfragen ist. Die Kamera kann nur in eine Richtung blicken und ist nicht schwenkbar. Für einen 360° Blick werden mindestens vier oder mehr Kameras benötigt. Das System wird mit Netzstrom betrieben und ins Heimnetzwerk eingebunden. Die Alarmmeldungen können auf einem Mobiltelefon empfangen werden [18].

2.2 Beschreibung Terrestrische Systeme

Terrestrische Systeme arbeiten überwiegend mit einer optischen Bilderkennung (ca. 50 %). Diese wird mit den oben beschriebenen, verschiedenen Kamerasystemen realisiert und dient überwiegend der Detektion von Rauchfahnen, da viele Hersteller dies als erstes sicheres Indiz für einen Vegetationsbrand ansehen. Nach einem vorher definierten Algorithmus werden die Aufnahmen automatisiert ausgewertet und lösen bei einer Detektion einen Alarm aus. Die Systeme mit einer rein optischen Bilderkennung weisen eine hohe Täuschungsalarmrate auf. Ursache sind verschiedene Störfaktoren wie Partikel in der Umgebungsluft (verursacht durch Luftverschmutzung), Nebel, Staubentwicklung durch landwirtschaftliche Arbeiten und ähnliches. Partikel in der Umgebungsluft beeinträchtigen zudem die Reichweite der Detektion. Beispielhaft kann in Australien aufgrund der Luftqualität eine größere Reichweite erzielt werden als in der Bundesrepublik Deutschland [19].

Manche Erkennungssysteme arbeiten zusätzlich oder rein auf Basis der Infrarotstrahlung. Andere Systeme wiederum messen die Temperatur mittels Laserstrahlen, Schallwellen (akustische Temperaturmessung) und sonstiger Sensorik, um einen Brand zu detektieren. Terrestrische Systeme werden überwiegend auf Masten oder alten Feuerwachtürmen installiert. Abhängig vom System ist ein bodennaher Aufstellort/Einsatzort möglich, insbesondere bei Systemen zur Temperaturüberwachung oder Detektion von Feuer und/oder Glut mittels Infrarots.

Eine bodennahe Installation hat aber den großen Nachteil, dass die Größe des Überwachungsgebietes durch den Aufstellort begrenzt wird, da z. B. nicht durch Bäume hindurchgesehen oder gemessen werden kann.

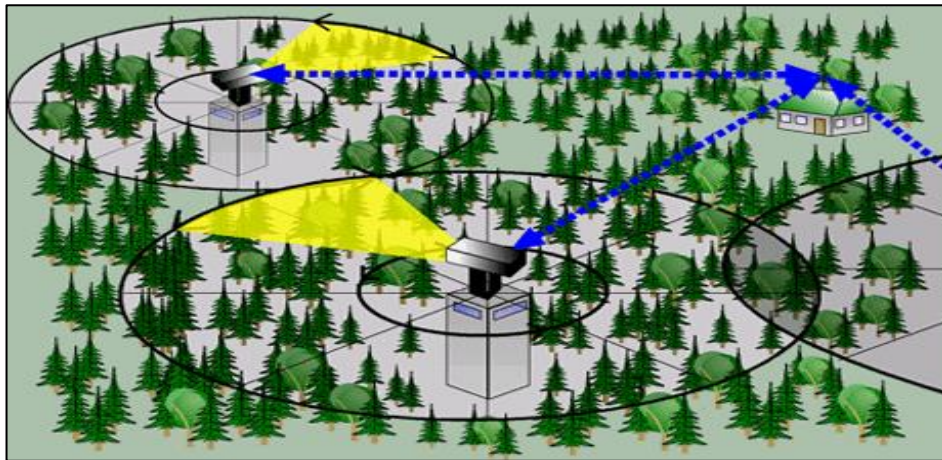


Abbildung 2: Überwachungsgebiet mit einem terrestrischen Kamerasystem [20]

2.2.1 Hersteller von terrestrischen Systemen

Adelie® (Frankreich)

Dieses System enthält zwei Kameralinsen, jede Linse erstellt alle zehn Sekunden ein Bild. Innerhalb von zwei Minuten ist eine rundum Aufnahme von 360° erfolgt. Eine Angabe über die Größe des möglichen Überwachungsgebietes und der Energieversorgung konnte beim Hersteller nicht erhalten werden. Im Alarmfall werden die Position, Wetterdaten und das Bild über Breitband, Funk oder Satellit übertragen. [21].

Ambience Forest Fire® (Kanada)

Ambience Forest Fire® (Abbildung fünf in der Anlage) arbeitet mit kombinierten Sensorsystemen, welche für die Überwachung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Druck und Feinstaubartikel ausgelegt sind. In Verbindung mit Wetterdaten kann auch eine Vorhersage über eine akute Brandgefahr prognostiziert werden. Angaben zur möglichen Überwachungsfläche, der Energieversorgung und des Übertragungsweges werden auf der Internetpräsenz des Herstellers nicht gemacht. Aufgrund des Aufgabenprofils geht der Autor von der Energieversorgung durch Batterien aus. Bis zum Abschluss der Facharbeit lag seitens des Herstellers keine weitere Information vor [22].

Bee2FireDetection® (Portugal/USA)

Das Kamerasystem arbeitet mit einem Bild- und mit einem IR-Sensor. Detektiert wird hauptsächlich eine Rauchfahne. Ein möglicher Brand kann bis in 15 km Entfernung festgestellt werden. Eine Überwachung von 360° wird mittels Drehgestell durchgeführt. Mit diesem System lassen sich laut Hersteller auch Prognosen über die mögliche Feuergefahr und im Brandfall über die Ausbreitungsrichtung erstellen. Übertragen werden neben dem Bildmaterial auch Daten zum Wetter und Geo-Informationen (GIS). Angaben zum Übertragungsweg und zur Energieversorgung sind auf der

Internetpräsenz nicht zu finden. Zusätzlich bietet der Hersteller eine Lösung auf einem Anhänger an, um das System mobil und dem lokalen Risiko entsprechend an verschiedenen Orten einsetzen zu können [23].

Clear Sky® (Russland)

Bei Clear Sky® ist neben der optischen Bilderkennung ein zusätzlicher IR-Sensor (speziell auf Rauchfahnen durch Vegetationsbrände eingestellt) verbaut. Leider waren der Internetpräsenz nicht mehr Informationen zu entnehmen und bis zur Abgabe der Facharbeit lag keine Antwort des Herstellers vor [24].

Dat-Con® Theris (Slowenien)

Das Theris ist ein rein auf die Temperaturüberwachung ausgelegtes Kamerasystem. Eine 360° sowie Tag und Nacht Überwachung ist gegeben. Eine Fläche mit einem Radius von zehn Kilometer kann überwacht werden. Im Alarmfall werden die Positionsdaten und Livebilder in Echtzeit übertragen. Der Übertragungsweg wird nicht näher angegeben. Eine Stromversorgung ist mit 24 Volt, 48 Volt und 230 Volt möglich. Optional kann das System auf Türmen, mobil auf Fahrzeugen oder im Kleinformat an Drohnen installiert werden [25].

FireAlert MKI™ (USA)

Dieses System (Abbildung sechs in der Anlage) arbeitet im IR-Spektrum und scannt einen Bereich mit einem Radius von ca. eineinhalb Kilometer innerhalb von vier Minuten ab. Der Blickwinkel des IR-Sensors umfasst horizontal 45°. Das System kann so angeordnet werden, dass es jeweils 22,5° gemessen an der Horizontalen nach oben und unten blicken kann. Dadurch ist das System auch in schwieriger Topographie sehr gut einsetzbar. Die Energieversorgung wird ausschließlich über Solarzellen und einem Hochleistungskondensator sichergestellt. Laut Herstellerangaben ist das System bis zu 20 Jahren wartungsfrei. Die Übermittlung der Daten funktioniert über ein Kommunikations-Satellitenverbund, wobei im Alarmfall nur der Standort des Systems per GPS-Daten übermittelt wird. Es sollte bereits im Jahr 2015/2016 eine Weiterentwicklung mit dem MK II (Reichweite von ca. acht km Radius) auf den Markt kommen [26]. Bis zum Abschluss der Facharbeit konnten keine weiteren Hinweise auf eine Markteinführung recherchiert werden.

FireHawk® (Südafrika)

Diese Variante kann laut Hersteller außer Rauch auch Feuer und/oder Glut detektieren. Eine Angabe zu der Zeitdauer für eine 360° Aufnahme wird nicht gemacht. Es kann ein Radius von bis zu acht Kilometer überwacht werden. Die Bilder und GIS-Daten werden über Breitband übertragen. Informationen zur Energieversorgung werden vom Hersteller nicht bereitgestellt [27].

FireWatch® (Deutschland)

In diesem Kamerasystem (Abbildung sieben in der Anlage) wird ein multispektraler Sensor für die Brandkenngroße Rauch verwendet. Ein spezieller Nachtmodus mittels IR sorgt für eine Detektion von Rauch auch bei Dunkelheit, wobei innerhalb von sechs Minuten bei Tag und acht Minuten bei Nacht eine 360° Aufnahme abgeschlossen wird. Je zehn Grad Drehwinkel werden dabei drei Bilder angefertigt und ausgewertet. Nach erfolgter Rauchdetektion erfolgt ein Abgleich des Bildmaterials zur Identifizierung eines

Brandes. Es kann ein Radius von 15 km überwacht werden. Bei guter Sicht und Anbringung auf einem Mast, Turm o. ä. ist angeblich eine Detektion bis zu 60 km Entfernung möglich. Im Alarmfall können neben der Positionsangabe auch Wetterdaten per Breitband oder Mobilfunk übertragen werden. Die Energieversorgung wird über einen Netzanschluss, Solar oder Akkumulator sichergestellt. Das Automatische Waldbrand-Früherkennungssystem (abgekürzt AWFS) wurde ursprünglich vom deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt Mitte der 1990er Jahre entwickelt und zum Patent angemeldet. Von der Firma IQ-Wireless GmbH in Berlin wurde das System weiterentwickelt und auf dem Markt eingeführt. Mittlerweile ist das Kamerasystem in der siebten Generation verfügbar [28]. Das System FireWatch® wird im Kapitel 3.1 detaillierter beschrieben, da dieses System von einigen Bundesländern in Deutschland eingesetzt wird.

FireWatch Australia® hat die Lizenz das deutsche Produkt unter eigenem Namen im asiatisch-pazifischen Raum zu vertreiben [20].

ForestWatch® (Südafrika/USA)

Dieses System arbeitet mit hochauflösenden Farbkameras. Ein zusätzlicher IR-Sensor detektiert Wärmequellen und ermöglicht Nachtaufnahmen. In zwei bis sechs Minuten wird eine 360° Aufnahme abgeschlossen, dabei wird an 18 Positionen Bildmaterial angefertigt. Der Überwachungsradius beträgt bis zu zwölf Kilometer. Eine Ferndetektion ist bei guter Sicht bis zu einer Strecke von 20 km möglich. Im Alarmfall werden die Positionsangaben und Bilder über Richtfunkstrecke, Mobilfunknetz oder Satellit übertragen. Die Energieversorgung wird über Netzanschluss, Solarpanel, kleinem Windrad, Akkumulator oder Brennstoffzelle sichergestellt. Optional ist die Kamera mit einer Begleitheizung für den Linsenbereich und für die Schwenk-/Neigtechnik ausstattbar [29].

Forest Ranger® (Schweiz)

Hier werden mit zwei Sensoren im Tag- und Nachtmodus Vegetationsbrände detektiert. Weitere Angaben zu den 360° Aufnahmen werden nicht gemacht, lediglich dass die Entdeckungs- und Auswertzeit weniger als 20 Minuten beträgt. Die Größe des möglichen Überwachungsgebiet wird mit 40 km² angegeben (dies entspricht einem Radius von ca. 3,6 km). Zur Energieversorgung kann nur die Aussage getroffen werden, dass kein Netzanschluss erforderlich ist. Im Alarmfall werden neben dem Bildmaterial auch Positions- und Wetterdaten übermittelt. Der Übertragungsweg ist nicht näher beschrieben [30].

iForestFire® (Kroatien)

Dieses System nutzt zwei unterschiedliche Sensoren. Tagsüber wird auf Rauchfahnen detektiert (optisch) und in den Nachtstunden auf Flammenbildung (per IR). Laut Hersteller ist eine Detektion bis in zehn Kilometern Entfernung problemlos möglich. Eine Angabe zur 360° Überwachung wird nicht gemacht. Es werden ein Live-Video, Wetter- und GIS-Daten übertragen. Eine Angabe bezüglich der Übertragungswege sowie der Energieversorgung lassen sich der Produktbeschreibung ebenfalls nicht entnehmen [31]. Bei der weiteren Recherche wurde herausgefunden, dass das System in Kroatien von der kroatischen Telekom betrieben wird [32]. Eine im fernmündlichen Gespräch vereinbarte Auskunft über nähere Details zum System ging

bis zum Bearbeitungsschluss dieser Arbeit nicht ein. Auch über die deutsche Telekom konnte kein Kontakt vermittelt werden.

Lesnoy Dozor® (Russland)

Gearbeitet wird mit verschiedenen Sensoren, die zur Erkennung von Rauch und Flammen ausgelegt sind. Weitere Angaben zu der 360° Aufnahme werden nicht aufgeführt, lediglich dass die Entdeckungs- und Auswertezeit weniger als zehn Minuten beträgt. Die Größe des möglichen Überwachungsgebiet wird mit bis zu 35 km² (ca. drei Kilometer Radius) beziffert. Zur Energieversorgung kann nur die Aussage getroffen werden, dass kein Netzanschluss erforderlich ist. Im Alarmfall werden die Position, Wetterdaten etc. übertragen. Übertragungswege sind über Breitband, Mobilfunk und Satellit möglich [33].

Raymetrics 3D fire detector® (Griechenland)

Dieses System (Abbildung acht in der Anlage) überwacht mittels Laserstrahl eine Fläche im Umkreis von fünf Kilometer auf die Kenngröße Rauch. Innerhalb von fünf Minuten wird der gesamte Überwachungsbereich ausgewertet und im Verdachtsfall ein Alarm ausgelöst. Das System verfügt über Schnittstellen um mit anderen Plattformen wie z. B. IR-Systemen ein effektiveres Überwachungsnetzwerk abzubilden. Es kann fernbedient und mit einem Netzwerk verbunden werden. Eine Angabe zur Energieversorgung wird nicht gemacht. Optional kann auch eine Infrarotkamera im System verbaut werden [34].

SR 7® Versi (Spanien)

SR 7® arbeitet mit einem CCTV und IR-Sensor und sucht die Überwachungsfläche nach Indikationen eines Feuers ab (Rauch, Temperatur und Wärmequellen). Eine Überwachung von 360° im Tag- und Nachtmodus in einem Radius von fünf bzw. zehn Kilometer ist möglich. Bei entsprechenden Wetterverhältnissen, d. h. wolkenloser Himmel und geringe Partikeldichte in der Luft, erhöht sich die Reichweite sogar auf bis zu 18 km. Die Energieversorgung ist über das Stromnetz oder alternativ mit Solarpanelen möglich. Übertragen werden neben den Livebildern, die Position und Angaben zum Wetter. Die Übertragung erfolgt per Radiowellen oder Satellit. Optional ist eine mobile Einheit zur Installation in Fahrzeugen wählbar [35].

Wildland Fire Detection System® (USA)

Die Kamera ist mit zwei Sensoren, je einen für den Tag und einen für den Nachtmodus, bestückt. Es können bis zu 25 Kameras an ein Gesamtsystem angeschlossen werden. Weitere Angaben, weitere Informationen, z. B. bezogen auf das Zeitintervall in dem 360° Aufnahmen möglich sind, werden vom Hersteller nicht herausgegeben. Lediglich, dass die Kamera an benutzerdefinierten Parkposition stoppen kann, um Aufnahmen zu tätigen. Die Auswertezeit, in der ein spezieller Algorithmus die Kenngröße Rauch entdeckt, beträgt 1,5 Minuten. Die Größe des möglichen Überwachungsgebiets einer Kamera wird mit einem Radius von zehn Kilometer angegeben. Zur Energieversorgung lässt sich aus der Internetpräsenz des Herstellers nur die Aussage ableiten, dass kein Netzanschluss erforderlich ist. Im Alarmfall werden, neben dem Videosignal, die Position und Wetterdaten übertragen. Der Übertragungsweg ist mit einer drahtlosen Mikrowellenverbindung (Richtfunk) beschrieben. Ein Fernzugriff und die manuelle Steuerung der einzelnen Kameras sind möglich. Dieses System ähnelt dem deutschen

Produkt Firewatch®. Das System befindet sich mittlerweile in der vierten Generation und ist laut Hersteller ohne Computererfahrung bedienbar [36].

Alle oben aufgeführten optischen Kamerasysteme erlauben einen Fernzugriff und die manuelle Steuerung. Zu allen Systemen der verschiedenen Hersteller bleibt festzuhalten, dass die Technologien, Algorithmen, Parameter und Übertragungswege sich teilweise ähneln. Die Unterschiede liegen meistens in der verwendeten Software, den Bedien- und Anzeigemöglichkeiten, der Energieversorgung und den alternativen Einsatzmöglichkeiten (z. B. mobil).

2.3 Beschreibung Aeronautische Systeme

Aeronautische Systeme arbeiten fast ausschließlich mit besonders empfindlichen IR-Sensoren, welche speziell auf das Infrarotspektrum von Vegetation (1.1 Mikrometer) ausgelegt sind. Dadurch lassen sich bereits Brände mit einer Ausdehnung kleiner fünf Quadratmeter aus großen Höhen detektieren. In manchen Systemen sind zur vielfältigeren Überwachungsmöglichkeit zusätzlich optische Kameras verbaut. Es lassen sich mit diesen Systemen sehr schnell große Gebiete absuchen und kartographieren [37].

Luftgestützte Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme sind vor allem in den USA verbreitet. Bereits Anfang der 1960er Jahre begannen dort die ersten Projekte und Erprobungen. 1964 wurde unter dem Namen NIROPS (National Infrared Operations) eine solche Überwachung eingeführt und findet bis zum heutigen Tage Anwendung [38]. Während der aktiven Waldbrandzeit in den USA - von April bis November - werden mit zwei Flugzeugen, die mit spezieller Infrarot-Technik ausgerüstet sind, Überwachungsflüge durchgeführt. Große Vegetationsflächen werden überflogen und die Technik an Bord scannt die Erdoberfläche nach einem möglichen Brand ab. Detektiert das System eine Unregelmäßigkeit, werden die Daten an das Center der NIROPS übermittelt und die Daten durch Mitarbeiter ausgewertet [38]. Inwiefern hier von einem automatischen System gesprochen werden kann ist fraglich, da neben dem Mitarbeiter zur Auswertung noch weiteres Personal (z. B. Pilot) benötigt wird.

Darüber hinaus sind auch Drohnen bzw. UAV (Unmanned Aerial Vehicles) mit dieser Technik versehen, um große Bereiche zu überwachen. Man beachte das solche Drohnen aus dem militärischen Bereich stammen und die Größe und Gewicht dem eines Kleinflugzeuges entsprechen (Abbildung neun in der Anlage). Dieser Drohnentyp fliegt in Höhen größer sechs Kilometer und kann eine Reichweite von ca. 8.000 km abdecken. Die Drohnen fliegen autark auf einer vorher definierten Route, und melden selbstständig mögliche Branddetektionen an das zuständige Kontrollcenter. Bei Bedarf ist eine manuelle Steuerung der Drohnen möglich [39].

Eine andere Variante sind bemannte oder unbemannte Luftschiffe (Hybrid Air Vehicles). Auch hierzu gibt es verschiedene Varianten in den USA. Ein Beispiel ist ein militärisches Luftschiff (stationiert bei der United States Air Force Plant 42) des Typs P-791 von der Firma Lockheed, welches auch für zivile Zwecke genutzt werden kann. Das Luftschiff ist mit einem IR-Sensor zur Branddetektion ausgestattet und kann zusätzlich auch Ausrüstung und/oder Löschwasser transportieren [40].

Die Energieversorgung und Übertragungswege sind bei allen aeronautischen Varianten immer durch bordeigene Systeme gegeben. Nachteil aller Systeme ist, dass eine permanente Überwachung eines Gebietes nicht erfolgen kann. Weiter muss beachtet werden, dass alle Varianten im Luftraum nicht zum Konflikt mit der zivilen und militärischen Luftfahrt führen dürfen.

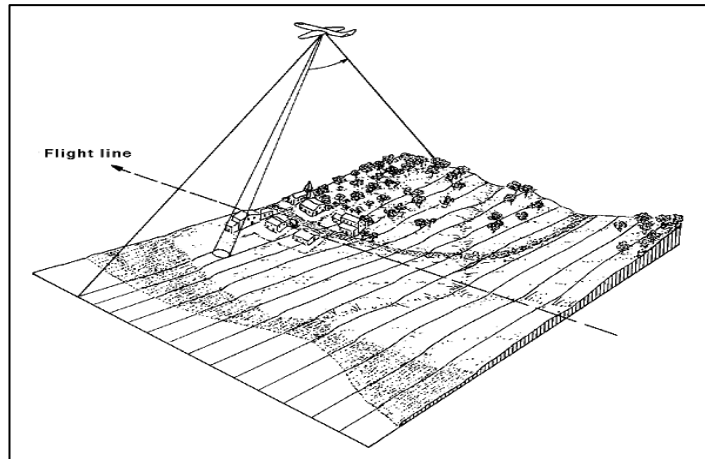


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Scanprinzips [41]

2.3.1 Hersteller/Betreiber von aeronautischen Systemen

Phoenix Line Scanner® (USA)

Das System Phoenix Line Scanner ist ein zweikanaliger, thermischer Infrarot-Linienscanner mit insgesamt 19 Kameras für den Tag- und Nachtmodus. Dieser kann, in ca. drei Kilometer Höhe fliegend, in wenigen Sekunden einen zehn Kilometer breiten Geländestreifen scannen und die gewonnenen Daten in Echtzeit übertragen [41].

Wildfire Airborne Sensor Programm (USA)

Diese Multispektral-Kamera (speziell auf den Spektralbereich von Vegetationsbränden abgestimmt) wurde erstmals im Jahr 2003 in Kleinflugzeugen in einer Flughöhe bis zu vier Kilometer eingesetzt. Das System besteht aus insgesamt vier Kameras (einer CCD-Kamera und drei IR-Kameras mit unterschiedlichem Spektralbereich). Nur die drei Infrarotkameras werden zu Brandüberwachung benötigt, mit der CCD-Kamera wird eine Kartographie durchgeführt. Um effiziente und aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, liegt die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei ca. 330 km/h. So lässt sich aus drei Kilometer Höhe innerhalb von acht Sekunden ein ca. zehn Kilometer breiter Streifen scannen. Innerhalb von elf Sekunden ist ein Zyklus aus Scan und Auswertung abgeschlossen. Das System ist für den Tag- und Nachtbetrieb konzipiert. Vertrieben wird es mittlerweile von der Firma Lesam in den USA [42].

IKHANA Fire & Smoke der NASA (USA)

IKHANA ist eine Drohne, die für zivile Zwecke der National Aeronautics and Space Administration (NASA) in den Dienst gestellt wurde. Ausgerüstet ist die Drohne mit einem von der NASA entwickelten „Autonomos Modular Scanner“ (Abbildung neun in der Anlage). Dieser Multispektraler Scanner kann mittels IR-Aufnahmen auf 16 unter-

schiedlich programmierten IR-Bändern nach möglichen Vegetationsbränden suchen. Mit solchen Drohnentypen lassen sich innerhalb kürzester Zeit Bereiche von bis zu 25 km² Größe abschnappen und auf einem Kartenlayer auf der Grundlage von Google Earth visualisieren. Das Scanmodul kann auch in Kleinflugzeugen eingebaut werden und wird in dieser Weise vom U.S. Forest Service genutzt. Die Drohne kann für eine Dauer von mehr als 20 Stunden in über 13.000 Meter Höhe fliegen. Die Geschwindigkeit beträgt dabei bis zu 400 km/h. Per Satellitenkommunikation können detektierte Brände innerhalb von wenigen Sekunden an das Überwachungszentrum gesendet werden, so dass der Feuerwehr, laut Aussage der NASA, fundierte Informationen bereits in weniger als zehn Minuten nach Entdeckung vorliegen können. Das Gesamtsystem kann bei Tag und in der Nacht eingesetzt werden. Das Drohnenprogramm wird von der NASA und dem U.S. Forest Service unter dem Namen Western States Fire Mission betrieben. Dabei werden Vegetationsflächen zwischen Mexiko, dem westlichen Teil der USA (Schwerpunkt Kalifornien) und Kanada überwacht [39] [43].

L3HARRIS™ Wescam MX 15 (Kanada)

Der MX-15 ist speziell für den Einsatz von Such- und Erkundungseinsätzen entwickelt worden. Er kann an Flugzeugen, Hubschraubern, Luftschiffen oder Drohnen montiert und betrieben werden. Der Sensor arbeitet in alle Richtungen (horizontal und vertikal) um 360° rotierend. Im MX-15 sind sechs Sensoren für hochauflösende Videobilder und multispektrales IR (Abbildung zehn in der Anlage) verbaut. Mittels einer Blende können Bereiche ein- oder ausgeblendet und so genauer visualisiert werden. Es lassen sich Objekte bis aus zehn Kilometer Entfernung fokussieren. Ein Automatikbetrieb und Zoom sind möglich. Weitere Angaben haben sich der Internetpräsenz des Herstellers nicht entnehmen lassen. Eine Anfrage mit der Bitte um zusätzliche Informationen blieb bis zur Abgabe der Facharbeit unbeantwortet [44].

2.4 Beschreibung Orbitale Systeme

Satelliten werden schon seit Anfang der 1990er Jahre zur Entdeckung von Vegetationsbränden verwendet. Eines der ersten Systeme wurde, bis zu deren Ende im Jahr 2001, auf der russischen Raumstation MIR (NOMOS-Projekt) eingesetzt. Es konnten Vegetationsbrände ab einer Größe von 100 Quadratmeter detektiert werden [45]. Seit mehreren Jahrzehnten werden verschiedene Satellitensysteme in den Orbit geschossen, um unterschiedlichste Aufgaben wahrzunehmen (z. B. Kommunikation, Wetter, GPS usw.). Anfangs wurden diese Satelliten zum Teil mit einem sogenannten Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)-Instrument ausgestattet und konnten Hotspots von Brandereignissen in einer groben Auflösung erkennen [45]. Heutige Satellitensysteme haben dafür ein entsprechend hochauflösendes und vielfältigeres IR-Modul, in definierten Spektralbereichen, mit entsprechenden Algorithmen, installiert, um Vegetationsbrände, Vulkanausbrüche, unterirdische Kohlenflöz-Brände, etc. zu entdecken. Durch die vielfältigen Daten lassen sich sehr gut Ausbreitungsprognosen während eines Ereignisses oder ein abschließendes Schadenskataster erstellen. Von einem solchen interdisziplinären Satellit erhält auch der Deutsche Wetterdienst seine Daten, um von März bis Oktober den täglichen Waldbrand-Gefahrenindex für Deutschland zu erstellen.

Die Höhe der Umlaufbahn eines Satelliten beträgt in der Regel zwischen 600 km und 1.100 km. Man spricht in dem Fall von polarumlaufenden Satelliten. Je nach System und Höhe der Umlaufbahn beträgt die Zeitdauer einer Erdumrundung zwischen 60 und 90 Minuten. Dabei können manche Satelliten einen Streifen von bis zu 2.000 km Breite überwachen. Bis ein Satellit bei einer vollflächigen Überwachung wieder an seinem Ausgangspunkt ankommt, vergehen in der Regel 24 Stunden.

Eine weitere Variante sind geostationäre Satelliten. Diese eignen sich zur Früherkennung wesentlich besser, da sie ein festgelegtes Gebiet dauerhaft überwachen können. Geostationäre Satelliten werden in einer Höhe von ca. 36.000 km eingesetzt und drehen sich mit der gleichen Drehzahl um die Erde, wie die Erde sich um sich selbst dreht. Daher stehen solche Satelliten an einem festen Punkt über der Erde und überwachen immer denselben Bereich. In dieser orbitalen Umlaufbahn kann ein Satellit innerhalb weniger Minuten ca. 25 % der Erdoberfläche in einem ein bis fünf Quadratkilometer großem Raster überwachen und dabei Brände ab einer Größe von zehn Quadratmeter Ausdehnung detektierten.

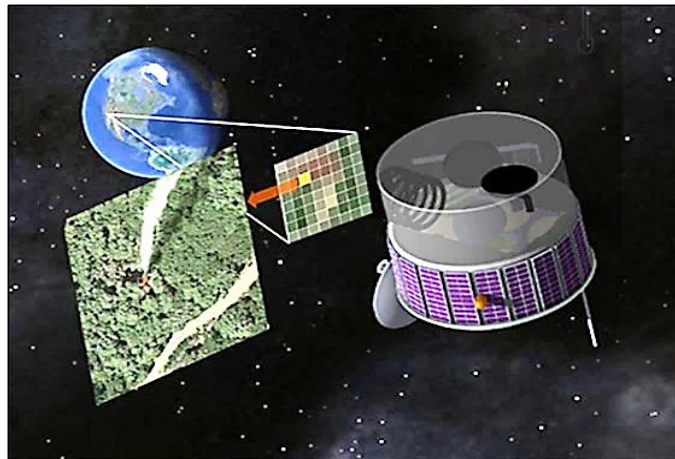


Abbildung 4: Darstellung eines Satellitensystems mit Überwachungs raster [46]

Um Unregelmäßigkeiten für das menschliche Auge leichter kenntlich zu machen wird teilweise mit sogenannten Falschfarben gearbeitet (siehe Abbildung elf in der Anlage). Durch eine entsprechende Programmierung, erfolgt im Detektionsfall eine automatische Meldung. Witterungsbedingte Einflüsse, wie eine dichte Wolkendecke (großes Problem für Mitteleuropa), können die Entdeckung von Ereignissen erschweren bzw. unmöglich machen [46].

Einige Nationen haben bereits seit einigen Jahren Satelliten im Orbit, die ausschließlich für die Entdeckung von Bränden konzipiert wurden, andere wiederum haben entsprechende IR-Komponenten, wie zuvor beschrieben, an Wettersatelliten angehängt. Manche Nationen erhalten ihre Daten von einem Satellitensystem einer anderen Nation, so z. B. Kanada. Diese erhalten Informationen für ihr Hoheitsgebiet aus den USA und implementieren diese in ihr eigenes „Fire Monitoring, Mapping and Modeling System Fire M3“ [47]. Die Daten werden zusätzlich zur Prognose, Auswertung und Kartierung, der von Bränden betroffenen Vegetationsflächen benutzt.

In den letzten Jahrzehnten wurden immer wieder durch verschiedene Nationen und Institutionen diverse Satellitenprogramme zu Erprobungszwecken durchgeführt. Beispielhaft sei hier die Mission „FIRESENSE“ [48], welche im Zeitraum von 2009 bis 2013 mit Fördermitteln der Europäischen Union durch mehrere Europäischen Nationen durchgeführt wurden. Ein weiteres Hilfsmittel ist ein weltweit vernetztes, satellitengestütztes Programm namens „Global Wildfire Information System“ (GWIS). Das GWIS greift auf verschiedene internationale Vegetationsbrand-Plattformen mit deren Daten zu und es wird neben einem lokalen auch ein weltweites Lagebild erstellt. Unterstützt wird dieses Programm von Organisationen und Raumfahrtagenturen weltweit. Federführend für dieses Programm ist die Europäische Kommission [49]. Nachfolgend werden beispielhaft einige momentan betriebene Satellitenmissionen kurz vorgestellt.

2.4.1 Hersteller/Betreiber von orbitalen Systemen

FireBIRD Mission des Deutschen Zentrums für Raum- und Luftfahrt (DLR)

Die Mission FireBIRD ist eine Erdbeobachtungsmission und hat die Feuerfernerkundung aus dem Weltraum zur Hauptaufgabe. Dazu zählen das Entdecken und Vermessen von sogenannten Hochtemperaturereignissen und die Bereitstellung der gesammelten Erkundungsdaten für die wissenschaftliche Forschung im DLR und deren externen Partner. Das Raumsegment besteht aus den zwei Kleinsatelliten TET-1 (Technologie-Erprobungsträger) und BIROS (Berlin InfraRed Optical System) jeder ca. 150 kg schwer und in etwa von der Größe eines Kühlschranks. Die Satelliten befinden sich seit 2012 (TET-1) bzw. 2016 (BIROS) in einer polaren Erdumlaufbahn (siehe Abbildung zwölf in der Anlage). Einer dieser Satelliten kreist von Nord nach Süd, der andere von Süd nach Nord, um Aufnahmen in einer Streifenbreite von 200 km der gesamten Erdoberfläche zu generieren. Beide Satelliten sind Nachfolger der damaligen BIRD-Mission (aktiver Betrieb war von 2001-2004).

Der TET-1 ist ein Kombinationssatellit und verarbeitet mehrere Daten für verschiedene Verwendungen, während BIROS ein reiner Satellit zu Feuererkennung ist. BIROS ist mit einem bispektralem IR-Sensor ausgestattet (Abbildung 13 in der Anlage). Die FireBIRD-Satelliten sind, im Gegensatz zu anderen aktuell eingesetzten Satellitensystemen, in der Lage bereits sehr kleine Feuerereignisse (zehn Quadratmeter) aufzuspüren. Die Daten werden von den Bodenstationen des DLR in Neustrelitz empfangen und im Deutschen Fernerkundungs-Datenzentrum des DLR verarbeitet, archiviert und einer weltweiten wissenschaftlichen Nutzung zugänglich gemacht. Die FireBIRD-Satelliten werden durch das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum der DLR-Einrichtung Raumflugbetrieb in Oberpfaffenhofen betrieben und kontrolliert. Die Mission ist durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert worden [50].

Sentinel-3 Mission, Copernicus Emergency Management System der EU

Copernikus ist ein Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union, das unseren Planeten und seine Umwelt mit mehreren Satelliten betrachtet. Das Programm wird von der Europäischen Kommission in Partnerschaft mit z. B. der ESA für die europäischen Mitgliedstaaten betrieben, koordiniert und verwaltet. Am 25. April 2018

wurde die Sentinel-3 Mission gestartet. Diese beinhaltet zwei Raumsegmente, Sentinel-3A und Sentinel-3B, welche in einer polaren Umlaufbahn in ca. 815 km Höhe operieren. Die Segmente sind mit mehreren optischen Radiometer-Sensoren ausgestattet, um Temperatur- und Farbmessungen über Land und Meer durchzuführen. Daher ist das Gesamtkonstrukt Sentinel-3 auch in der Lage, Vegetationsbrände zu detektieren und zu überwachen. Die Daten werden weltweit zur Verfügung gestellt [51].

Terra & Aqua Mission in Verbindung des Suomi-KKW Satelliten der NASA und NOAA

Diese durch die USA geförderte Mission wird von der NASA in Zusammenarbeit mit der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) koordiniert und durchgeführt. Die gewonnenen Daten werden durch die Raumfahrtagenturen aufbereitet und weltweit zur Verfügung gestellt. Die Raumsegmente Terra & Aqua, sowie Soumi-KKW sind reine sogenannte Wetter- und Umweltsatelliten. Der MODIS-Sensor (Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer) an Bord der Terra- und Aqua-Satelliten der NASA wird seit fast 15 Jahren täglich eingesetzt, um die Erdoberfläche auf Brände zu untersuchen.

Seit 2012 trägt die Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) an Bord des Suomi-KKW-Satelliten zur exakteren Überwachung bei.

Alle drei Systeme liefern hochauflösende Bilder der Erdoberfläche, zusätzlich in Falschfarben, um kleinste Unregelmäßigkeiten für das menschliche Auge sichtbar zu machen. Diese Satelliten haben ähnliche Umlaufbahnen, die räumliche Auflösung der Wärmebänder ihres Sensors ist aber unterschiedlich. Das Wärmeband von MODIS hat eine Auflösung von 1.000 Metern pro Pixel, während VIIRS eine Auflösung von 375 Metern pro Pixel besitzt. Diese höhere Auflösung ermöglicht es VIIRS Brände zu erkennen, die MODIS übersieht. Die detaillierten Aufnahmen der beiden Sensoren ermöglichen es Wissenschaftlern und Experten für Vegetations-Brandbekämpfung Veränderungen im Verhalten eines Brandes genauer zu modellieren und vorherzusagen. Besonders gefährdete Gebiete können bereits vor einem Brandereignis lokalisiert und entsprechende Warnungen ausgesprochen werden [52].

2.5 Technische Bewertung der vorhandenen Systeme

Eine ergebnisorientierte Bewertung und Beurteilung von Früherkennungssystemen für Vegetationsbrände bezüglich ihrer Effizienz und Effektivität gestaltet sich schwierig. Das Ergebnis bzw. die Bewertung ist wesentlich vom Standpunkt des Beurteilenden und von den örtlich bedingten Anforderungen eines Anwenders abhängig und führen somit zwangsläufig zu unterschiedlichen Ansichten und Ergebnissen. Örtlich unterschiedliche Faktoren können geographischer, geologischer, klimatischer, wirtschaftlicher oder politischer Natur sein. Daher lässt sich vom Autor dieser Facharbeit lediglich eine Aussage zu den Vor- und Nachteilen der drei Hauptgruppen von Früherkennungssystemen tätigen.

Die terrestrischen Systeme haben den großen Vorteil, dass diese definitiv eine dauerhafte Überwachung eines Gebietes gewährleisten können. Wegen der verschiedenen Sensoren können die unterschiedlichsten Parameter für die

Überwachung genutzt werden. Systemabhängig können Wetter- und GPS-Daten implementiert werden. Die Energieversorgung kann autark erfolgen und wird je nach System in unterschiedlichen Varianten angeboten. Eine direkte Übertragung an eine lokale Überwachungszentrale ist bei allen Systemen gegeben. Durch den Standort und die Art des Sensors fallen die Überwachungsbereiche sehr unterschiedlich aus. Je nach Wirkprinzip können die Systeme durch witterungsbedingte Einflüsse beeinträchtigt werden.

Aeronautische Systeme blicken per Vogelperspektive auf ein Überwachungsgebiet und werden daher nur bedingt von Hindernissen in ihrem Sichtfeld eingeschränkt. Es können damit zwar große Flächen überwacht werden, mehrere Faktoren wirken sich aber nachteilig aus. Eine permanente Überwachung ist nicht möglich, da die Reichweite durch den jeweiligen Antrieb begrenzt ist und technische Unterbrechungen unausweichlich sind. Witterungsbedingt können Sichtbehinderung auftreten oder einen Flug gänzlich unmöglich machen. Generell gilt, wenn ein Punkt überflogen wurde, wird dieser erst beim nächsten Überflug wieder überwacht. Je nach Überwachungsgebiet entsteht ein Konflikt mit der militärischen, zivilen kommerziellen und privaten Luftfahrt. Besonders kritisch sind Kleindrohnen zu sehen, da diese für die zuvor genannte Luftfahrt (für die Piloten) sehr schwierig wahrzunehmen sind. Neben der Windanfälligkeit ist zudem die Reichweite bei Kleindrohnen sehr begrenzt, die Flugzeit liegt oft nur bei weniger als 30 Minuten.

Die hohen Kosten der aeronautischen Systeme für Anschaffung, Betrieb, Wartung, sowie für eine entsprechende Infrastruktur wirken sich gegenüber terrestrischen Systemen negativ aus.

Auch wenn mit Satellitensystemen die komplette Erdoberfläche (510 Millionen Quadratkilometer, davon ca. 150 Millionen Quadratkilometer Landfläche [46]) überwacht werden kann, ist der größte Nachteil, dass die Überwachung nicht permanent gewährleistet ist. Neben den witterungsbedingten Störfaktoren stellt ein Defekt an einem Satelliten, der meistens nicht schnell zu beheben ist, ein nicht zu unterschätzendes Problem dar.

Weiter sind die bisher typischen, langen Meldewege als problematisch einzustufen. Bei einem detektierten Brandereignis und der Meldung durch den Satelliten an die zuständige Bodenstation einer Raumfahrtorganisation, die diese Meldung erst verifiziert und dann an eine zuständige Behörde meldet, vergehen in der Regel 60 - 90 Minuten [53].

Zum besseren Verständnis bezüglich eines Meldewegs wird dies nachfolgend beispielhaft anhand der Bundesrepublik Deutschland skizziert:

1. Satellit an Bodenstation der ESA (European Space Agency),
2. ESA an das GMLZ (Gemeinsames Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern),
3. GMLZ an das Lagezentrum des betroffenen Bundeslandes,
4. Lagezentrum an die zuständige Feuerwehrleitstelle,
5. Feuerwehrleitstelle alarmiert die zuständigen Feuerwehreinheiten.

In Ländern mit sehr großer Flächenausdehnung und dünner bis teilweise gar keiner Besiedlung (z. B. Vegetationsflächen in Kanada oder Russland) ist der Zeitfaktor sicherlich zu vernachlässigen, da die Brandentdeckung auf herkömmlichen Wegen (durch Menschen oder Luftfahrt) einen noch längeren Zeitraum in Anspruch nimmt. Meistens sind Standorte von Feuerweereinheiten in diesen Regionen zudem mehrere 100 km voneinander entfernt.

2.6 Technische Entwicklungspotentiale für Deutschland

Für Deutschland mit seinen Bundesländern eignen sich aus Sicht des Autors terrestrische Systeme am besten. Dies begründet sich in der Größe des Staatsgebietes, der Topographie, der Besiedlungsdichte und der Infrastruktur. Die Dichte an Verkehrsflughäfen, sowie Sport- und Segelfluggeländen würde den Einsatz von aeronautischen Systemen vermutlich stark einschränken oder sogar unmöglich machen. Orbitale Systeme sollten als Ergänzung und für Prognosen einen festen Bestandteil bilden. Zur Kostenreduzierung könnte dies von mehreren Staaten gemeinsam finanziert und betrieben werden.

3 Zuständigkeiten und Organisation für Vegetationsbrand-Früherkennungssysteme

Vegetationsflächen (hauptsächlich Wald, Heide- und Moorflächen) gehören entweder dem Bund, einem Bundesland, einer Kommune oder privaten Besitzern. Aufsichtsbehörde ist die jeweilige zuständige Forstbehörde; d. h. entweder Bund oder Land. Die Grundlagen legt das Bundeswaldgesetz fest. Konkretere Ausformulierungen und Anforderungen regelt jedes Bundesland für seinen Zuständigkeitsbereich in einem eigenen Landesgesetz. Oftmals werden für den Vegetationsbrandschutz (oftmals nur als Waldbrandschutz bezeichnet) zusätzliche Verordnungen oder Erlasse herausgegeben [54]. Hier wird es gerade im Bezug auf die privaten Besitzer schwierig, eine Erlasslage hat für private Besitzer keine Rechtsgültigkeit.

Die jeweiligen Vegetationsflächen in Deutschland werden in sogenannte Waldbrandgefahrenklassen von A bis C eingeteilt. Diese Einteilung richtet sich nach Bewuchs, Bodenbeschaffenheit, Temperaturkurve etc. Der Buchstabe A bedeutet ein hohes Risiko, B bedeutet mittleres Risiko und C niedriges Risiko. Diese Klassifizierung erfolgte durch die Europäische Kommission für alle Mitgliedsstaaten [55]. Von der Einstufung lassen sich auch Fördermittel durch die EU ableiten. Anhand dieser Klassifizierung legen die Bundesländer zusätzliche Schutz- bzw. Gefahrenabwehrmaßnahmen für ihre Gebietskörperschaft fest.

3.2 Aufgaben und Organisation der Forstbehörden

Die Aufgabe des Vegetationsbrandschutzes bestehend aus der Vorbeugung, Pflege und der Abwehr liegt in der Zuständigkeit der Forstbehörden. Ein Schwerpunkt bildet die Vorbeugung und wird durch die einzelnen Bundesländer in verschiedenster Art und Umfang geregelt. Vorbeugende Maßnahmen sind u. a.: Bepflanzung und Pflege, Sensibilisierung der Bevölkerung, Einsatzkarten, Alarm- und Einsatzpläne, Löschwasserversorgung, Erschließung von Waldwegen für LKW, Vorhaltung von Löschtechnik (Arbeitsgeräte und Maschinen), Überwachung (manuell oder automatisch), Wundschutzstreifen [56].

Nicht in allen Bundesländern findet eine aktive Überwachung der Vegetationsflächen durch die Forstbehörden statt. Nachfolgend sind stellvertretend die Aussagen von Landesforsten Baden-Württemberg und Hessen Forst für die Entscheidung gegen eine aktive (automatische) Überwachung angeführt. Die Argumente gleichen denen anderer Bundesländer.

GÖCKEL „In Baden-Württemberg kein hohes Waldbrandrisiko ..., reine Laub- oder Mischwälder, vorwiegend harte Böden und ein gutes kartiertes Waldwegenetz ...“ [57].

HÖLZ „Die dichte Besiedlung in Hessen und damit verbundene schnelle Brandentdeckung in der Regel weniger als zehn Minuten ..., die Vielzahl und Dichte an Verkehrs- und Sportflughäfen, das gute Waldwegenetz, Waldbrandeinsatzkarten ...“ [58].

Nur drei Bundesländer setzen auf Überwachungsflüge in unterschiedlicher Ausführung, Qualität und Zeit. Beispielhaft sei hier der Feuerwehrflugdienst in Niedersachsen genannt.

Eine automatische Überwachung mittels Früherkennungssystemen gibt es nur in den Bundesländern Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen und Sachsen-Anhalt [5]. Alle genannten Bundesländer verfügen über das Kamerasystem FireWatch® von IQ Wireless aus Berlin. Montiert auf ehemaligen Feuerwachtürmen, Mobilfunkmasten oder hohen Gebäuden können diese Systeme in einem Radius von bis zu 15 km Rauchentwicklungen ab einer Flächenausdehnung von zehn mal zehn Metern detektieren. Dabei dreht sich das Kamerasystem einmal um seine eigene Achse, stellt kontinuierlich ein 360-Grad-Panorama her und analysiert dieses. Alle zehn Grad wird eine Bildfolge aufgenommen, die dann von der Bildverarbeitungssoftware auf das Vorhandensein von Rauchmerkmalen geprüft wird (Abbildung 14 und 15 in der Anlage). Aufgrund der hohen Grauwertabstufung der Sensorik kann das System kleinste Rauchwolken in der Atmosphäre visualisieren und deren Ursprungsort auch noch in zehn Kilometer Entfernung mit einer Genauigkeit von 100 Metern bestimmen. Durch die angewendete Pixelgröße kann das sogenannte Bildrauschen (Störfaktoren) minimiert und so der Anteil an Täuschungsalarmen gegenüber vergleichbaren Kamerasystemen reduziert werden.

Mittels optischem Bildsensor können Vegetationsbrände tagsüber bereits in einem sehr frühen Stadium erkannt werden. In den Nachtstunden ist Rauch mit einem Bildsensor nur schwer zu detektieren, deshalb arbeitet das Kamerasystem mit einem zusätzlichen IR-Sensor im Spektralbereich des nahen Infrarots (ca. 700 bis 1.500 Nanometer), dieser liegt am dichtesten an der Reflexion von Vegetationen (ca. 900 bis 1.100 Nanometer). Nachts erfolgt in den oben genannten Bundesländern keine Überwachung, da Vegetationsbrände in der Regel nur tagsüber ausbrechen (so die Argumentation der Forstbehörden). Tagsüber überwacht jedes System eine Waldfläche von ca. 700 km² innerhalb von ca. sechs Minuten. Im Überwachungsbereich jeder einzelnen Kamera können sogenannte Filter programmiert werden. Das bedeutet konkret, dass gewisse Objekte im Sichtfeld eines Kamerasystems ausgeblendet werden können, um Täuschungsalarme zu vermeiden, z. B. der Schornstein eines Industriebetriebes oder Windkraftträder [59].

In Verdachtsfällen wird die Ereignismeldung per Funk oder Breitband an sogenannte Waldbrandzentralen übermittelt. Diese Zentralen werden von den Forstbehörden betrieben und sind mit deren Personal besetzt. Ein Mitarbeiter einer Waldbrandzentrale kann zeitgleich ca. zehn Kamerasysteme überwachen. Je nach Bundesland und Anzahl der eingesetzten Kameras gibt es eine oder mehrere Waldbrandzentralen. Im Bundesland Sachsen wurde der Arbeitsplatz „Waldbrandzentrale“ in der Integrierten Regionalleitstelle in Hoyerswerda untergebracht, dort wird er aber weiterhin durch Mitarbeiter der Forstbehörde besetzt. Generell ist die Anzahl von Täuschungsalarmen noch als „hoch“ zu bewerten, was zu einer erheblichen Zusatzbelastung des Leitstellendisponenten führt. Die Akzeptanz bei der Feuerwehrleitstelle ist daher entsprechend niedrig [61].

Stellenweise (z. B. in Brandenburg) werden gerade einige Waldbrandzentralen modernisiert und deren Anzahl reduziert. In Niedersachsen erfolgt momentan ein Austausch der Kamerasysteme auf die neueste Generation [62].

Seit 2014 gibt es bundeseinheitlich den sogenannten Waldbrandgefahrenindex (WBI). Dieser teilt sich in die Stufen eins (sehr geringe Gefahr) bis fünf (sehr hohe Gefahr) ein. Der Waldbrandgefahrenindex wird in der Waldbrandsaison, in der Regel März bis Oktober, täglich aktuell, mit einer viertägigen Prognose, vom Deutschen Wetterdienst herausgegeben [60]. Anhand des WBI und eigenem Datenabgleich geben die Landesforstbehörden aktuelle Verhaltensmaßnahmen für ihren Bereich heraus und entscheiden über eigene operative Handlungsweisen. Während der Waldbrandsaison werden die Waldbrandzentralen abhängig von der aktuellen Waldbrandwarnstufe nach WBI in der jeweiligen Region besetzt. Die Zeiträume liegen bei höchster Warnstufe in der Regel zwischen 09:00 Uhr bis spätestens 22:00 Uhr. Je nach Warnstufe verkürzen sich die Zeiten der Besetzung, z. B. von 10:00 Uhr bis 20:00 Uhr. Außerhalb der Betriebszeit werden die Systeme abgeschaltet und sind nicht aktiv.

Die nachfolgende Statistik aus Niedersachsen macht eindrucksvoll deutlich, wie die Anzahl der Einsatztage der Waldbrandzentralen und die Betriebszeiten der Kamerasysteme aufgrund des Klimawandels und der daraus resultierenden Dürreperioden gestiegen sind.

Tabelle 1: Statistik Waldbrandzentralen Niedersachsen ab 2011 [62]

Jahr	Einsatztage Waldbrandzentralen	Meldungen an Feuerwehrleitstellen	Durschnitt Meldungen pro Tag
2011	57	110	1,9
2012	49	83	1,7
2013	73	209	2,9
2014	38	52	1,4
2015	37	141	3,8
2016	61	146	2,4
2017	32	163	5,1
2018	130	510	3,9
2019 bis 16. Okt.	100	314	3,1

3.3 Schnittstelle Forstbehörden - Brandschutzdienststellen

Wird eine Meldung über eine Rauchentwicklung an eine Waldbrandzentrale von einem Kamerasystem übermittelt, so klären die Mitarbeiter über ein rechnergestütztes Bildanalyseverfahren ob es sich tatsächlich um ein Brandereignis und nicht um einen Täuschungsalarm (z. B. einer Staubwolke durch eine Landmaschine) handelt. Wird ein Vegetationsbrand identifiziert, werden die Daten, bestehend aus Koordinatenangaben, Kartenausschnitt mit Kreuzpeilung und Bildmaterial von dem lokalisierten Brandort (Abbildung 16 in der Anlage), per FAX an die Feuerwehrleitstelle gemeldet [6] [28] [62].

Die nachfolgende Tabelle zeigt, welche Ereignisse von den niedersächsischen Kamerasystemen im Jahr 2018 erkannt und an die Feuerwehrleitstellen weitergemeldet wurden. Von insgesamt 510 weitergeleiteten Meldungen waren abschließend 395 durch die Feuerwehrleitstellen bestätigte Brandereignisse. Die Anzahl der bestätigten Brände könnte womöglich noch höher als 395 liegen, da die Waldbrandzentrale Niedersachsen nicht immer eine abschließende Rückmeldung erhält [62].

Es ist davon auszugehen, dass alle 510 Meldungen einem Brandereignis zuzuordnen sind. Eine Angabe zur tatsächlichen Anzahl von Täuschungsalarmen wurde auch auf gezielte Rückfrage von keiner Waldbrandzentrale gemacht [61].

Tabelle 2: Realereignisse detektiert durch niedersächsische Kamerasysteme [62]

Waldbrände	28
Flächenbrände (Getreibefelder, Graslandfläche, Gehölz)	60
Landmaschinen (Mähdrescher, Traktoren, Strohpressen, Harvester)	27
Gebäude (Haus, Garagen, Hallen, Gartenlauben)	14
Militärische Truppenübungsplätze (davon 40 Erstmeldungen)	239
Fahrzeuge (PKW, LKW, Wohnwagen)	9
Sonstige (Abfallbrände, Brände an Straßen- oder Bahndämmen)	18
Gesamt	395

4 Zusammenfassung

Um künftig in den Bundesländern präventiv noch besser auf Vegetationsbrände vorbereitet zu sein, sollten folgende organisatorischen und technischen Maßnahmen umgesetzt werden:

4.1 Organisatorische Potentiale für die Bundesländer

Die Brandschutzdienststellen müssen stärker bei den vorbeugenden Maßnahmen und Strategien des Vegetationsbrandschutzes eingebunden werden. Da aber die Zuständigkeit per Gesetz bei den Forstbehörden liegt, bedarf es gewisser rechtlicher Anpassungen. Zwischen den verschiedenen Behörden muss eine engere Abstimmung, Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit erfolgen. Aus Sicht des Autors kann dies nur durch die Politik in Form einer einheitlichen Fortschreibung der einzelnen Brandschutz- und Forstgesetze der Bundesländer erfolgen. Dies ist jedoch im Rahmen des Föderalismus als äußerst schwierige Angelegenheit anzusehen.

Ein Einsatz von automatischen Früherkennungssystemen ist in allen Vegetationsgebieten mit hohem und mittlerem Brandrisiko zwingend erforderlich. Dies begründet sich vor allem in der gesamtklimatischen Entwicklung und der Zunahme von Vegetationsbränden mit intensiveren Brandverläufen. Dies bedeutet auch das immer häufiger bundeslandübergreifende Hilfe erforderlich wird. Daher ist neben einer bundeseinheitlichen Strategie und Taktik auch eine einheitliche Ausbildung (z. B. als Feuerwehr-Dienstvorschrift) notwendig; vergleichbar dem „National Incident Management System“ der amerikanischen Katastrophenschutzbehörde FEMA (Federal Emergency Management Agency). Dieses System gilt bei gewissen Großschadenslagen in allen Bundesstaaten der USA.

Vorgehaltenes Kartenmaterial zu Vegetationsgebieten muss zwingend vereinheitlicht werden. Neben einem vordefinierten Maßstab (z. B. 1:50.000), muss das Kartenmaterial entsprechende Informationen zu den jeweiligen Vegetationsgebieten enthalten. Die Informationen müssen Aufschluss auf den Bewuchs, befahrbare Wege für LKW, eventuelle Wendepunkte, Hinweise zur Löschwasserversorgung und Hinweise auf Munitionsbelastung enthalten. Beispielhaft seien in diesem Kontext die Waldbrandeinsatzkarten des Landes Hessen (Abbildung 17 in der Anlage) angeführt [64]. Diese Karten sind zudem mit den Früherkennungssystemen zu verknüpfen, damit bei einer Detektion der Einsatzort direkt in den Karten markiert wird. So stünden den Feuerwehren direkt umfassende Informationen zum Einsatzgebiet zur Verfügung. Eine entsprechende zielgerichtete Alarmierung von Ressourcen kann abhängig vom Gebiet, dessen Zuwegung sowie der Löschwasserversorgung erfolgen. Weiter ermöglichen solchen Karten dem Einsatzleiter der Feuerwehr oder dem Lagedienstleiter der Feuerwehrleitstelle bereits im Vorfeld einen schnellen Überblick zum Einsatzgebiet, um wichtige strategische und/oder taktische Entscheidungen (Anfahrt, Bereitstellungsraum usw.) zu treffen.

4.1 Weiterentwicklung technischer Maßnahmen

Die eingesetzten Kamerasysteme „FireWatch®“, nebst Equipment für die Empfangszentralen, sind momentan eines der leistungsstärksten auf dem Markt.

Die Täuschungsalarmrate, die Schnittstellen und die Ausfallsicherheit sind aber noch verbesserungswürdig. Die Minimierung der Täuschungsalarme könnte durch eine sogenannte „Zwei-Linien-Abhängigkeit“, vergleichbar der Brandmeldetechnik für bauliche Anlagen, erfolgen. Dazu muss mittels eines definierten Programmalgorithmus eine Kopplung zweier unterschiedlicher Wirkprinzipien erfolgen. Eine Möglichkeit ist der Abgleich einer Bildtechnologie mit der Brandkenngroße Rauch und ein zusätzlicher Abgleich mittels IR-Sensoren mit entsprechendem Spektralfilter. Beide Sensoren sind bereits in dem System „FireWatch®“ verbaut. Erst wenn beide Sensoren eine Unregelmäßigkeit detektieren kommt es zur Alarmauslösung.

Um die Kamerasysteme ausfallsicherer zu gestalten, muss die Möglichkeit einer redundanten Stromversorgung gegeben sein. Es wäre darüber hinaus zu prüfen, ob die Kamerastandorte für eine gesicherte Kommunikation und Datenübertragung mit dem Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sonderaufgaben (BOS) gekoppelt werden können. Dies würde zusätzlich die Kommunikation für die Feuerwehren im Einsatzgebiet verbessern.

Technische Anpassungen sind auch bei den sogenannten Waldbrandzentralen notwendig. Auch hier muss eine Ausfallsicherheit gegeben sein; d. h. wenn eine Zentrale ausfällt, muss eine andere Zentrale die Aufgaben übernehmen können. Von großem Nutzen wäre, wie bereits erwähnt, eine Integration in die Feuerwehrleitstellen (wie in Hoyerswerda) [61]. Das hätte den weiteren Vorteil, dass direkt ein Abgleich zu den detektierten Ereignissen erfolgen könnte. Zudem wären der Meldeweg und die Zeitschiene verkürzt und durch den Mitarbeiter der Forstbehörde kann eine direkte Unterstützung, wie Fachberatung, Identifizierung des Forstreviers, Verständigung von Verantwortlichen etc., erfolgen. Über die Integration von Waldbrandzentralen in einer Feuerwehrleitstelle ließen sich durch Synergieeffekte bei der Technik/Infrastruktur möglicherweise weitere erheblich Kosten einsparen. Während der Waldbrandsaison wäre durch die Feuerwehrleitstelle eine Überwachung auch außerhalb der Betriebs-/Dienstzeiten der Waldbrandzentrale/Forstmitarbeiter möglich. So wäre eine permanente Überwachung ohne zusätzliche Kosten realisierbar und auch in den Nachtstunden ausbrechende Vegetationsbrände (z. B. ausgelöst durch landwirtschaftliche Arbeiten oder Grillfeiern) würden erfasst.

Um den Feuerwehrleitstellen mehr Informationen zur Verfügung zu stellen (nicht wie jetzt ein Textteil mit Koordinaten, Ausschnitt der Kreuzpeilung auf einer UTM-Karte und ein Vollbild per Telefax), müssen Schnittstellen zu den Einsatzleitsystemen geschaffen werden. Dadurch können die aufbereiteten Informationen der Waldbrandzentrale direkt in den Einsatzleitrechner der Feuerwehrleitstellen übernommen werden. Vorteilhaft wäre eine direkte Übermittlung und Darstellung in den bereits beschriebenen Waldbrandeinsatzkarten. Dies hätte zudem den positiven Nebeneffekt, dass alle Behörden (auch über Bundeslandgrenzen hinweg) über ein einheitliches Kartensystem verfügen würden. Alle Beteiligten hätten die gleichen Informationen zur Verfügung und die Waldbrandeinsatzkarten könnten von allen interpretiert werden. Das wäre eine günstige und schnelle Alternative gegenüber der Integration von Waldbrandzentralen in Feuerwehrleitstellen, welche vermutlich Jahre in Anspruch nehmen wird.

Um eine zusätzliche aussagekräftige und umfassende Lageübersicht zu erhalten, sind Kleindrohnen mit einem optischen Bild-, Video- und Infrarotsensor inklusive einer Übertragungseinrichtung eine sinnvolle Ergänzung. Daher sollte bei jedem Kamerasystem eine Kleindrohne stationiert sein, welche im Detektionsfall automatisiert den lokalisierten Brandort anfliegt, um weitere Informationen zur Lage (genaue Position, Ausmaß des Ereignisses und Zuwegung) an die Waldbrandzentrale zu übermitteln. Die Kleindrohne muss automatisch Informationen zu ihrer Flugroute mitteilen und ein Erkennungssignal für Dritte (Sportflugzeuge, Rettungshubschrauber usw.) aussenden um Zwischenfälle zu vermeiden. Nach Abschluss des Erkundungsfluges muss die Kleindrohne selbstständig an ihren Standort zurückkehren und einen Ladezyklus erhalten. Eine weitere (einfache und schneller umsetzbare) Möglichkeit ist in jedem Landkreis und jeder kreisfreien Stadt eine Kleindrohne für die Lageerkundung vorzuhalten. Diese sind auf einem Einsatzleitwagen (ELW 2) oder Abrollbehälter Einsatzleitung zu verladen. Die Bilder ließen sich dann direkt in den Besprechungsraum der Einsatzleitung übertragen und auswerten. Bei dieser Variante könnten die Kleindrohnen auch bei anderen Schadenslagen durch die Feuerwehren eingesetzt werden.

Um bei einem Schadenseintritt weitere verlässliche Prognosen und Einschätzungen durch Fachleute zu erhalten, muss ein Zugriff auf Satelliteninformationen möglich sein. Hierfür müsste ein Zugang (begrenzter Personenkreis) geschaffen werden, um die erforderlichen Daten abrufen zu können. Denkbar wäre ein Portal ähnlich des Wetterinformationssystems für den Katastrophenschutz (FeWIS) des Deutschen Wetterdienstes. Mit solchen umfangreichen Informationen eines (interdisziplinären) Satelliten ließen sich schnell Lagebilder für die gesamte Bundesrepublik und - bei grenznahen Ereignissen - der Anrainerstaaten erstellen und bewerten.

Abschließend sei angemerkt: „Vorbeugende Maßnahmen zum Vegetationsbrandschutz jeglicher Art und Umfang werden die Anzahl entstehender Vegetationsbrände nicht reduzieren, jedoch erheblichen Einfluss auf die Brandverläufe und deren Auswirkungen haben. Fehler bzw. Defizite bei der Vorbeugung können nicht durch den abwehrenden Brandschutz ausgeglichen werden“.

5 Quellenverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt, „Umweltbundesamt“, [Online]. Available: www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/land-oekosysteme. [Zugriff am 15.10.2019].
- [2] Statistisches Bundesamt, „Statistisches Bundesamt“, Tabelle Stand 15.November 2017, [Online]. Available: www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-laender.html. [Zugriff am 15.10.2019].
- [3] Dr. Ulrich Cimolino, „Analyse der Einsatzerfahrungen und Entwicklung von Optimierungsmöglichkeiten bei der Bekämpfung von Vegetationsbränden in Deutschland“, Bergische Universität Wuppertal, Dissertation 2014, Seite 3 ff.
- [4] Michaela Bachmann, „Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung“, Waldbrandstatistik 2018, Seite, [Online]. Available: www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Waldbrandstatistik/Waldbrandstatistik-2018.pdf;jsessionid=312E0B0C31DB14B60BFE3B9DC5B9BF18.2_cid325?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 14.10.2019].
- [5] Jürgen. Heup, „Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz“, [Online]. Available: https://www.kiwuh.de/service/presse/pressemitteilungen/aktuelle-nachricht/news/waldbrand-frueherkennung/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=6d4f58bf1a7f66a6be697572cea4eb65. [Zugriff am 10.10.2019].
- [6] Susanne Kaulfuß, „Handbuch Waldbrand“, [Online]. Available: https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_waldbrand_wb4_2/index_DE. [Zugriff am 10.10.2019].
- [7] Branddirektor Dr. Dirk Schneider, „Untersuchung von Methoden zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten“, Technische Universität Dresden, Dissertation 2017, Seite 50 ff.
- [8] NNienke. Brouwer, *Projectleader / Researcher Wildfire, Institute for Safety, Kemperbergerweg 783, Arnheim (Niederlande)*. [Interview]. 14.10.2019.
- [9] Firebreak, FirePosse 360, „Firebrak Canada Cooperation“, [Online]. Available: www.firebreakcanada.com/fireposse360-fire-detection-system/. [Zugriff am 22.10.2019].
- [10] Wikipedia, “ Stichwort: CCD-Sensor", [Online]. Available: www.wikipedia.de. [Zugriff am 17.10.2019].

- [11] „Wikipedia, “Stichwort: CCTV”, [Online].
Available: www.wikipedia.de. [Zugriff am 17.10.2019].
- [12] Infrarot Guide, „Infrarot Guide“, [Online].
Available: www.infrarot-guide.de/infrarotstrahlung-einfach-erklart/.
[Zugriff am 21.10.2019].
- [13] Wikipedia, „Pan-tilt-zoom Camera“, [Online].
Available: www.wikipedia.org/wiki/Pan-tilt-zoom_camera. [Zugriff am 21.10.2019].
- [14] Harjinder Singh, „Forest Fire Detection using Wireless Sensor, Issue 7, July 2016 ISSN 2229-558“, International Journal of Scientific & Engineering Research, Seite 555 ff.
- [15] Branddirektor Dr. Dirk Schneider, „Untersuchung von Methoden zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten“, Technische Universität Dresden, Dissertation 2017, Seite 87 ff.
- [16] Branddirektor Dr. Dirk Schneider, „Untersuchung von Methoden zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten“, Technische Universität Dresden, Dissertation 2017, Seite 101-103.
- [17] Yasar Guneri Sahin, „Animals as Mobile Biological Sensors for Forest Fire Detection“, Ismir University of Economics, Department of Software Engineering, Sensors 2007, ISSN 1424-8220.
- [18] It for Nature, „SmokeD“, [Online].
Available: www.smokedsystem.com/about-system/. [Zugriff am 22.10.2019].
- [19] Rene Blaut, *Firma IQ-Wireless, Carl-Scheele-Straße 14 in 12439 Berlin*.
[Interview]. 16.10.2019.
- [20] FireWatch Australia, „FireWatch Australia“, [Online].
Available: www.firewatchaustralia.com/about-firewatch-australia.
[Zugriff am 18.10.2019].
- [21] Paratronic, „Paratronic Eau Enviroment Risques Naturels“, [Online].
Available: <http://www.paratronic.com/uk/risques-naturels/adelie/index.php#2,1;0>.
[Zugriff am 14.10.2019].
- [22] Ambience DATA, „Ambiencedata Solutions“, [Online].
Available: www.ambiencedata.com/solutionshome/forestfire/.
[Zugriff am 22.10.2019].
- [23] Bee2FireDetection, „Bee2FireDetection“, [Online].
Available: <http://www.bee2firedetection.com/#solution>. [Zugriff am 18.10.2019].

- [24] Forest Fire Detection, „Forestfiredetection“, [Online].
Available: www.forestfiredetection.com/en/how-does-it-work.
[Zugriff am 14.10.2019].
- [25] Dat-Con, „Dat-Con-Protection“, [Online].
Available: www.dat-con-protection.com/projects/theris-outdoor/?portfolioCats=23.
[Zugriff am 22.10.2019].
- [26] VIGILYS, „Vigilys Wildfire Detection“, [Online].
Available: www.vigilys.com/technology/firealert/. [Zugriff am 22.10.2019].
- [27] Firehawk Co, „Firehawk Company“, [Online].
Available: www.firehawk.co.za/#history. [Zugriff am 11.10.2019].
- [28] IQ-Wireless, „IQ-FireWatch“, [Online].
Available: www.iq-firewatch.com/de/die-technik. [Zugriff am 10.10.2019].
- [29] EnviroVision Solutions, „Evsolutions“, [Online].
Available: www.evsolutions.biz/hardware/. [Zugriff am 11.10.2019].
- [30] vispectiv AG, „fire-watch“, [Online].
Available: <http://www.fire-watch.ch/files/Vispectiv--1.pdf>. [Zugriff am 10.10.2019].
- [31] Lama Solutions, „iForestFire“, [Online].
Available: www.lama.hr/wp-content/uploads/2014/08/iForestFire.pdf.
[Zugriff am 11.10.2019].
- [32] Telekom Kroatien, „europe telekom“, [Online].
Available: www.b2b-europe.telekom.com/blog/2017/03/06/iforestfire-intelligent-wildfire-protection-in-croatia. [Zugriff am 11.10.2019].
- [33] Lesdozor, „Lesdozor-Systems“, [Online].
Available: www.lesdozor.ru/about-system. [Zugriff am 21.10.2019].
- [34] Raymetrics, „raymetrics 3D fire detector“, [Online].
Available: www.raymetrics.com/sites/default/files/2018-07/Brochure%20WF%20detector_0.pdf. [Zugriff am 22.10.2019].
- [35] Integrated Surveillance Projects, „Surveillance of Forest Fires“, [Online].
Available: http://www.sr7.eu/idiomas/ing/vigilancia_forestal.php.
[Zugriff am 22.10.2019].
- [36] Delacom Detection Systems LLC, „Wildlandsystems“, [Online].
Available: <http://www.wildlandsystems.com/index.html>. [Zugriff am 21.10.2019].

- [37] National Infrared Operations, „Programm Overview“, [Online].
Available: [http:// www.norcal.asprs.org/presentations/2012_Tech_Session/02_Mellin_ASPRS_NIROPS.pdf](http://www.norcal.asprs.org/presentations/2012_Tech_Session/02_Mellin_ASPRS_NIROPS.pdf), [Zugriff am 23.10.2019].
- [38] NIROPS, „US-Forst Services NIROPS“, [Online].
Available: www.fsapps.nwcg.gov/nirops/pages/about.
[Zugriff am 23.10.2019].
- [39] NASA, „NASA Missions Fire and Smoke“, [Online].
Available: www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/index.html.
[Zugriff am 23.10.2019].
- [40] Lockheed Martin, „Lockheed Martin“, [Online].
Available: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/hybrid-airship.html>.
[Zugriff am 24.10.2019].
- [41] Mellin Tom, National Infrared Program Manager, „NationalInfrared Operations“, [Online]. Available: www.norcal.asprs.org/presentations/2012_Tech_Session/02_Mellin_ASPRS_NIROPS.pdf. [Zugriff am 24.10.2019].
- [42] Chester F. Carlson, „Wildfire Airborne Sensor Program“, Rochester Institute of Technology, [Online].
Available: http://www.cis.rit.edu/info/IA_S2003_talks/McKeown_talk.pdf.
[Zugriff am 24.10.2019].
- [43] NASA, „Ikhana Western States Fire Missions“, [Online].
Available: www.nasa.gov/pdf/601239main_Ikhana-ebook.pdf.
[Zugriff am 24.10.2019].
- [44] WESCAM, „L3HARRIS Wescam“, [Online].
Available: www.wescam.com/products-services/airborne-surveillance-and-reconnaissance/mx-15/. [Zugriff am 24.10.2019].
- [45] Lynne Peeples, „NBC-NEWS“, [Online].
Available: www.nbcnews.com/mach/science/astrophysicist-has-audacious-plan-stop-wildfires-ncna899341. [Zugriff am 29.10.2019].
- [46] Wikipedia, „Geosynchrone Umlaufbahn“, [Online].
Available: www.wikipedia.org/wiki/Geosynchrone_Umlaufbahn.
[Zugriff am 28.10.2019].
- [47] Natural Resources Canada, „Natural Resources Canada“, [Online].
Available: www.cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/fm3.
[Zugriff am 25.10.2019].

- [48] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, „BBK. Gemeinsam handeln. Sicher leben“, [Online]. Available: www.bbk.bund.de/DE/Service/Fachinformationsstelle/Informationsangebote/Forschungsberichte/ForschungKritischeInfrastrukturen/Medien_Kultur/FIRESENSE/FIRESENSE_einstieg.html;jsessionid=F072800. [Zugriff am 01.11.2019].
- [49] European Commission, „Global Wildfire Information System“, [Online]. Available: www.gwis.jrc.ec.europa.eu/. [Zugriff am 01.11.2019].
- [50] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, „DLR FireBIRD“, [Online]. Available: www.dlr.de/firebird/desktopdefault.aspx/tabid-9078/. [Zugriff am 01.11.2019].
- [51] Europäische Kommission, „Copernikus, Europ´s eyes on Earth“, [Online]. Available: www.copernicus.eu/en/copernicus-sentinel-3-mission-sentinel-3b-orbit. [Zugriff am 05.11.2019].
- [52] United Nations, „UN-Spider - Knowledge Portal“, 2015. [Online]. Available: <http://www.un-spider.org/news-and-events/news/detecting-forest-fires-satellites-modis-and-viirs>. [Zugriff am 05.11.2019].
- [53] Branddirektor Dr. Dirk Schneider, „Untersuchung von Methoden zur Früherkennung von Bränden in Wald- und Vegetationsgebieten“, Technische Universität Dresden, Dissertation 2017, Seite 135 ff.
- [54] Wald wird mobil, „Waldhilfe“, [Online]. Available: www.waldhilfe.de/die-landeswaldgesetze/?gclid=Cj0KCQiA-4nuBRCnARIsAHwyuPrICaZGqEfKV-Gi4P-VY34bEHycifU6XDbKw4ZfjPsrtGUtK9M-oVMaAtkKEALw_wcB. [Zugriff am 06.11.2019].
- [55] Forstwirtschaft in Deutschland, „Forstwirtschaft in Deutschland“, [Online]. Available: www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/ueber-uns/. [Zugriff am 06.11.2019].
- [56] Bernhard Henning, WALDBRAND, Prävention, Bekämpfung, Wiederbewaldung, Bern: Haupt Verlag, 2019. Seite 103 ff.
- [57] Forstdirektor Christoph Göckel, *Landesforstamt Baden-Württemberg Aussenstelle Nagold, Calwer Straße 10 in 72202 Nagold*. [Interview]. 09.10.2019.
- [58] Andreas Hölz, Abteilung IV, *Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Kaiser-Friedrich Ring 75 in 65185 Wiesbaden*. [Interview]. 08.10.2019

- [59] Dr. Cimolino, Engel, Herrmann, Neumann, Südmersen, Zawadke und Zbinden, „Sonderheft Feuerwehr Magazin“, *Richtige Vorgehen bei Wald- und Flächenbränden*, Seite 14-19, 1/2016.
- [60] Deutscher Wetterdienst, „Waldbrandgefahrenindex“, [Online].
Available: www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/wbx_erlaeuterungen.pdf?__blob=publicationFile&v=11.
[Zugriff am 16.11.2019].
- [61] Branddirektor Dr. Dirk Schneider, Sächsisches Staatsministerium des Innern, Abt. Brand- und Katastrophenschutz. [Interview]. 12.11.2019
- [62] Helmut Beuke, *Niedersächsisches Landesforsten, Forstamt Oerrel in 29633 Munster*. [Interview]. 16.10.2019.
- [63] NASA, „EARTH DATA“, [Online].
Available: www.lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/viirs.cgi.
[Zugriff am 30.10.2019].
- [64] BOAR Gunther Reiber, *Hessisches Innenministerium, Abt. V Brand- und Katastrophenschutz*. [Interview]. 25.10.2019.

Abkürzungsverzeichnis

ATF	Analytische Task Force
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AWFS	Automatisches Waldbrand-Früherkennungssystem
BOS	Behörden und Organisationen mit Sonderaufgaben
BRD	Bundesrepublik Deutschland
CCD	Charge-coupled device
CCTV	Closed Circuit Television
DFV	Deutscher Feuerwehrverband
Dr.	Doktor
DWD	Deutscher Wetterdienst
ELW 2	Einsatzleitwagen 2
EU	Europäischen Union
FeWIS	Feuerwehr-Wetterinformations-System
FUEGO	Fire Urgency Estimator in Geosynchronous Orbit
GIS	Geoinformationssystem
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIROPS	National Infrared Operations
IR	Infrarot
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
km/h	Kilometer pro Stunde (Geschwindigkeit)
Prof.	Professor
PTZ	pan, tilt, zoom

RASS	Radio-Akustisches-Sondierungssystem
SIGIS 2	Scannendes Infrarot-Gasvisualisierungssystem 2
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
USA	United States of America
VAP2.2-Feu NRW	Verordnung über die Ausbildung und Prüfung für die Laufbahn des zweiten Einstiegsamtes der Laufbahnbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes im Land Nordrhein-Westfalen
WBI	Waldbrandindex

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spektralbereich sichtbares Licht / Infrarotstrahlung	4
Abbildung 2: Überwachungsgebiet mit einem terrestrischen Kamerasystem	7
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Scanprinzips.....	12
Abbildung 4: Darstellung eines Satellitensystems mit Überwachungsraster	14
Abbildung 5: Ambienca Data, Sparrow Unit und Sensoren	36
Abbildung 6: Fire Alert MKI.....	36
Abbildung 7: Firewatch.....	37
Abbildung 8: Raymetrics 3D Fire Detector	37
Abbildung 9: UAV (Drohne) des NASA-Projektes IKHANA	38
Abbildung 10: L3Harris Wescam MX-15	38
Abbildung 11: Aufnahmen 29.10.2019 von Vegetationsbränden in Kalifornien.	39
Abbildung 12: BIROS und TET.....	39
Abbildung 13: BIROS-Sensoren.....	39
Abbildung 14: Detektion Waldbrand Lübtheen durch eine Kamera in Gorleben.....	40
Abbildung 15: Detektion Waldbrand Lübtheen durch eine Kamera in Zernien	40
Abbildung 16: Alarmfax Waldbrandzentrale Lüneburg	41
Abbildung 17: Waldbrandeinsatzkarte Hessen.....	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Statistik Waldbrandzentralen Niedersachsen ab 2011	21
Tabelle 2: Realereignisse detektiert durch niedersächsische Kamerasysteme	22

6 Anhang

6.2 Abbildungen zu Vegetationsbranderkennungssystemen

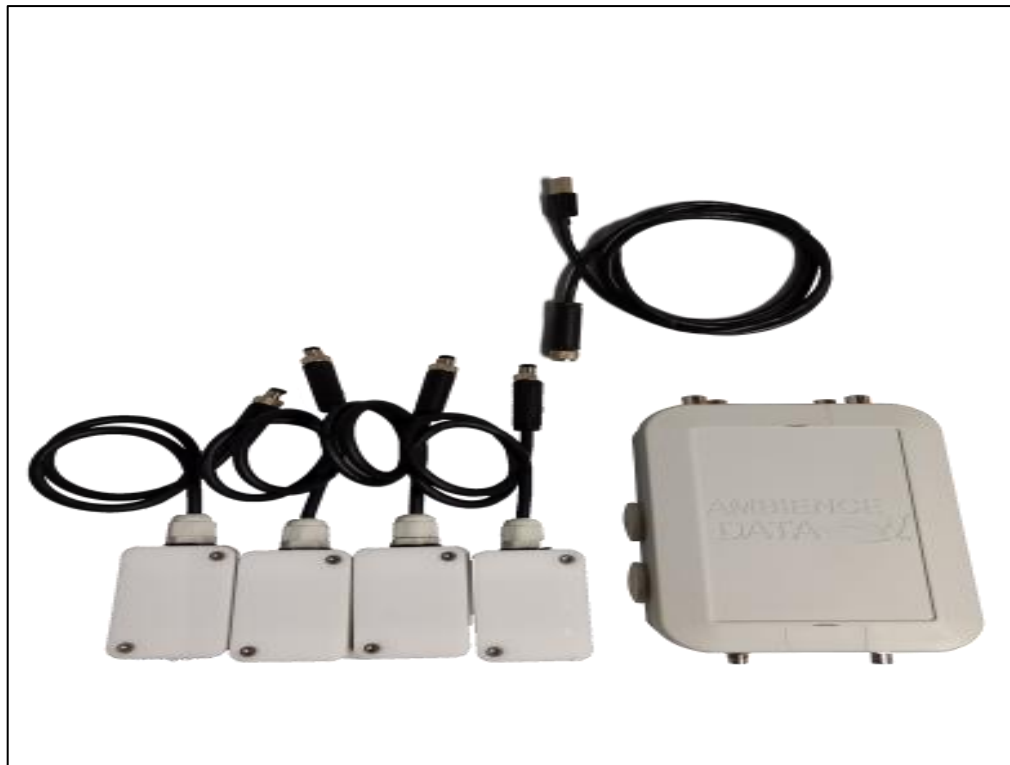


Abbildung 5: Ambienca Data, Sparrow Unit und Sensoren [22]



Abbildung 6: Fire Alert MKI [26]



Abbildung 7: Firewatch [28]



Abbildung 8: Raymetrics 3D Fire Detector [34]



Abbildung 9: UAV (Drohne) des NASA-Projektes IKHANA [43]



Abbildung 10: L3Harris Wescam MX-15 [44]

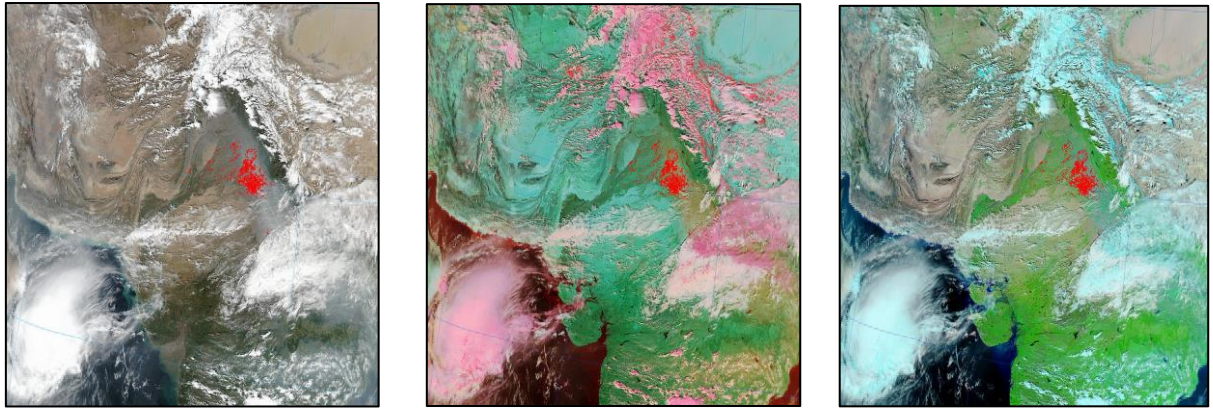


Abbildung 11: Aufnahmen 29.10.2019 von Vegetationsbränden in Kalifornien. [63]
Links Originalaufnahme, Mitte und rechts Aufnahme mit Falschfarben

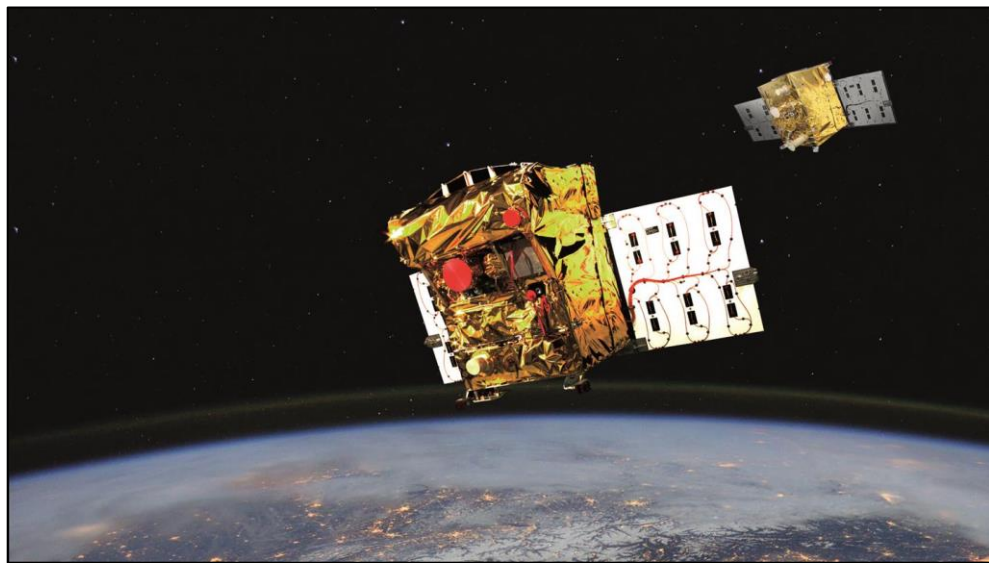


Abbildung 12: BIROS und TET 1 [50]

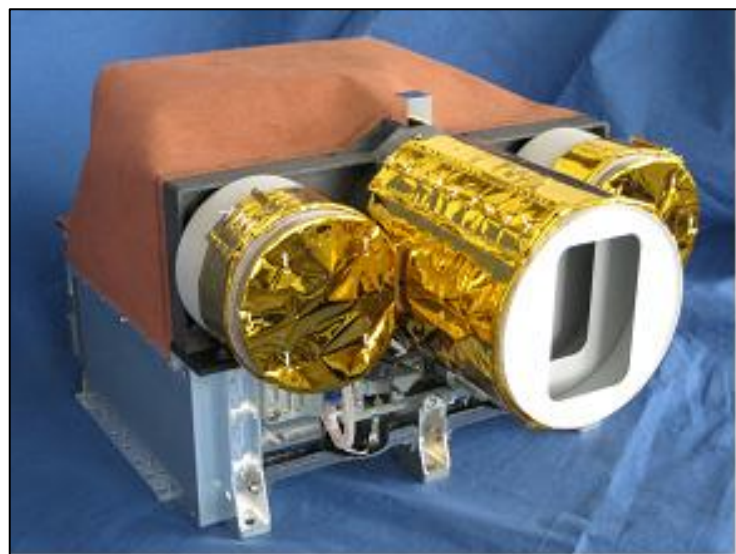


Abbildung 13: BIROS-Sensoren [50]



Abbildung 14: Detektion Waldbrand Lübtheen durch eine Kamera in Gorleben [62]

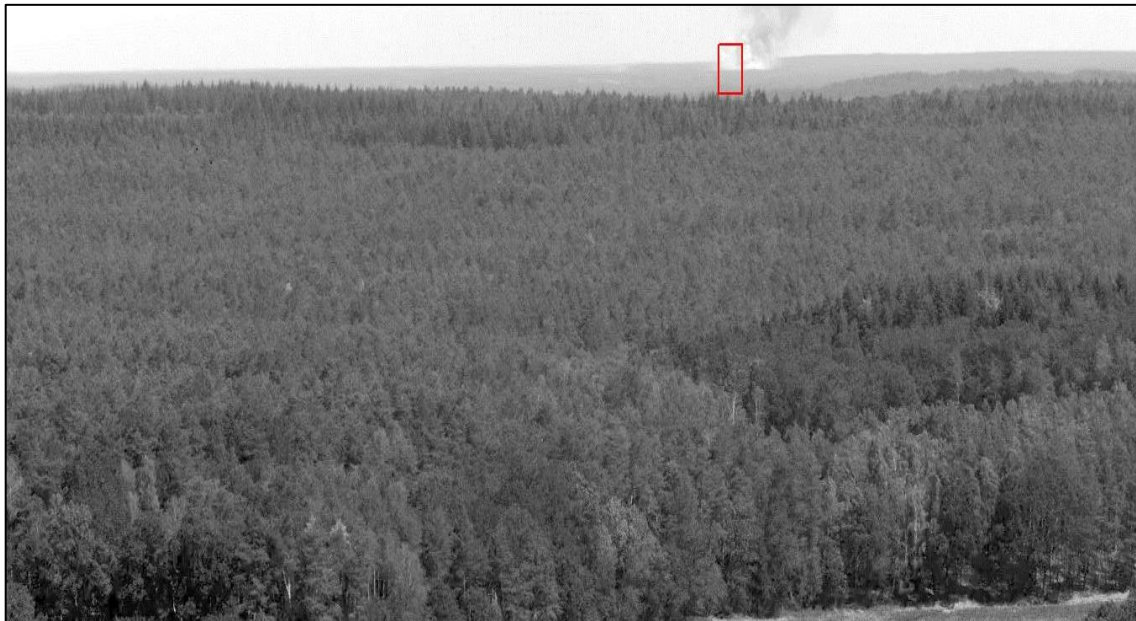


Abbildung 15: Detektion Waldbrand Lübtheen durch eine Kamera in Zernien [62]

Waldbrandzentrale Lüneburg

Telefax

BRANDMELDUNG

Anzahl der Seiten - 4 - (Seite 2 - Kartenauszug, Seite 3 Vollbild)

Erkannt am: 29.06.2019 15:44:12

1. Brandort: 3642042, 5906699 (Gauss-Krüger, Bessel, Datum RD83)
32641985, 5904336 (ETRS89/UTM, Datum WGS84)
11°07'44.79"E 53°16'9.27"N (Geo / WGS84)

Forstinfo:

Anmerkungen: bek.-feuer auf tr.üpl.-nähe ortsch.- "Lübtheen" !!!

2. Erkannt durch

Turm1 1) 6-Gorleben
Peilung1 330.1 Grad
Entfernung1: 31131m (Werte geschätzt bei fehlender Kreuzpeilung)

Turm2 1) 7-Zernien
Peilung2 32.0 Grad
Entfernung2: 27820m (Werte geschätzt bei fehlender Kreuzpeilung)

3. Sonstige Meldungen der Waldbrandzentrale

Meldung an Nachbarzentralen :

Diensthabender FoA/NPA/BFH :

Bearbeiter: MAN

Gedruckt am : 29.06.2019 15:51:20

1) Koordinanten (Name/ Hochwert/ Rechtswert/ Koordinatensystem)

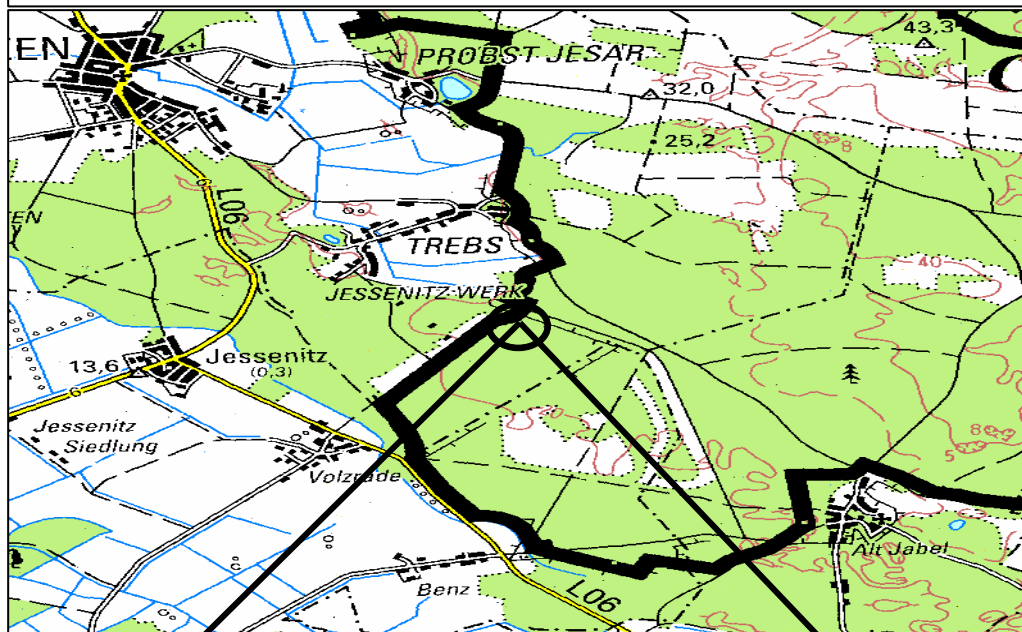


Abbildung 16: Alarmfax Waldbrandzentrale Lüneburg [62]

6.3 Leitfragen für Interview mit Forstbehörden

1. Setzen Sie in Ihrer Gebietskörperschaft automatische Waldbrand-Früherkennungssysteme ein? Wenn ja, welches System?
2. Wenn nein, beabsichtigen Sie ein Früherkennungssystem einzuführen?
3. Welche Gründe sprechen gegen eine Einführung eines automatischen Waldbrand-Früherkennungssystems?
4. Gibt es Besonderheiten in Bezug auf Präventionsmaßnahmen in ihrem Zuständigkeitsbereich (außer Flugdienst, besetzte Feuerwachtürme, Bestreifung, Wundschutzstreifen, Saison von März bis Oktober)?

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Holger Klein-Dietz, 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.

Delmenhorst, 20.12.2019

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters and a large loop, positioned above a dotted line.

Holger Klein-Dietz