

Tagungsbeitrag zu:
Jahrestagung der DBG, Kommission VI
Titel der Tagung:
Erd-Reich und Boden-Landschaften
Veranstalter: DBG / BGS
Termin und Ort der Tagung:
24.- 29. August 2019, Bern
Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)
<http://dbges.de>

Maße ein kurzfristig erhöhtes, aber verlustbedrohtes Nährstoffangebot vorhanden. In der vorliegenden Publikation wird exemplarisch auf die Ableitung der Anbaueignung von Baumarten sowie technischer Empfehlungen unter Nutzung eines empirischen Bewertungsansatzes eingegangen. Dabei wird vorrangig auf digitale Standorts- und Reliefdaten zurückgegriffen.

Schlüsselworte: Waldbrand, Standort, Fuzzy-Logik, Baumart

Beurteilung der Standortssituation der Waldbrandfläche Treuenbrietzen als Grundlage für die Ableitung von Wiederaufforstungsempfehlungen

Jens Hannemann, Martin Grüll & Falk Stähr¹

Zusammenfassung

Im August 2018 kam es nahe der Kleinstadt Treuenbrietzen im Süden des Landes Brandenburg zu einem Wald-Großbrand. Die Intensität des Vollfeuers war so groß, dass der überwiegende Teil des Bestandes als nicht regenerationsfähig eingestuft und aus Waldschutzsicht die flächige Räumung der Bestockung empfohlen wurde. Damit sind Maßnahmen erforderlich geworden, die einerseits ein schnelles Handeln hinsichtlich des Bodenschutzes und andererseits ein strategisches Wiederaufforstungskonzept im Hinblick auf die veränderten Standortbedingungen verlangen. Eine schonende Bodenbehandlung während und nach der Flächenräumung und der Erosionsschutz nach Verlust der Humusaufgabe spielen dabei eine ebenso wichtige Rolle wie Baumarteneignungsempfehlungen auf Basis standörtlicher Flächeninformationen. Es kam zum Wegfall bzw. zur Einschränkung wichtiger den Wasser- und Nährstoffhaushalt betreffenden Bodenprozesse und -funktionen auf den ohnehin trockenen und nährstoffärmeren Sand-Standorten. Durch die Verbrennungssache ist in gewissem

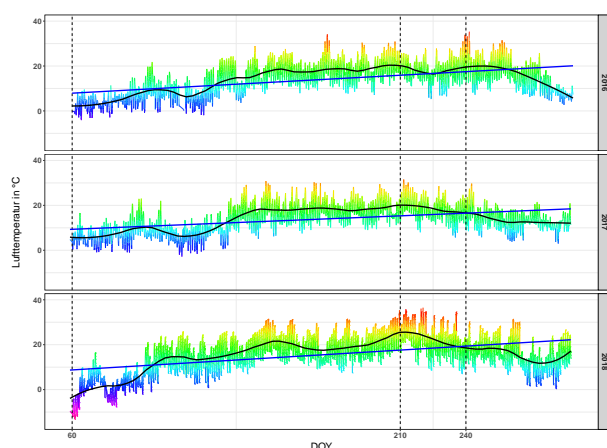
1 Einleitung

1.1 Geographische Lage / Klima

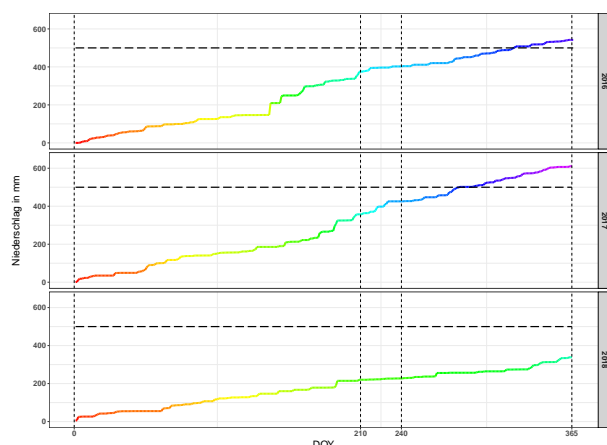
Die Brandfläche liegt im Niederen Fläming, der Teil des Südlichen Landrückens des Landes Brandenburg und damit des Nordostdeutschen Tieflandes ist. Der Brand hat ein vorwiegend mit Kiefern bestocktes Waldgebiet von fast 400 ha Größe zwischen Jüterbog und Treuenbrietzen vernichtet. Geologisch befindet sich das Territorium allgemein in der warthestadialen (jüngere Saale-Eiszeit) Altmoränenzone. Meist relativ arme Hochflächensande mit regional variierenden Lößanteilen bilden die Ausgangssedimente auf denen sich Regosole bis podsolige Braunerden entwickelt haben. Klimatisch handelt es sich um Trockenes Tieflandklima mit mittleren Jahresniederschlägen von ca. 550 mm (ca. 260 mm/Vegetationszeit). Die Klimatische Wasserbilanz ist negativ und beträgt -55 mm/a (-210 mm/Vegetationszeit). Die Abbildung 1 zeigt die Lufttemperatur und den Niederschlag für die DWD-Station Langenlipsdorf und die Sonnenscheindauer für die Station Wiesenburg des Brandjahres 2018 und in den zwei Jahren vor dem Brand. Es wird deutlich, dass zum Zeitpunkt des Brandereignisses, d.h. im Monat August (DOY 210-240, gestrichelter Bereich), ein deutlich höheres Niveau der Lufttemperatur und der Sonnenscheindauer sowie geringere kumulative Niederschlagsmenge (lediglich knapp über der Hälfte) zu verzeichnen sind als in den beiden Vorjahren. Somit ist zu-

¹ Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde

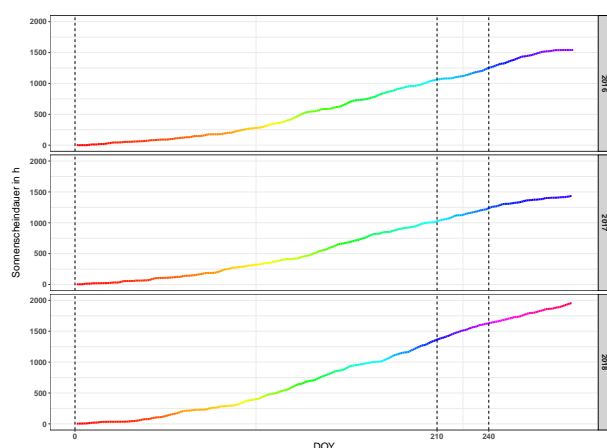
nächst von einem erhöhten Waldbrandrisiko auszugehen.



(a) Lufttemperatur in °C



(b) Niederschlag (kumulativ) in mm



(c) Sonnenscheindauer in h

Abb. 1: Wetterdaten der Jahre 2016 bis 2018 (Datenquelle: DWD (2019); DOY = day of year)

1.2 Ausgangssituation

Das Waldbrandareal wird von der Bundesstraße 102 durchquert und teilt sie in eine SW-liche, munitionsbelastete und eine

NO-liche, munitionsfreie Fläche. Nur letztere steht für eine Wiederaufforstung zur Verfügung. Eine Räumung der SW-Fläche ist mittelfristig nicht vorgesehen. Sie dient aber als Referenzfläche ohne aktive Wiederaufforstung.

Die Situation nach dem Brand stellt sich demnach auf der NO-Fläche folgendermaßen dar: Es erfolgte ein fast vollständiger Entzug der oberirdischen Phytomasse. Damit besteht die Gefahr eines Nährstoffverlustes bzw. einer Nährstoffverlagerung durch vorwiegend Wind- aber auch Wassererosion. In der Folge sind sowohl Verhagerung als auch Anreicherung sowie Verschlammung zu erwarten. Es kommt zur Freisetzung basischer Kationen, die einen kurzfristigen Anstieg des pH-Wertes bewirken. Dies ist zudem abhängig von der Brandintensität.

Zudem kann vermutet werden, dass der Auflagehumus vollständig oder teilweise vernichtet und die organische Substanz im Mineralboden auf den ohnehin sorptionsschwachen Sanden stofflich und strukturell beeinträchtigt, d.h. die Kationenaustauschkapazität (KAK) vermindert und das C/N-Verhältnis verengt wurde. Infolgedessen wird die Humusbildung und -mineralisierung gehemmt und die Akkumulation von Biomasse erschwert. Nach WOLGEMUTH et al. (2010) gehen bei einem Waldbrand ca. 80 % der Masse der organischen Auflagehorizonte verloren, was ca. 20 t/ha entspricht. Auch erfolgt eine N-Umwandlung durch Temperaturen über ca. 230 °C in Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) was eine erhöhte Auswaschungs- und Erosionsgefahr bedeutet.

Außerdem negativ anzusehen sind die durch das Entstehen von freilandähnlichen Verhältnissen erhöhte Strahlungsintensität und Verdunstungsneigung, die die Gefahr für Trocken- und Spätfrostschäden erhöhen. Durch die Veränderung bodenphysikalischer und damit struktureller Bodeneigenschaften (Gefüge- und Aggregatumbildungen) wird die Wasserspeicherkapazität und Wasseraufnahmefähigkeit herabgesetzt (Hydrophobie) sowie der Gasaustausch gehemmt. In BARTSCH & RÖHRIG (2016) wird auf

HETSCH (1980) und SAVAGE (1974) verwiesen, die nach Humusbrand die Bildung von hydrophoben Schichten bis 20 cm Tiefe besonders bei Sandböden mit geringer innerer Oberfläche beobachteten. Insgesamt handelt es sich um eine massive Störung in den ökosystemspezifischen Stoffkreisläufen.

1.3 Maßnahmenvorschläge

Als Sofortmaßnahme wurde im Sinne des Erosionsschutzes und des Humusaufbaus die Etablierung einer Schutzpflanzendecke vorgeschlagen. Weitere Maßnahmen sind die Vorwaldbegründung mit den Pionierbaumarten wie Birke, Aspe, Eberesche, Kiefer, Lärche etc. aber auch eine extensive Kunstverjüngung und die waldbaulich-waldökologische Integration von sekundärer Sukzession (vgl. OTTO (1994, 1996), zit. in STÄHR et al. (2019); besonders von den Rändern der Brandfläche her). In diesem Zusammenhang steht die Eruierung der Baumarteneignung in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen und prognostizierten Klimabedingungen, die im vorliegenden Artikel exemplarisch behandelt wird. Im Fokus des Beitrages liegt die methodische Herangehensweise dafür.

2 Methodik

2.1 Ziele und Ansatz

Die Ziele der Methodik liegen in einer regelbasierten Ableitung der Baumarteneignung unter Berücksichtigung der ökologischen Amplitude der Baumarten. Dabei geht es zum einen um einen möglichst hohen Grad in der Flächendifferenzierung und zum anderen um die Beachtung von Überlappungsbereichen, die bei der Merkmalskombination sowohl inhaltlich als auch räumlich auftreten. Ein wichtiger Aspekt ist gleichzeitig die In-Beziehung-Setzung qualitativer (Expertenwissen, Klassen, Stufen, verbale Beschreibungen etc.) und quantitativer Daten (z. B. Mess- und Analysedaten), die über eine Modellierung durch Zugehörigkeitsfunktionen (ZF) von Zielkategorien (ZK) realisiert werden soll.

2.2 Fuzzy-Logik

Für den o. g. Ansatz eignet sich die Fuzzy-Logik, die u. a. TRAEGER (1994) beschreibt und auf die im Folgenden eingegangen wird. Zunächst werden die Zielkategorien festgelegt, die den INPUT und den OUTPUT des Entscheidungssystems bedienen sollen. Die INPUT-Zielkategorien (I-ZK) können z. B. die Nährkraft(-stufe), die Substratfeuchte, die Bodenart, der Kalkgehalt, die Klimastufe etc. sein. Als OUTPUT-Zielkategorie (O-ZK) wird im konkreten Fall die Baumart bzw. die Baumarteneignung definiert.

Die Zielkategorien werden mathematisch über die Zugehörigkeitsfunktionen beschrieben. Dies können z. B. trianguläre, trapezoide, sigmoide, aber auch quadratische Funktionen der Form $\mu = -s(x - v)^2 + 1$ (mit: s- Stauchungs-/Streckungsfaktor; v- Verschiebungsbetrag auf der x-Achse) sein. Im Wesentlichen werden in der Fuzzy-Logik drei Schritte unterschieden:

Der 1. Schritt ist die *Fuzzifizierung*. Hier erfolgt die Zuordnung von Zahlenwerten zu den unscharfen Mengen der jeweiligen INPUT- Zielkategorie (I-ZK) über die Zugehörigkeitsfunktionen (s. Abbildung 3a bis 3c). Im 2. Schritt, der *Inferenz*, werden die Regeln für die Verknüpfungen der Fuzzy-Mengen festgelegt und die Operatoren (MIN, MAX, ...) für die Verknüpfungen bestimmt. Die Regeln folgen der Form: WENN Bedingung 1 (UND, ODER, ...) Bedingung 2 ... DANN Konklusion (vgl. Tabelle 1 und 2).

Die *Defuzzifizierung* bildet den 3. Schritt, der einen scharfen Zahlenwert der kombinierten unscharfen Mengen ausgibt und so die Entscheidung ermöglicht. Eine gängige Methode ist hierbei die Schwerpunkt-Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionen der OUTPUT- Zielkategorie(n) (s. Abbildung 4 und 5).

2.3 Datengrundlagen

Für die Bewertung der standörtlichen Gegebenheiten standen die Digitale Geologische Karte (GK25, LBGR BRANDENBURG, o.D.), die Digitale Forstliche Standortskarte (FSK10, LFB, o.D.) und das Digitale Gelän-

demodell (DGM2, LGB, o.D.) zur Verfügung. Laut *Geologischer Karte* ist das Areal speziell durch warthestadiale Schmelzwassersande (Fein- bis Grobsande) mit lokal geringen Kiesbeimengungen, die inselartig auch Blöcke und Steine in teilweiser schluffig-mergeliger Grundsubstanz beinhalten können, gekennzeichnet. Sandlössbeeinflussungen in der Deckzone sind vermutlich auch großflächig vorhanden. Die holozänen, z. T. humosen und meist feinkörnigen Abschlammungen treten schlauchartig als Senken- und Talfüllungen auf.

Die Feinbodenformen werden in der Legende zur Forstlichen Standortskarte durch ein definiertes Merkmalsspektrum charakterisiert, das neben der Grundwasserstufe und der Kalktiefe u. a. auch die Stamm-Nährkraft mit Fünftel-Stufen und die Substratfeuchtestufe beinhaltet (nach Ostdeutschem Standorterkundungsverfahren; vgl. KONOPATZKY & KIRSCHNER, 2013; AK STANDORTSKARTIERUNG, 2016).

Die Analyse des Oberflächenreliefs auf Basis des DGM2 bildete einen weiteren Ansatzpunkt für einen Planungsentwurf zur Wiederbewaldung. Die Geländehöhenspanne reicht von ca. 80 m im NO bis etwa 105 m im SW. Damit fällt das Gelände auf einer Distanz von 1,5 km um ca. 25 m ab. Dabei ist der nordöstliche Teil geomorphologisch deutlich stärker differenziert als der südwestliche. Ausgehend von der Annahme, dass das Relief einen bedeutenden Einfluss auf die Wasserhaushalts- und Nährstoffsituation des Standortes hat und der stärker wasserspeichernde Sandlöss eher in den verflachten Senkenbereichen vermutet werden kann, ist eine Berechnung des Bodenfeuchteindex (BFI) mittels des im SAGA-GIS implementierten Algorithmus vorgenommen worden (s. Abbildung 2). Nach BÖHNER & KÖTHE (2003) stellt der BFI ein aus Reliefparametern abgeleitetes Maß für die potenziellen Feuchteverhältnisse des Bodens dar. Er errechnet sich aus der Einzugsgebietsgröße, also der potenziell durch den Oberflächenabfluss zur Verfügung stehenden Wassermenge und aus der Neigung. Diese steuert die

Geschwindigkeit und damit die Verweildauer des abfließenden Wassers. Der BFI scheint damit als Parameter für die Anbaueignung bestimmter Baumarten (z. B. Laubbäume) geeignet. Da Waldrodung im Naturraum bereits ab dem 14. Jh. mit landwirtschaftlicher Nutzung der Brandfläche vor Wiederaufforstung im 18. Jh. nachweisbar ist, kann des Weiteren von einer rezenten, reliefinduzierten Verfrachtung von Nährstoffen (Humus- und Aschebestandteile) durch Wind- und Wassererosion ausgegangen werden, die potenziell zu einer Verhagerung in den Kuppenbereichen und zu einer Anreicherung in den Senkenbereichen führen kann. Die abgeleitete Karte basiert auf einer Synthese der Forstlichen Standortskarte und der Karte zum Bodenfeuchteindex (BFI). Dabei sind die Stufen der Substratfeuchte der FSK mit segmentierten und aggregierten Stufen des BFI additiv verschnitten worden, so dass im Ergebnis eine Karte der Bodenfeuchte unter hoher Wichtung der potenziellen Oberflächenfeuchte vorliegt. Mit der starken Betonung der lateralen Komponente des Oberflächenabflusses kann eine „Überklassifizierung“ auftreten, d.h. es sind Differenzierungen ausgewiesen, die pflanzenökologisch möglicherweise von geringer Bedeutung sind. Weiterhin ist zu bemerken, dass ein theoretisch zunehmender Grundwasseranfluss in NO-licher Richtung bisher unberücksichtigt geblieben ist.

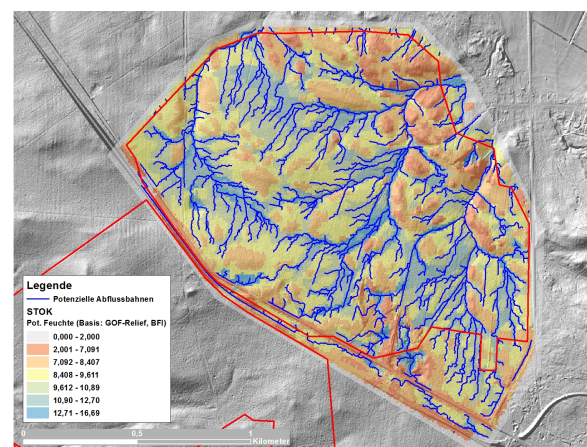
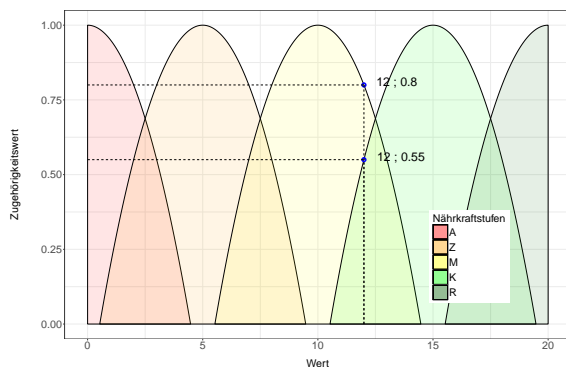


Abb. 2: Bodenfeuchteindex (BFI) und potenzielle Abflussbahnen; BFI nach SAGA-Algorithmus (BÖHNER & KÖTHE, 2003; CONRAD et al., 2014)

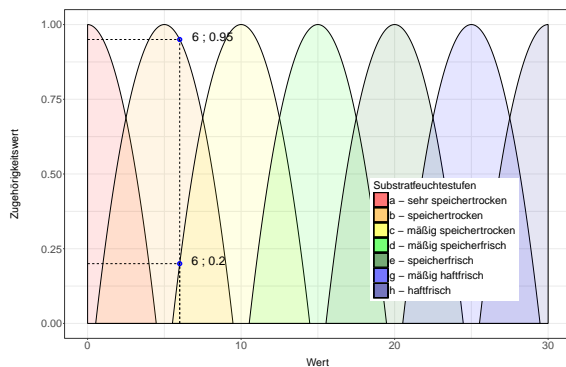
3 Ergebnis

3.1 Zugehörigkeiten

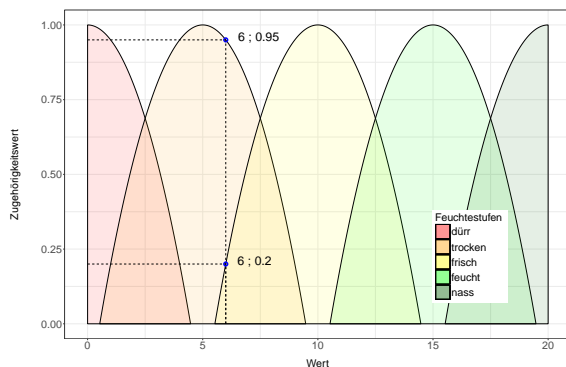
Für die Merkmale Nährkraft, die nach dem ostdeutschen Verfahren in die Klassen A- „arm“ ; Z- „ziemlich arm“ ; M- „mäßig“ (mittel); K- „kräftig“ und R- „reich“ eingeteilt werden, werden Zugehörigkeitsfunktionen definiert. Die metrische Abstufung erfolgt dabei aufsteigend über die Klassen und die Fünftel-Stufen.



(a) I-ZK Nährkraft



(b) I-ZK Feuchte



(c) I-ZK Feuchte

Abb. 3: Quadratische Zugehörigkeitsfunktionen der INPUT-Zielkategorien

entlang der x-Achse. Das Maximum der Nährkraft-Klasse (Scheitelpunkt der Parabel) wird dabei jeweils durch die mittlere Fünftel-Stufe (Stufe 3) gebildet (s. Abbildung 3a).

Die Festlegung der Feuchteklassen von „dürr“ bis „nass“ entsprechend der Standortskarte erfolgt über die durch den BFI aus dem DGM abgeleiteten Feuchtwerte (s. Abbildung 3b-c).

3.2 Regelbasis

Die Regelbasis ist der Hauptbestandteil der Inferenz. Hier werden sämtliche in Frage kommenden Regeln definiert (s. Tabelle 1).

3.3 Ableitung Baumarteneignung

Die Bewertung der standörtlichen Anbau-eignung der verschiedenen Baumarten erfolgt nach den Kriterien Leistung, Konkurrenz, Stabilität (biotisch/abiotisch) und Bodenpfleglichkeit sowie neu Klimawandelanpassung. Der Zahlenwert 12 beispielsweise fällt für die Zielkategorie *Nährkraft* zum Einen mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0.8 in die unscharfe Menge M „mittel“ ($\mu_{NK(12,M)} = 0.80$) und zum Anderen mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0.55 in die unscharfe Menge K „kräftig“ ($\mu_{NK(12,K)} = 0.55$; s. Abbildung 3a). Für die Zielkategorie *Feuchte* fällt z. B. der Zahlenwert 6 zum Einen mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0.2 in die unscharfe Menge „frisch“ ($\mu_{F(6,frisch)} = 0.20$) und zum Anderen mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0.95 in die unscharfe Menge „trocken“ ($\mu_{F(6,trocken)} = 0.95$; s. Abbildung 3b-c). Für die *UND-Verknüpfung* und dem *MIN-Operator* gilt entsprechend der anzuwendenden Regeln:

$$\mu_{NK(12,M)} = 0.80 \text{ UND } \mu_{F(6,frisch)} = 0.20 \\ \rightarrow \mu_{min} = 0.20$$

$$\mu_{NK(12,M)} = 0.80 \text{ UND } \mu_{F(6,trocken)} = 0.95 \\ \rightarrow \mu_{min} = 0.80$$

$$\mu_{NK(12,K)} = 0.55 \text{ UND } \mu_{F(6,frisch)} = 0.20 \\ \rightarrow \mu_{min} = 0.20$$

$$\mu_{NK(12,K)} = 0.55 \text{ UND } \mu_{F(6,trocken)} = 0.95 \\ \rightarrow \mu_{min} = 0.55$$

Tab. 1: Beispiel für die regelbasierte Ableitung von Baumarten (in Anlehnung an: ALDINGER & MICHELS, 1997); Bedeutung der Abkürzungen: NK-Nährkraft(-stufe), GKI- Gemeine Kiefer, GDG- Gemeine Douglasie, GBI- Gemeine Birke, ROB- Robinie, RBU- Rotbuche, REI- Rot-Eiche, SEI- Stiel-Eiche, TEI -Trauben-Eiche, HBU- Hainbuche, BAH- Berg-Ahorn; Zahlenwerte: 1-sehr geeignet, 0,8-geeignet, 0,4-wenig geeignet, 0,2-ungeeignet, 0-absolut ungeeignet

| Nr. | Bedingung 1 | | Bedingung 2 | | Konklusion | | | | | | | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|---------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | NK | 1/5 | | Feuchte | Anspruch | GKI | GDG | GBI | ROB | RBU | REI | SEI | TEI | HBU | BAH | |
| 1 | Wenn R | 1 | und | nass | dann | 25 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,4 |
| 2 | Wenn R | 2 | und | feucht | dann | 24 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,4 | 0 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 1 |
| 3 | Wenn R | 3 | und | frisch | dann | 23 | 0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 1 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,8 |
| 4 | Wenn R | 4 | und | trocken | dann | 22 | 0,4 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| 5 | Wenn R | 5 | und | dürr | dann | 21 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| 6 | Wenn K | 1 | und | nass | dann | 20 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,4 |
| 7 | Wenn K | 2 | und | feucht | dann | 19 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,8 |
| 8 | Wenn K | 3 | und | frisch | dann | 18 | 0,2 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 9 | Wenn K | 4 | und | trocken | dann | 17 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| 10 | Wenn K | 5 | und | dürr | dann | 16 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| 11 | Wenn M | 1 | und | nass | dann | 15 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,2 |
| 12 | Wenn M | 2 | und | feucht | dann | 14 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,4 |
| 13 | Wenn M | 3 | und | frisch | dann | 13 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,8 | 1 | 0,8 | 0,4 |
| 14 | Wenn M | 4 | und | trocken | dann | 12 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0 |
| 15 | Wenn M | 5 | und | dürr | dann | 11 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| 16 | Wenn Z | 1 | und | nass | dann | 10 | 0,2 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0 |
| 17 | Wenn Z | 2 | und | feucht | dann | 9 | 0,4 | 0,2 | 1 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0 |
| 18 | Wenn Z | 3 | und | frisch | dann | 8 | 0,8 | 1 | 1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1 | 0,2 | 0 |
| 19 | Wenn Z | 4 | und | trocken | dann | 7 | 1 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0 | 0 |
| 20 | Wenn Z | 5 | und | dürr | dann | 6 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| 21 | Wenn A | 1 | und | nass | dann | 5 | 0,4 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Wenn A | 2 | und | feucht | dann | 4 | 0,8 | 0,2 | 1 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0 | 0 |
| 23 | Wenn A | 3 | und | frisch | dann | 3 | 1 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0 |
| 24 | Wenn A | 4 | und | trocken | dann | 2 | 1 | 0 | 0,8 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0 | 0 |
| 25 | Wenn A | 5 | und | dürr | dann | 1 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |

Entsprechend der aufgestellten Regelbasis in Tabelle 1 kommen die Regeln Nr. 8, 13 und 14 zur Anwendung. Damit werden bezüglich der O-ZK (Baumarteneignung; hier z. B. Kiefer) die Mengen „ungeeignet“ (0,2) und „wenig geeignet“ (0,4) sowie „geeignet“ (0,8) bedient (s. Tabelle 2 und Abbildung 4).

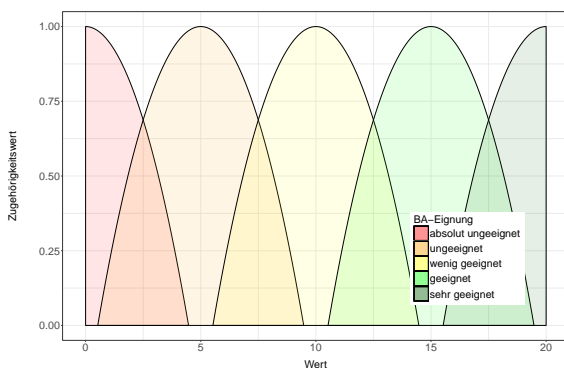


Abb. 4: Quadratische Zugehörigkeitsfunktionen der OUTPUT-Zielkategorie Baumarteneignung (z.B. Kiefer)

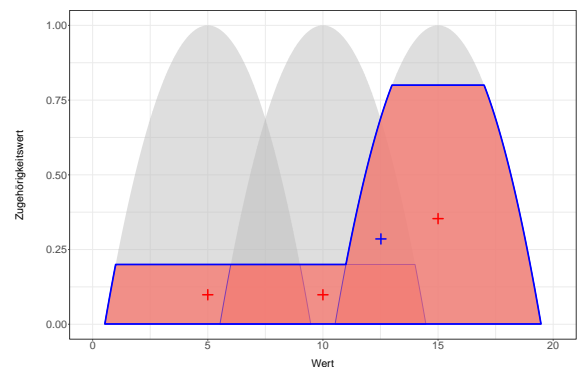


Abb. 5: Schwerpunktbildung als Methode der Defuzzifizierung

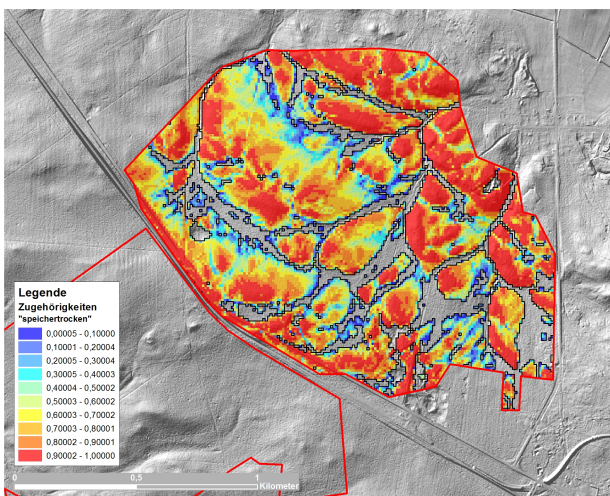
Die Mengen werden in Höhe der resultierenden Zugehörigkeitsgrade abgeschnitten. Auf die Ergebnismenge wird die Schwerpunktmethode angewendet (s. Abbildung 5).

Tab. 2: Anbaueignung entsprechend der Regeln

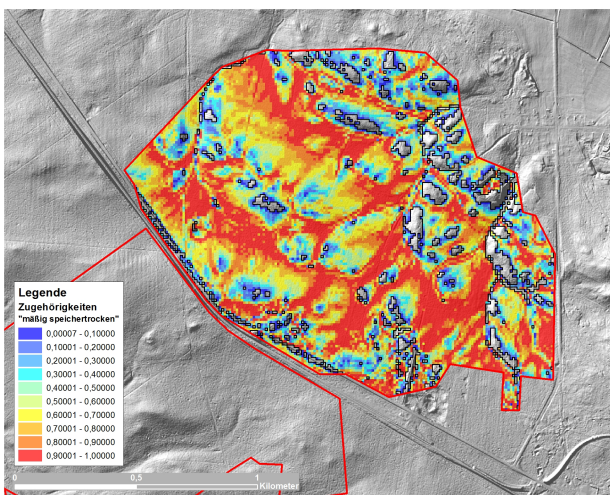
| Nr. | Bedingung 1 | | Bedingung 2 | | Konklusion | | | | | | | | | | |
|-----|-------------|-----|-------------|------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | NK | 1/5 | Feuchte | | Anspruch | GKI | GDG | GBI | ROB | RBU | REI | SEI | TEI | HBU | BAH |
| 8 | Wenn K | 3 | und frisch | dann | 18 | 0,2 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 13 | Wenn M | 3 | und frisch | dann | 13 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,4 | 1 | 0,8 | 0,8 | 1 | 0,8 | 0,4 |
| 14 | Wenn M | 4 | und trocken | dann | 12 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0 |

3.4 Kartenbeispiele

Die Abbildungen 6a und 6b zeigen die räumlichen Repräsentationen der Zugehörigkeitsfunktionen „speichertrocken“ und „mäßig speichertrocken“ (s. auch Abbildung 3b) für die Zielkategorie Feuchte.



(a) „speichertrocken“



(b) „mäßig speichertrocken“

Abb. 6: Räumliche Repräsentation von Zugehörigkeitsfunktionen der Zielkategorie Feuchte

Hier ist eine weitere Differenzierung durch eine Erhöhung der Anzahl von Zugehörig-

keitsfunktionen pro Zielkategorie (s. Abbildung 3b) vorgenommen worden. Dies ist bislang in der Regelbasis noch nicht berücksichtigt. Deutlich wird hier auch die räumliche Überlappung der beiden Zugehörigkeitsfunktionen. Die finale Abgrenzung der Baumarteneignungsareale liegt momentan nur als manueller Entwurf vor (s. Abbildung 7). Dieser zeigt mit Stiel-, Rot-Eiche und Robinie in den potenziell besseren Arealen und mit Birke, Aspe und Vogelbeere in den schwächeren Arealen die angestrebte Erhöhung des Laubholzanteils. Die Kiefer als anspruchslose Baumart bleibt auf den exponierten Standorten die dominante Baumart.

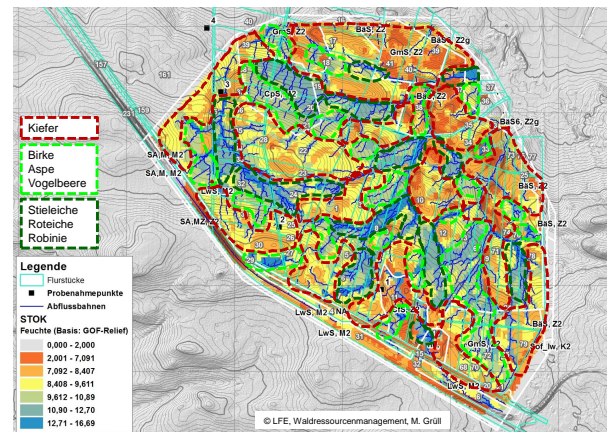


Abb. 7: Wiederaufforstungspotenzial (manuelle Flächenabgrenzung)

4 Ausblick

In Korrespondenz zur standortsbezogenen Baumartenauswahl sind auf der Fläche Pflanzungen mit Zäunungen gegen Wildverbiss vorgesehen. Auch natürliche Sukzessionen, besonders von den Flächenrändern her, sollen zugelassen werden. Insgesamt wird die Etablierung hoher naturnaher, heimischer Laubholzanteile angestrebt, was sowohl für die Waldinnenränder mit zonalem Aufbau aus Baum-, Strauch- und

Krautsaum als auch für die Waldbrandriegel gilt. Weiterhin ist der Aufbau eines Probenahme-, Analyse- und Monitoringsystems geplant, das u. a. bodenchemische und bodenphysikalische Untersuchungen auf den Brand-/Schadflächen in Abhängigkeit von Brandintensität, Relief und Baumartenwahl sowie Referenzerhebungen im benachbarten brand-unbeeinflussten Bereich (Patchorientiert) vorsieht. Auch der Vergleich mit zurückliegenden Waldbränden und Feuerexperimenten (vgl. RIEK et al. (2012); RIEK et al. (o.D.)) wird Gegenstand künftiger Untersuchungen sein. Dabei wird die Erforschung der Rolle der Holzkohle bezüglich Stoff- und Wasserbindungsvermögen einen wichtigen Platz einnehmen.

Das Ziel der Wiederaufforstungsmaßnahmen ist eine Wald-Rekonstruktion bei geänderten standörtlichen und meteorologischen Wuchsbedingungen und eine vorsorgende Waldbaustrategie zur Schaffung strukturreicher und klimaangepasster Wälder bei unsicherer mittel-/langfristiger Waldentwicklung.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Herrn Prof. J. Schröder, Herrn Prof. W. Riek, Herrn Dr. M. E. Luthardt, Frau B. Dalitz, Herrn F. Pastowski, Herrn Dr. O. Ruffer, Frau Dr. K. Hielscher und Frau U. Selk, die ebenfalls an der Situationsbewertung und den Maßnahmenvorschlägen beteiligt waren/sind.

Quellen

AK STANDORTSKARTIERUNG (2016): Forstliche Standortsaufnahme. IHW-Verlag München.

ALDINGER, E. & H.-G. MICHIELS (1997): Baumarteneignung in der forstlichen Standortskartierung Baden-Württemberg. In: *AFZ-Der Wald* 5, S. 1–4.

BARTSCH, N. & E. RÖHRIG (2016): Waldökologie - Einführung für Mitteleuropa. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

BÖHNER, J. & R. KÖTHE (2003): Bodenregionalisierung und Prozessmodellierung: Instrumente für den Bodenschutz. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 147, Gotha, S. 72–82.

CONRAD, O., V. WICHMANN, V. OLAYA & A. RINGELER (2014): SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses. <http://www.saga-gis.org>.

DWD (2019): Aktuelle und historische Daten der Lufttemperatur, des Niederschlags und der Sonnenscheindauer für die Stationen Langenlipsdorf und Wiesenburg. Deutscher Wetterdienst, <https://cdc.dwd.de/porta1/>.

HETSCH, W. (1980): Bodenphysikalische und bodenchemische Auswirkungen eines Waldbrands auf einem Braunerde-Podsol unter Kiefer. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 99, S. 257–273.

KONOPATZKY, A. & G. KIRSCHNER (2013): Legende zur Forstlichen Standortskarte des Betriebsteils 06 - Wünsdorf. Landesbetrieb Forst Brandenburg, LFE.

LBGR BRANDENBURG (o.D.): Digitale Geologische Karte, Maßstab 1 : 25 000 (GK25). Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg.

LFB (o.D.): Digitale Forstliche Standortskarte, Maßstab 1 : 10 000 (FSK10). Landesbetrieb Forst Brandenburg.

LGB (o.D.): Digitales Geländemodell (DGM2). Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg.

OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. 391 S, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

OTTO, H.-J. (1996): Die Ausbreitung spontaner Verjüngungen in den Wäldern des nordostdeutschen Flachlandes während des letzten Vierteljahrhunderts: Waldbauliche Chancen und Probleme. In: *Forstarchiv* 67, S. 236–246.

RIEK, W., J. RUDOLPH & J. H. BERGMANN (2012): Langfristige Wirkung von Waldbrand auf den Bodenzustand und waldbauliche Schlussfolgerungen. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/lfe_waldbrand_boden/index_DE.

RIEK, W., B. STROHBACH & C. SIEWERT (o.D.): Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen eines Feuerexperiments in der Lausitz. Poster, Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen.

SAVAGE, S. (1974): Mechanism of free-induced water repellency in soil. In: *Soil Sci Soc Am Proc* 38, S. 652–657.

STÄHR, F., K. HAINKE & G. LÜBGE (2019): 15 Jahre nach dem Waldbrand – Sekundärsukzession auf dem Weg zum Wirtschaftswald?. In: *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 67, S. 49–63.

TRAEGER, D. (1994): Einführung in die Fuzzy-Logik. 2. Aufl., B. G. Teubner Stuttgart.

WOLGEMUTH, T., A. BRIGGER, P. GEROLD, L. LARANJEIRO, M. MORETTI, B. MOSER, M. REBETEZ, D. SCHMATZ, G. SCHNEITER, S. SCIACCA, A. SIERRO, P. WEIBEL, T. ZUMBRUNNEN & M. CONEDERA (2010): Leben mit Waldbrand. In: *Merkblatt für die Praxis* 46, Eidg. Forschungsanstalt WSL, <http://www.wsl.ch/publikationen/>, ISSN: 1422-2876.