

Methodik – Papier zum Handlungsfeld Planung und Bau: Verkehr und Verkehrsinfrastruktur – Böschungsbrand- gefährdung an Schienenwegen

Grundlagen

Extremwetterereignisse und langanhaltende Trockenheit stellen eine große Gefahr für die Schieneninfrastruktur dar. Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) hat umfangreiche Untersuchungen zur Gefährdungseinschätzung durch Böschungsbrände an Bahnstrecken durchgeführt und darauf basierend 2023 einen Online-Kartendienst zur Böschungsbrandgefährdung an Schienenwegen veröffentlicht. Mit Hilfe dieser Karte können mögliche Schwerpunkte der Gefährdung gegenüber Böschungsbränden lokalisiert und entsprechende Vorkehrungen getroffen werden. Hinsichtlich der wahrscheinlich häufiger und intensiver auftretenden Trockenphasen in Folge der aktuellen und noch zu erwartenden Erderhitzung stellt diese Karte eine wichtige Unterstützung zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Infrastruktur dar.



Brandbekämpfung am Gleis (Foto: Feuerwehr Bottrop).

Datenbasis und Kartenerstellung

Die im Klimaatlas NRW dargestellte Karte basiert auf Ergebnissen des Forschungsvorhabens „Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Sturmwurfgefahren und Böschungsbränden“ des DZFS. Im Forschungsvorhaben wurden zunächst alle möglichen Einflussfaktoren und Datengrundlagen zusammengestellt. Durch eine Expertenbefragung konnte eine Vorauswahl an Eingangsparametern getroffen werden, welche für die Modellierung von Gefährdungen durch Brandereignisse geeignet waren. Zur Berücksichtigung der Fachexpertise in der Gefährdungsabschätzung wurde eine Gewichtung der Einflussfaktoren vorgenommen. Die Hauptmodellierung wurde auf der rein datengetriebenen „Maximum Entropie (MaxEnt)“-Methode aufgebaut, einem statistischen „*presence only*“-Modell zur Vorhersage „von Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf Basis begrenzter Informationen“ nach JAYNES (1957). Die MaxEnt-Methode hat sich bereits bei anderen Waldbrand- und Buschfeuermodellierungen bewährt (BANERJEE 2021, JANIEC und GADAL 2020). Für die Wahrscheinlichkeitsberechnung von Böschungsbränden benötigt das Modell insbesondere zweierlei Eingangsdatentypen sowie deren Geokoordinaten: *Presence*-Punkte und *Background*-Punkte. Presence-Punkte beschreiben tatsächlich stattgefundene Brandereignisse am bundesweiten Schienennetz. Die Background-Punkte werden als gleichmäßig verteilte Wolke zufälliger Punkte mit bis zu 50 m Entfernung zum Schienennetz dargestellt, an denen kein Brandereignis stattgefunden hat (*Pseudo-Absence*). Für die Modellierung des gesamten deutschen Schienennetzes kamen ca. 78.000 Background-Punkte zum Einsatz, die mit den notwendigen Eingangsparametern verschnitten wurden. Abbildung 1 stellt die Punktkategorien gegenüber und Abbildung 2 zeigt die räumliche Verteilung der Presence-Punkte am Schienennetz.

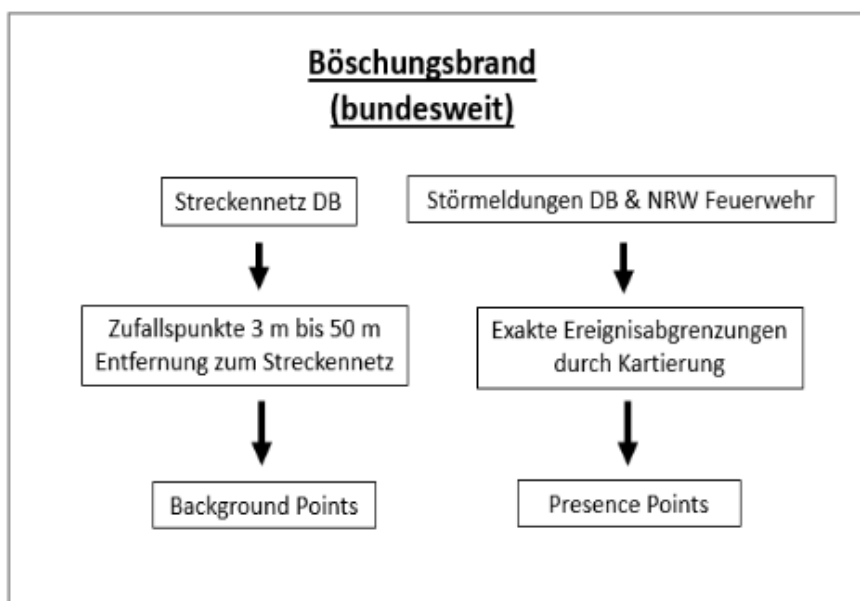


Abbildung 1: Background-Punkte und Presence-Punkte (FRICK et al. 2023).

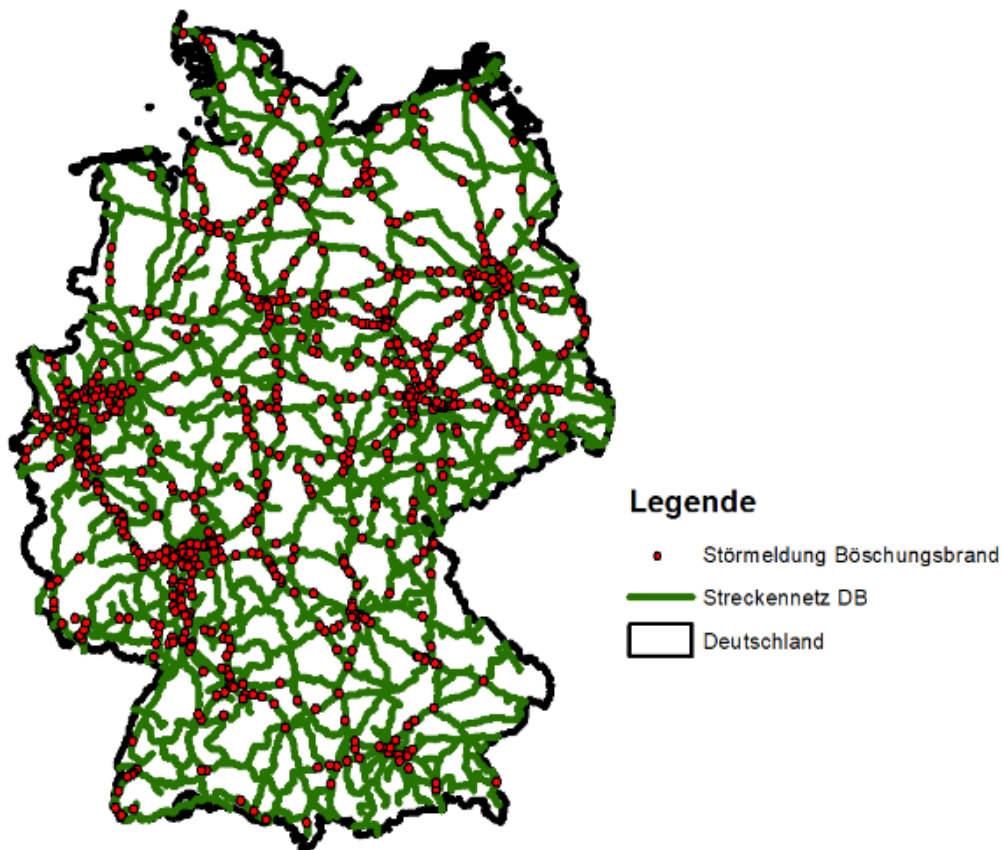


Abbildung 1: Vorkommen Störmeldungen Böschungsbrand am Schienennetz (Presence-Punkte)
(FRICK et al. 2023).

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die zahlreichen Eingangsparameter, die mit den Presence- und Background-Punkten verschnitten wurden. Diese Auflistung spiegelt das Ergebnis der initialen Expertenbefragung wider und gliedert sich in die Kategorien Vegetation, Meteorologie und Bahn. Die Informationen aus diesen Parametern wurden, bevor sie im MaxEnt-Modell verwendet wurden, in einem vorausgehenden Schritt einer Korrelationsanalyse unterzogen und die Eingangsparameter untereinander überprüft. Eingangsparameter, die eine zu hohe Wechselwirkung aufwiesen, wurden aussortiert, um potenziell zu hohe statistische Bedeutungen zu minimieren, die das Modell-Ergebnis verfälschen könnten. Zusätzlich wurde die Modellgüte durch Validierungstechniken wie der Area Under Curve (AUC) geprüft, die ein Maß für die Trennschärfe des Modells zwischen brandgefährdeten und nicht gefährdeten Flächen liefert. Die Ergebnisse zeigten insgesamt eine hohe Modellqualität. Tabelle 2 zeigt die nach der Korrelationsanalyse aussortierten und tatsächlich im MaxEnt-Modell verwendeten Eingangsparameter.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Eingangsparameter zur Charakterisierung der Referenzereignisse (FRICK et al. 2023).

Abkürzung Datenanalyse	Datenbezeichnung	Kategorie
slope5	Hangneigung	Topographie
aspect	Hangausrichtung	Topographie
aspect_az	Winkelunterschied Hangausrichtung zu Gleisausrichtung	Topographie
dgm5	Geländehöhe über NN	Topographie
fuelmap	FuelMap Klassifikation	Vegetation
ndmi	Normalized Difference Moisture Index, Mittel der Sommermonate	Vegetation
hurs_s	Relative Luftfeuchtigkeit, Mittel der Sommermonate von 2002-2012	Meteorologie
LSTLS8	Oberflächentemperatur Landsat8 / Sentinel 2	Meteorologie
api_summer	Vorfeuchte Sommermittel	Meteorologie
nssum_s	Niederschlagssumme der Sommermonate	Meteorologie
smi_ge_s	SMI Gesamtboden, Sommermittel	Meteorologie
smi_ob_s	SMI Oberboden, Sommermittel	Meteorologie
tadxmm_s	Gemittelte Tagestemperaturmaxima der Sommermonate	Meteorologie
windr_az	Winkelunterschied Windrichtung zu Gleisausrichtung	Meteorologie
kurv_dis	Abstand zu Kurven und Betriebsstellen	Bahn
siedl_dis	Abstand zu Siedlungsgebiet	Bahn

Tabelle 2: Aussortierte und verwendete Eingangsparameter basierend auf Korrelationen für Böschungsbrand (FRICK et al. 2023)

Verwendete Variablen	Aussortierte Variablen
- LSTLS8 (Oberflächentemperatur LS8 / S2) - slope5 (Hangneigung) - dgm5 (Geländehöhe über NN) - kurv_dis (Abstand zu Kurven und Betriebsstellen) - siedl_dis (Abstand zu Siedlungsgebiet) - aspect_az (Winkelunterschied Hangausrichtung zu Gleisausrichtung) - windr_az (Winkelunterschied Windrichtung zu Gleisausrichtung) - smi_ob_s (SMI Oberboden, Sommermittel) - fuelmap (FuelMap Klassifikation) - aspect (Hangausrichtung)	- hurs_s (Relative Luftfeuchtigkeit, Sommermittel) - nssum_s (Niederschlagssumme der Sommermonate) - smi_ge_s (SMI Gesamtboden, Sommermittel) - ndmi (NDMI, Mittel der Sommermonate) - tadxmm_s (Gemittelte Tagestemperaturmaxima der Sommermonate) - api_summer (Vorfeuchte Sommermittel)

Für die Kategorie **Topographie** wurde das vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bereitgestellte Digitale Geländemodell (DGM) nach der Methodik von HORN (1981) verwendet. Die Eingangsdaten zur **Vegetation** wurden auf der Grundlage einer überwachten Klassifikation von Daten des Deutschen Wetterdienstes, des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie sowie der Landbedeckungsklassifikation des DLR abgeleitet und in Klassifikationsklassen eingeteilt. Die verwendeten Klassen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Klassifikationsklassen zur Herleitung wissenschaftlicher Referenzflächen (FRICK et al. 2023).

Klassifikationsklasse	DLM	CLC	HRL	DLR LC
(1) Laubbaum	Laubholz (1100)	Laubwälder (311)	Laubwald (HRL-Forest)	High Seasonal Vegetation (HSV)
(2) Nadelbaum	Nadelholz (1200)	Nadelwälder (312)	Nadelwald (HRL-Forest)	High Perennial Vegetation (HPV)
(3) Busch/ Strauch	AX_Gehoeiz, AX_Heide	Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)		Low Seasonal Vegetation (LPV)
(4) Grasland	Grünland (1020)	Natürliches Grünland (321)	Grasland (HRL-Grassland)	
(5) Landwirtschaft	Ackerland (1010)	Nicht bewässertes Ackerland (211), Landwirtschaftliches genutztes Land (243)		Low Seasonal Vegetation (LSV)
(6) Sonstiges		Siedlung (CLC-Code 1 ohne 141,142) Wasser (CLC-Code 5)		Artificial/Water/Open Soil

Meteorologische Daten zu Temperatur, Niederschlag und Wind wurden in Form von Rasterdatensätzen aus dem [Open Data Center](#) des Deutschen Wetterdienstes bezogen (Auflösung: 1 km × 1 km bei Temperatur- und Niederschlagsrastern). Da sich im Rahmen der Expertenbefragung jedoch die Wichtigkeit hochauflöser Temperaturdaten herausstellte, wurde zusätzlich eine neue Methode entwickelt, um anhand von Satellitendaten (Landsat 8 und Sentinel 2) die Oberflächentemperatur hochauflöst (10 m × 10 m) zu errechnen (FRICK et al. 2023). Berechnungen zur Windrichtung erfolgten in einer Auflösung von 5 m. Für die Eingangsdaten der Kategorie **Bahn** wurden Rasterdatensätze für Deutschland mit einer Auflösung von 5 m × 5 m verwendet, die die Einflussfaktoren zu Bremsvorgang (abgeleitet aus Kurven und Betriebsstellen entlang des Streckennetzes der DB) sowie Nähe zum Siedlungsgebiet (Schnittmengen der Siedlungsgebiete aus den CLC- und ATKIS-DLM-Datensätzen) beschreiben (FRICK et al. 2023).

Für die aggregierte Gefährdungskarte wurden die Wahrscheinlichkeiten, die das MaxEnt-Modell für jede betrachtete Rasterzelle berechnet hatte, zusammengeführt. Diese Aggregation erfolgte flächenbasiert und rasterweise mit einer räumlichen Auflösung von 5 m × 5 m. Die Modellwerte wurden dabei in fünf Gefährdungsklassen eingeteilt (s. Abschnitt zur Kartenbeschreibung).

Kartenbeschreibung

Die Karte zur Böschungsbrandgefährdung an Schienenwegen in NRW (Abbildung 4) zeigt die auf fünf Klassen aggregierte Böschungsbrandgefährdung, von sehr geringer Brandgefährdung (Klasse 1, dunkelgrün) bis sehr hohe Brandgefährdung (Klasse 5, dunkelrot). Ein erhöhtes Gefährdungspotential weisen beispielsweise viele Strecken im Ruhrgebiet sowie im Großraum Köln auf und zudem sind einzelne Streckenabschnitte mit hoher Brandgefährdung (z. B. in Dortmund oder Mönchengladbach) zu finden. Beim Klick auf die jeweiligen Streckenabschnitte werden der Mittelwert der maximalen Entropie (**MaxEnt_MW**, dimensionslos), die **Brandgefährdungsklasse** (1 bis 5) sowie die **Klassenbeschreibung** („sehr geringe Gefährdung“ bis „sehr hohe Gefährdung“) via Pop-Up-Fenster ausgegeben. Zusätzlich werden hier auch Verlinkungen zu Projekten und Forschungsergebnissen des DSZF bereitgestellt.

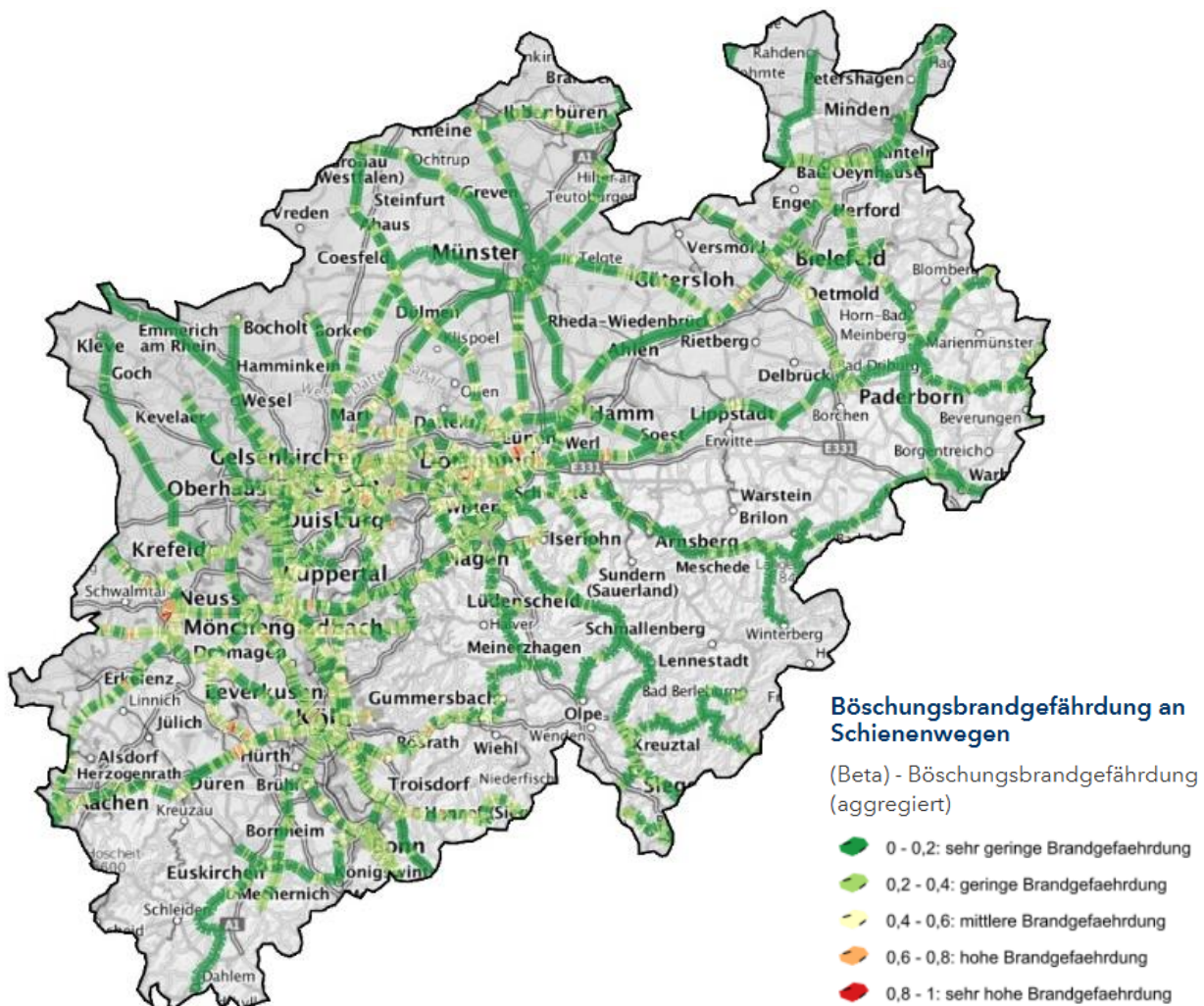


Abbildung 2: Böschungsbrandgefährdung an Schienenwegen in NRW.

Fazit

FRICK et al. (2023) entwickelten ein Modell zur Gefährdungsabschätzung gegenüber Böschungsbränden. Die Ergebnisse sollten vorsichtig interpretiert werden, da lediglich 47 Referenzereignissen (Test: 14, Training: 33) in die Modellierung eingingen. Insgesamt wurden die Ergebnisse jedoch als aussagekräftig und die Variablenengewichtung als nachvollziehbar eingestuft.

Den Fachexperten zufolge kommt es meist beim Bremsvorgang von Zügen durch Funkenwurf nahe am Gleisbett zu Entzündungen, die Böschungsbrände verursachen können. Hierbei spielen die Böschungsneigung sowie die Hangausrichtung eine wesentliche Rolle. Vor allem sonnenbeschienene Südhänge scheinen besonders gefährdet zu sein. Bei der künftigen Prävention von Böschungsbränden sollten Maßnahmen zum gleisnahen Vegetationsmanagement unbedingt berücksichtigt werden (FRICK et al. 2023).



Warme und trockene Verhältnisse bieten günstige Bedingungen für Böschungsbrände (Foto: Feuerwehr Moers).

Literatur

- Banerjee, P. (2021): Maximum entropy-based forest fire likelihood mapping: analysing the trends, distribution, and drivers of forest fires in Sikkim Himalaya. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-22646/v3>
- Frick, A., Wagner, K. & Stöckigt, B. (2023): Sensitivitätsanalyse Vegetation entlang der Bundesverkehrswege bezüglich Sturmwurfgefahren und Böschungsbränden. DZSF, Forschungsbericht 41. DOI: <https://doi.org/10.48755/dzsf.230009.01>
- Janiec, P. & Gadal, S. (2020): A comparison of two machine learning classification methods for remote sensing predictive modeling of the forest fire in the North-Eastern Siberia. Remote Sensing, 12(24), 4157. DOI: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/24/4157>
- Jaynes, E. T. (1957): Information Theory and Statistical Mechanics. *The Physical Review*, 106(4), S. 620–630. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>