

# Faktoren der Entstehung und Ausbreitung des Feuers im Nationalpark Böhmische Schweiz?

---

**Autorenkollektiv**

**November 2022**

## Inhaltsübersicht

1. Einführung .....	4
2. Waldbrände in der Gegenwart.....	4
3. Brände in der Vergangenheit - paläoökologische Rekonstruktion .....	6
Einführung in die Paläoökologie des Feuers .....	6
Langfristiges Feuerregime im Gebiet des derzeitigen Nationalparks Böhmisches Schiefergebirge.....	7
Brandverhalten von Kiefernwäldern.....	7
Wiederherstellung des Waldökosystems nach dem Brand .....	8
Größe und Häufigkeit von Bränden .....	8
Mikroklimatische Bedingungen in den aktuellen Beständen.....	14
Verwendete Methoden.....	16
Literatur.....	18
4. Terrainregistrierung von Brandspuren im Nationalpark Böhmisches Schiefergebirge im Sommer 2022 ...	20
Grenzen des Brandgebiets .....	20
Die Rolle des Vegetationstyps.....	25
Die Rolle der Topographie.....	32
Mikrotopographie und lokale Verbrennungsvariabilität .....	33
Waldregenerierung .....	40
Schlussfolgerungen .....	40
Forschungsthemen.....	40
Literatur.....	42
5. Meteorologisch-klimatische Bedingungen der Brandentstehung .....	43
Klimatologisch-meteorologische Ausgangssituation .....	43
Brandrisikoindikatoren auf der Grundlage von speziellen FireRisk-Stationen und Satellitendaten..	53
3. Zusammenfassende Indikatoren für das Brandwetter .....	59
Brandrisiko - Qualität der Vorhersage .....	64
Schlussfolgerungen des meteorologischen Teils .....	70
6. Bewertung von Bränden und ihrer Dynamik mit Hilfe des FlamMap-Modells.....	73
Kurze Beschreibung der Schichten und deren Erwerb.....	76
Einführung in die Szenarien .....	76
1) Realitätsszenario .....	76
2) Szenario der gemessene durchschnittlichen Windgeschwindigkeit und Böen .....	79
3) Szenario zur Temperatursenkung .....	81
4) Szenario ohne Dürre .....	83

5) Szenario stehender gesunder Fichtenwald.....	85
6) Lichtungsszenario.....	89
Zusammenfassung der Modelle.....	92
Literatur.....	92
7. Wiederholte Messungen der Bestandsflächen nach dem Brand zur Bestimmung der Intensität der Holzverbrennung 94	
Ziel der Studie.....	94
Methodisches Vorgehen .....	94
Ergebnisse .....	95
Schlussfolgerung .....	105
8. Interpretation und Fehlinterpretation von Feuer aus der Perspektive kognitiver Prozesse .....	106
Gefällte Stämme als Brennholz.....	106
Literatur.....	108
9. Schlussfolgerungen .....	109
10. Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse.....	112

## Liste der Autoren

Prof. RNDr. Jakub Hruška, CSc. (vedoucí expertního týmu) - Ústav výzkumu globální změny AV ČR a Česká geologická služba

Bc. Jan Balek - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

RNDr. Jana Beranová, Ph.D. - IFER - Ústav výzkumu lesních ekosystémů

Mgr. Monika Bláhová - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Mgr. Přemysl Bobek, Ph.D. - Botanický ústav AV ČR

Doc. Ing. Emil Cienciala, Ph.D. - IFER - Ústav pro výzkum lesních ekosystémů a Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Ing. Lucie Homolová, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Mgr. Lucie Kudláčková - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

PhDr. Jan Krajhanzl, Ph.D. – Institut 2050 a Fakulta sociálních studií Masarykova Univerzita v Brně

Dr. Ing. Martin Možný - Ústav výzkumu globální změny AV ČR a Český hydrometeorologický ústav

Ing. Jan Novotný, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Bc. Markéta Poděbradská, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Prof. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Ing. Pavel Šamonil, Ph.D. - Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví

Mgr. Petr Štěpánek, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR a Český hydrometeorologický ústav

Ing. Jiří Zahradníček, Václavkova 56, 615 00 Brno

Ing. Pavel Zahradníček, Ph.D. - Ústav výzkumu globální změny AV ČR a Český hydrometeorologický ústav

Konzultace:

Mark Finney – US Forest Service, Missoula, Montana, USA

Charles McHugh - US Forest Service, Missoula, Montana, USA

## 1. Einführung

Die vorliegende Studie fasst das Expertenwissen zu den Ursachen und der Ausbreitung des Brandes zusammen, der im Sommer 2022 im NP Böhmisches Schweiz und dem angrenzenden NP Sächsische Schweiz in Deutschland mehr als 1000 ha betroffen hat. Der Zeitrahmen für die Erstellung dieses Gutachtens war sehr kurz, er reichte von Mitte September bis Ende November 2022, und die angesprochenen Experten übernahmen die Aufgabe zusätzlich zu ihren normalen beruflichen Verpflichtungen. Dennoch war es möglich, sehr wertvolles Tatsachenmaterial zu sammeln und die Art und Weise zu analysieren, wie das Feuer begann und sich entwickelte.

Die Studie enthält Kapitel, die sich mit verschiedenen Aspekten des Themas befassen. Nach einem kurzen Überblick über die aktuelle Situation des Waldbrandgeschehens in Europa wird eine paläoökologische Rekonstruktion der Geschichte der Wäldbrände auf dem Gebiet des heutigen Nationalparks vorgenommen, gefolgt von einer Beschreibung der verschiedenen Arten und Methoden des Abbrennens (bzw. Nichtabbrennens) der Brandstellen. Der analytische Teil des Berichts enthält ein Kapitel über die klimatischen und meteorologischen Bedingungen vor und während des Brandes. Ein wesentlicher Teil des Gutachtens ist die Kalibrierung des FlamMap-Modells, das nach entsprechender Kalibrierung mit realen Daten aus dem Terrain die Erstellung von Szenarien potentieller Brandentwicklungen ermöglicht, in Abhängigkeit von Temperaturveränderungen, der Trockenheit, der Windgeschwindigkeit oder des Waldtyps und der Bewirtschaftung.

Der Brand in der Böhmischen Schweiz wird nach und nach in wissenschaftlichen Teilstudien detailliert analysiert. Die Feuerwehr wird sicherlich auch ihre Expertise erstellen. Aufgabe dieser Studie war es, in kürzester Zeit eine wissenschaftliche Grundlage für die Entscheidungsfindung des Umweltministeriums zu schaffen. Das Autorenteam ist davon überzeugt, dass dieses Fachwissen bei schwierigen Entscheidungen über die Bewirtschaftung dieses wertvollen Gebiets von Nutzen sein wird.

## 2. Waldbrände in der Gegenwart

**Jakub Hruska**

Allein im Jahr 2022 brachen in Europa auf rund 860 Tausend (!) Hektar Waldbrände aus. Sie waren nicht nur in Südeuropa, sondern auch in nördlichen Breitengraden und in Gebieten verbreitet, die - zumindest bei uns - nicht als typische Brandgebiete gelten. Es handelt sich zum Beispiel um Skandinavien oder um Großbritannien (Abb. 1), wo im Jahr 2022 Dutzende bis Hunderte (Großbritannien) Waldbrände ausbrachen [https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis\\_current\\_situation/](https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/)

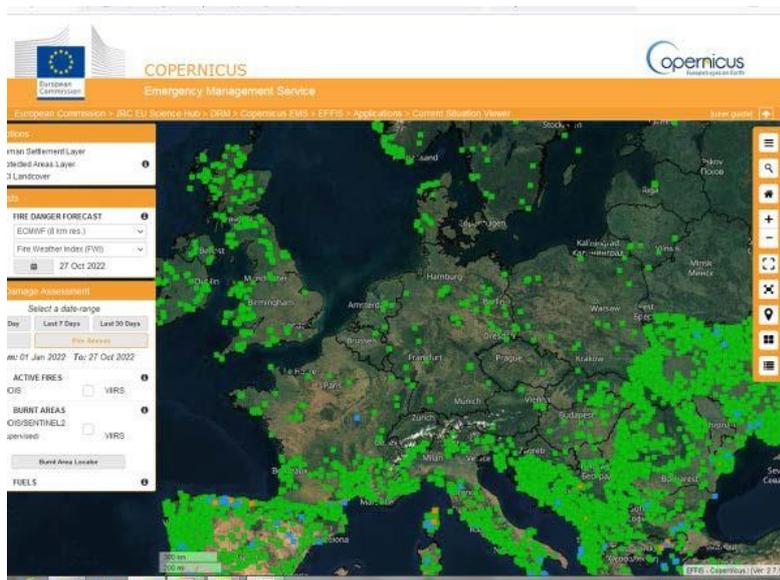


Abb. 1 Bildschirmausschnitt (Screenshot) der Waldbrandkarte aus der Datenbank Copernicus (EU), Waldbrandaufkommen in Europa vom 1. Januar 2022 bis 27. Oktober 2022.

In den Gebieten, die den Bedingungen des Brandes im NP Böhmisches Schweiz nahe kommen, ist es wichtig, auf den Brand in der Nähe von Nürnberg, Deutschland, hinzuweisen, der in seiner Größe (ca. 1000 ha, Abb. 2) praktisch identisch mit dem Brand im NP Böhmisches Schweiz war. Das Gebiet war vollständig zugänglich, dennoch verbrannten schätzungsweise 1000 ha lebender Nadelwald [https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis\\_current\\_situation/](https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/)

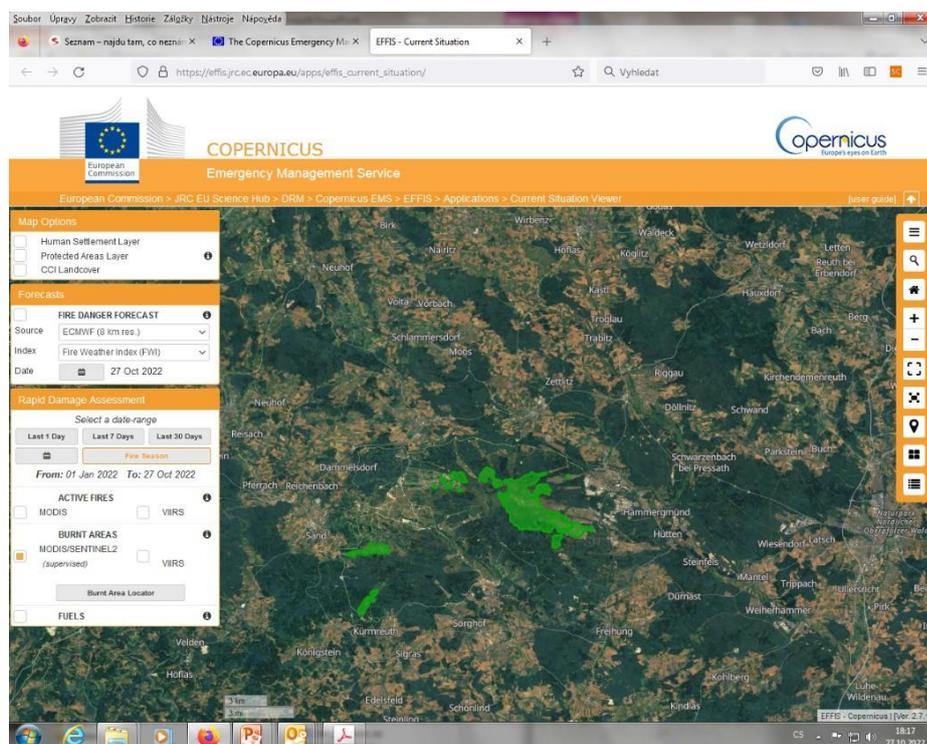


Abb. 2 Feuer in Deutschland, nordöstlich von Nürnberg, Sommer 2022. Screenshot von der Copernicus (EU)-Website.

### Brände auf dem Gebiet der Tschechischen Republik und der Tschechoslowakischen Republik

Ein im Ausmaß identischer Waldbrand ereignete sich 1992 in der Záhorská nížina (Záhorie-Niederung) bei Maláčky (Malatzka) in der ehemaligen Tschechoslowakei (Abb. 3). In einem trockenen Sommer war die Ursache des Brandes die Selbstentzündung von Silage auf dem Gelände einer landwirtschaftlichen Genossenschaft. Das Feuer breitete sich durch das trockene Gras auf den nahe gelegenen Wald aus. Dabei handelte es sich meist um Kiefermonokulturen auf sandigen Böden. Das Gebiet war leicht zugänglich (größtenteils Militärgelände), in flachem unkompliziertem Gelände. Es unter Kontrolle zu bekommen dauerte dennoch viele Tage.



Abb. 3 Bilder eines Brandes in der in der Záhorská nížina (Záhorie-Niederung) bei Malácky (Malatzka), Jahr 1992.

Ein großer Waldbrand ereignete sich 2012 (ca. 200 ha) in Hodonínská Dúbrava (Eigenname) bei Bzenec (Bisenz), ebenfalls auf einem Untergrund auf angewehten Sanden mit überwiegend Kiefernmonokultur. Selbst in diesem flachen und gut zugänglichen Gelände dauerte es mehrere Tage, bis der Brand gelöscht war. Dies waren normale Wirtschaftswälder.

Große Waldbrände treten in Gebieten, die von Austrocknung bedroht sind, regelmäßig auf, unabhängig von ihrem formalen oder materiellen Status.

### 3. Brände in der Vergangenheit - paläoökologische Rekonstruktion

*Přemysl Bobek*

#### Einführung in die Paläoökologie des Feuers

Feuer ist ein ökologischer Prozess, der die Entwicklung fast aller terrestrischen Ökosysteme prägt und dessen Auswirkungen die globalen biogeochemischen Kreisläufe beeinflussen. Das Verständnis der langfristigen Branddynamik und der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Faktoren, die bei ihrer Bewältigung eine Rolle spielen, ist der Schlüsselrahmen für die Bewertung der Auswirkungen aktueller Brandereignisse. Das Konzept des Feuerregimes hat sich allmählich etabliert, um die Rolle von Bränden in Ökosystemen zu beschreiben (Krebs et al., 2010). Es definiert typische Brandparameter in Bezug auf Intensität, Ausdehnung, Art, Häufigkeit und jahreszeitlichen Ablauf für einen bestimmten Zeitraum und Geländeabschnitt. Die Bedeutung des Feuers in der Dynamik der gemäßigten europäischen Waldökosysteme hat in der Vergangenheit nur wenig Beachtung gefunden (Leuschner et al., 2017). Die allgemein verbreitete Ansicht, dass die Region aufgrund der vorherrschenden Laubwälder nicht brandgefährdet ist, hat in der Vergangenheit das Denken in verschiedenen Disziplinen wie Vegetationsökologie, Waldökologie und Naturschutz geprägt. Die Wälder im gemäßigten Europa gelten nicht als Ökosysteme, welche funktionell abhängig von regelmäßigen Bränden sind, weil die wichtigen Baumarten die evolutionäre Anpassungen vermissen, die sie in die Lage versetzen würden, dem Feuer zu widerstehen, noch sind ihre Entwicklungszyklen direkt vom Feuer abhängig. Dennoch gibt es Beweise dafür, dass es in dieser Region Brände gegeben hat und dass die meisten Ökosysteme im Laufe ihrer

Entwicklung mit diesem Störfaktor interagiert haben. Der Wandel im wissenschaftlichen Verständnis des Phänomens Feuer wurde vor allem durch paläoökologische Forschungsmethoden beschleunigt, die die Entwicklung von Ökosystemen über lange Zeiträume hinweg untersuchen. Sein Fachgebiet ist die Rekonstruktion grundlegender Merkmale früherer Ökosysteme, wie z. B. die Zusammensetzung der damaligen Organismengemeinschaften und die Eigenschaften ihrer abiotischen Umwelt. Mit verschiedenen Methoden lassen sich aber auch Brände in der tiefen Vergangenheit nachweisen, da diese ihre Spuren in Form von verkohlten Pflanzenteilen hinterlassen -, der sich in Torfsedimenten oder Böden ablagern kann. Dank dessen lassen sich die Veränderungen der Feueraktivität im Laufe der Zeit, die Auswirkungen dieser Störungen auf das Waldökosystem und die Entwicklung der nachfolgenden Regeneration verfolgen. Auf der Grundlage einer größeren Anzahl lokaler Brände können dann allgemeine Merkmale des Brandverlaufs in einer bestimmten Region und einem bestimmten Zeitrahmen formuliert werden.

### Langfristiges Feuerregime im Gebiet des derzeitigen Nationalparks Böhmisches Schweiz

Der derzeitige Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse über das Feuerregime im Nationalpark Böhmisches Schweiz basiert auf einem Netz von Sedimentprofilen aus Torfmooren, die durch Pollenanalyse aufbereitet werden. Die partielle Brandgeschichte der einzelnen Standorte basiert auf einer detaillierten Analyse des Inhaltes der mikroskopischen Holzkohlefragmente (siehe verwendete Methoden). Gleichzeitig liegen die Ergebnisse von Analysen verkohlter Hölzer in gängigen Bodenprofilen vor, die Aufschluss über die Artzugehörigkeit des verbrannten Materials geben. Einzelne Holzfragmente können anhand des <sup>14</sup>C-Kohlenstoffisotopengehalts datiert werden. Die bisher vorliegenden paläoenviromentalen Aufzeichnungen decken das gesamte Holozän (11 500 Jahre) ab und reichen in begrenztem Umfang bis zum Ende des Glazials (~14 000 Jahre) (Abb. 5). Eine so umfangreiche Zeitskala scheint für die aktuelle Brandsituation irrelevant zu sein, aber ihre Bedeutung für die Gegenwart betrachten wir in einigen wichtigen Punkten. 1) Es bietet die Möglichkeit, die historische Variabilitätsspanne des Phänomens festzulegen und ermöglicht somit die Festlegung der Grenzen akzeptabler Veränderungen von Ökosystemkomponenten und ökologischen Prozessen. 2) Sie dient dazu, die treibenden Faktoren der Feueraktivität zu ermitteln und ihre langfristigen Wechselwirkungen zu bewerten.

### Brandverhalten von Kiefernwäldern

Die späte Eiszeit und das frühe Holozän sind im Allgemeinen weniger gut untersucht und die verfügbaren Daten erlauben noch keine umfassendere Beschreibung des Brandverhaltens. Es gibt jedoch Hinweise auf Feueraktivitäten. Das bisher älteste aufgezeichnete Brandereignis liegt bei 11.100 cal BP (kalibriertes <sup>14</sup>C-Datum vor heute, d. h. vor 1950), als ein von Kiefern dominierter Bestand (wahrscheinlich Waldkiefer) auf dem Felsplateau über der Strelecka-Schlucht brannte. Nach den Ergebnissen der Pollenanalyse wissen wir, dass zu Beginn des Holozäns die Hauptvegetationsart hier Birke-Kieferwälder waren. Wälder, in denen in begrenztem Umfang auch Arten wie Lärche und Latschenkiefer vorkamen (Pokorný & Svitavská unpubl.). Anhand der nächstgelegenen Standorte Reichwalde und Rynholec (Rinholetz), die eine ähnliche Vegetationszusammensetzung aufweisen, lässt sich ableiten, dass das Feuerwiederkehrintervall (fire return interval, FRI) in diesen Wäldern deutlich zwischen 3,5 und 140 Jahren schwanken könnte (Stika et al., 2012; Šamonil et al., 2018). Für das betreffende Gebiet lässt sich die Häufigkeit der Brände für diesen frühen Zeitraum anhand der verfügbaren Daten jedoch nicht bestimmen. Wichtig ist jedoch die Tatsache, dass diese lichten Nadelwälder die direkten Vorfahren der heutigen boreokontinentalen Kiefern sind, welche bis heute im Gebiet des Nationalparks Böhmisches Schweiz noch immer an denselben Typen von Standorten zu finden sind, nämlich auf den oberen Plateaus der Sandsteinfelsen und -massive. Die Artenzusammensetzung des krautigen Bodens dieser Gemeinschaft hat sich teilweise geändert, aber die Schlüsselart dieser Vegetation, die Waldkiefer, war immer das dominierende Element des Baumbodens. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die grundlegenden Parameter der Feuerereignisse in Kiefernwäldern konstant blieben und es häufig zu Bränden kam, allerdings nur von geringer bis mittlerer

Intensität. Die Häufigkeit ihres Auftretens kann sehr unterschiedlich gewesen sein und hing hauptsächlich von den klimatischen Bedingungen und der Häufigkeit der Entzündung ab. Aus den Analysen des Profils des Pravčický dul (Prebischgrund) (Abb. 7), das die letzten ~3000 Jahre aufzeichnet, geht hervor, dass es in einem weiten Bereich zwischen 20 und 370 Jahren variiert haben kann. Setzt man diese Werte in den Kontext der Feuerzyklen in Kiefernwäldern in anderen gemäßigten Breiten Europas ist klar, dass diese Art in der Lage ist, auch unter Bedingungen zu überleben, bei denen die Häufigkeit bis zu 11 Jahre beträgt (Zin et al., 2022). Brände in dieser Art von Wäldern erreichen in der Regel keine höhere Intensität, da sie durch die Menge an verfügbarem Brennstoff begrenzt werden, der sich nach dem letzten Ereignis allmählich in den Beständen ansammelt. Ein großer Teil der ausgewachsenen Bäume ist in der Lage, hohe Temperaturen zu überleben, wie die Sequenz so genannter Brandnarben, d. h. teilweise brandgeschädigtes Leitgewebe im Stamm, zeigt. Die Brandmortalität konzentriert sich hauptsächlich auf die jüngeren Jahrgänge (wörtlich Alterskohorten) und der Hauptbestand überlebt. Dies kann durch die Ergebnisse einer Kreuzkorrelationsanalyse von Feuer- und Pollenaufzeichnungen vom Standort Velké Ohbí in den Adršpach (Adersbach)-Felsen belegt werden, wo als Reaktion auf die Störungen durch Brandserien in der Bronzezeit den Waldkiefern keine größere negative Reaktion in Form eines Rückgangs ihrer Abundanz zu beobachten ist (Pokorný et al., 2022). Die langfristige Stabilität des Ökosystems Kiefernwald und sein Störungsregime bedingt auch das Überleben der Populationen einiger Arten, die an bestimmte ökologische Bedingungen gebunden sind. Ein Beispiel ist die Art *Rhododendron tomentosum*, die im NP Böhmisches Schiefergebirge mindestens seit dem Ende der Eiszeit überlebt hat (Radoměřský et al., 2017). Dieser Strauch aus der Familie der Ericaceae kann als Gletscherrelikt betrachtet werden, d. h. als Überbleibsel eines ehemals größeren Gebiets, das sein Maximum in den Kaltphasen des quartären Klimazyklus erreichte. Jüngste Untersuchungen haben gezeigt, dass ihre Population in Sandsteingebieten positiv auf eine erhöhte Feuerhäufigkeit reagiert und Feuer daher ein wichtiger Faktor für das langfristige Überleben dieser Art ist (Radoměřský et al., in review). Dieses Beispiel veranschaulicht sehr gut, dass das vorhandene Wissen über die Ökologie der Arten möglicherweise nicht ausreicht und ein erheblicher Teil der biologischen Vielfalt, die wir im Rahmen des NP Böhmisches Schiefergebirge schützen, durch Feuer bedingt sein kann.

### Wiederherstellung des Waldökosystems nach dem Brand

Die Folgen von Bränden für das Waldökosystem hängen hauptsächlich von der Intensität des Brandes, der räumlichen Ausdehnung und der Art des Brandes selbst ab. Diese Aspekte sind entscheidend für das Absterben der Baumkronen, haben aber auch große Auswirkungen auf die Vitalität der Samenbank im Boden, die nach einem Brand eine potenzielle Quelle für Diasporen ist. Der Verlauf der Waldverjüngung lässt sich anhand der paläoökologischen Aufzeichnungen verfolgen, die über eine ausreichende zeitliche Auflösung verfügen, um die aufeinanderfolgenden Phasen der Sukzession zu erfassen. Es muss aber damit gerechnet werden, dass die sekundäre Sukzession auf der durch das Feuer gestörten Oberfläche im Kontext der Vegetationsentwicklung auf der Landschaftsebene verläuft, welche in der fossilen Pollenaufzeichnung ebenfalls zu bemerken ist. Dennoch geht aus den vorliegenden Ergebnissen hervor, dass die Sukzession auch in der entfernteren Geschichte des Holozäns einen vorhersehbaren Verlauf nahm (Abb. 8). Auf eine Abfolge mehrerer Brände im Zeitraum 5000-2700 cal BP am Standort Velké Ohbí folgte stets eine frühe, kräuterreiche Phase (oft aus den Familien der Asteraceae und Brassicaceae), die nach 30-60 Jahren von einem Wald abgelöst wurde, der hauptsächlich aus Weißbirken bestand (Pokorný et al., 2022). In einer späteren Phase der Waldverjüngung, etwa 90-210 Jahre nach dem Brand, etablierte sich die Waldkiefer zusammen mit Heidekraut im Unterwuchs. Der gleiche Sukzessionsverlauf und die gleiche Sukzessionsrate wurden in Sukzessionslinien auf Brandflächen dokumentiert, die ohne waldbauliche Eingriffe der Spontanverjüngung auf dem Gebiet des Nationalparks Böhmisches Schiefergebirge überlassen wurden (Adámek et al., 2016). Daraus lässt sich schließen, dass sich das Waldökosystem schon immer von Störungen durch Brände erholen konnte. In der holozänen Vergangenheit gab es keine Anzeichen für einen Trend in der Vegetationsentwicklung, der zum Vorherrschen von waldlosen

Formationen, z. B. in Form von Heideflächen, geführt hätte. Die Widerstandsfähigkeit des Ökosystems Kiefernwald ist beträchtlich. Umgekehrt wurde eine negative Reaktion der Fichte auf Feuer festgestellt, mit einem nachweisbaren Rückgang in der Phase 60 Jahre nach dem Feuer. Die Sterblichkeit dieser Art ist selbst bei geringer Brandintensität erheblich, was auch in der Gegenwart beobachtet wurde (Adámek et al., 2016).

### Größe und Häufigkeit von Bränden

Die flächenmäßige Ausdehnung der Brände lässt sich mit paläoökologischen Methoden nur sehr schwer rekonstruieren und wird aufgrund der Ungenauigkeit der Radiokarbondatierung immer mit großen Unsicherheiten behaftet sein. Im betreffenden Gebiet des NP Böhmisches Schweiz kann dieser Ansatz nicht angewendet werden, auch wegen der unzureichenden Profildichte. Auch wesentlich genauere dendrochronologische Untersuchungen wurden in diesem Gebiet bisher nicht durchgeführt. Was bleibt, ist ein Blick in die jüngere Vergangenheit der letzten Jahrzehnte, der jedoch stark von effektiven Brandbekämpfungsmethoden geprägt ist und somit kein Verständnis für die Ausbreitung von Feuer ohne deren Einfluss ermöglicht. Nach den verfügbaren forstwirtschaftlichen Aufzeichnungen wurden im Gebiet des heutigen NP Böhmisches Schweiz zwischen 1982 und 2014 insgesamt 86 Brandereignisse registriert (Abbildung 3b), die eine Gesamtfläche von 35,6 ha betrafen (Adámek in Csaplovics et al., 2014).

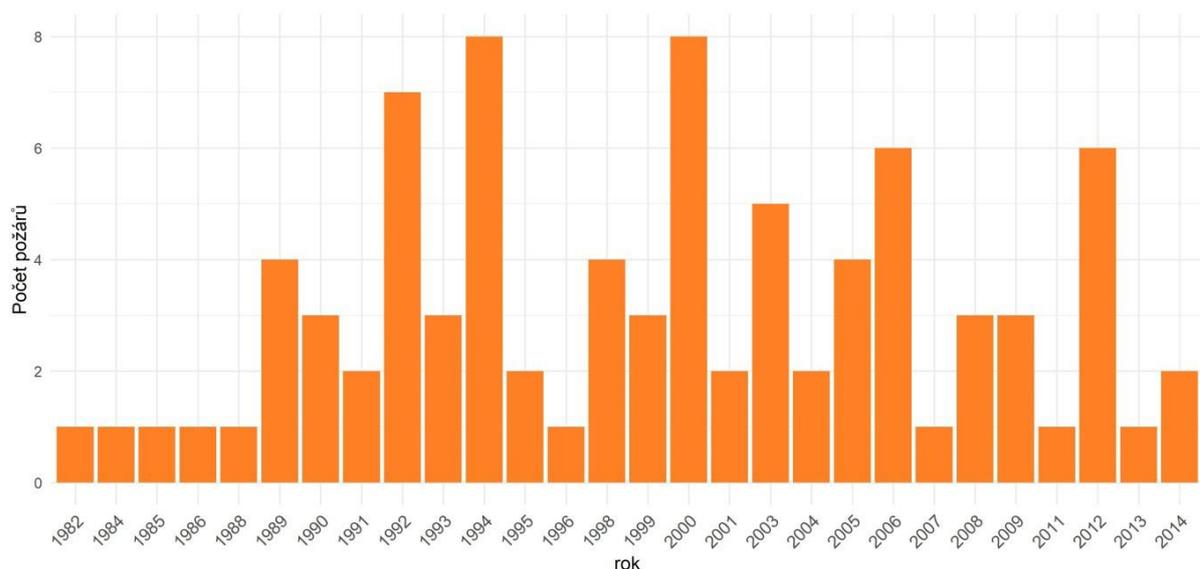


Abb. 3b Anzahl der Brände auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schweiz im Zeitraum 1982-2014.

Die durchschnittliche Häufigkeit lag also bei 2,7 Bränden pro Jahr. Die durchschnittliche Größe der Brände betrug 0,5 ha, aber dieser Wert wird durch den größeren Brand auf dem Havrani skala (Rabensteine) (17,92 ha im Jahr 2006) deutlich übertroffen. Der Median der Fläche ist niedriger als 0,05 ha, was darauf hindeutet, dass der Großteil der Brände deutlich kleiner ist. Aus einer tieferen Geschichte ist ein Großbrand im Jahr 1842 im Hřensko (Herrnskretsch)-Wald, auf dem Felsplateau oberhalb des Pravčická (Prebisch)-Tors, bekannt, der eine Fläche von etwa 180 ha erfasste (Csaplovics et al., 2013). Weitere Brände, die in archivarischen Quellen dokumentiert sind, werden von Belisová erwähnt (Belisová, 2006).

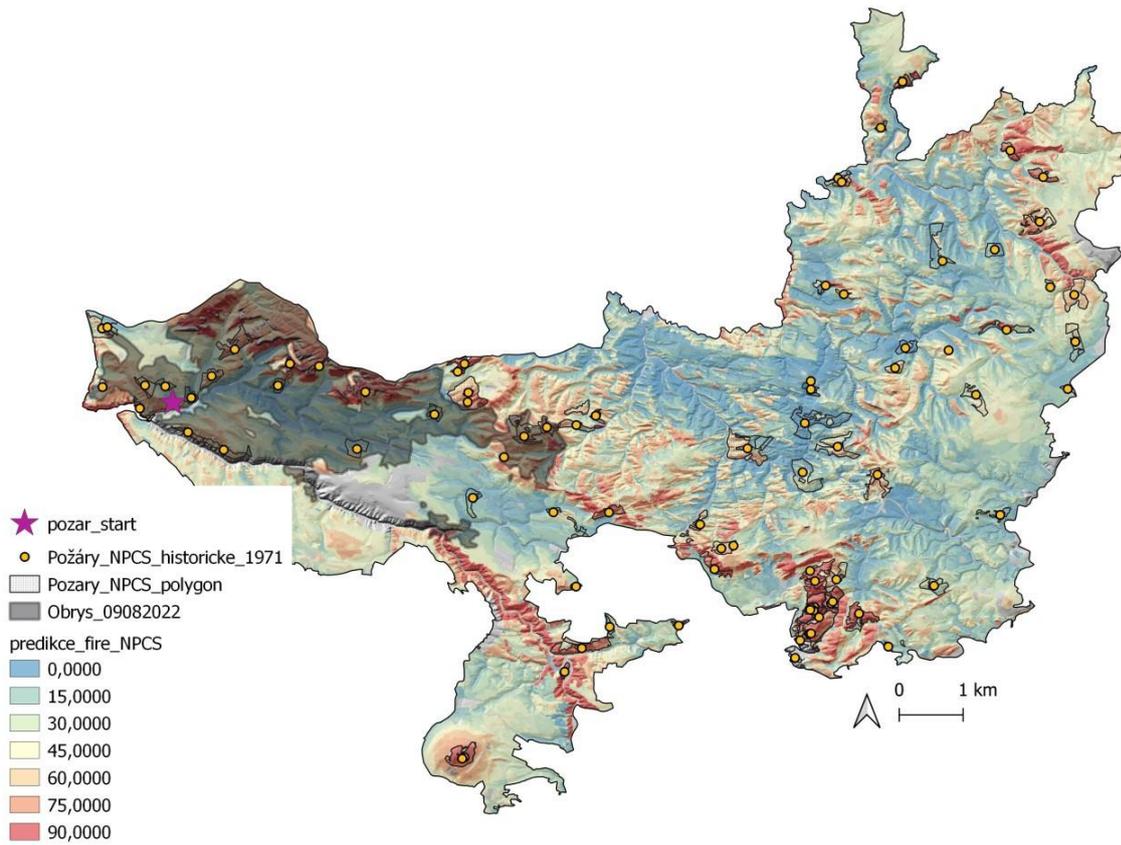


Abb. 4 Häufigkeit der in den forstwirtschaftlichen Aufzeichnungen dokumentierten Brandereignisse im Zeitraum 1982-2014. Vorhersage des Brandpotenzials mit der ENFA-Methode (Czaplovics et al., 2013). Die Bereiche, in denen das Feuer 2022 ausgebrochen ist, sind grau markiert. Polygone älterer Brände weisen auf betroffene Bestände hin, zeigen aber nicht die genaue Fläche der Brände an.

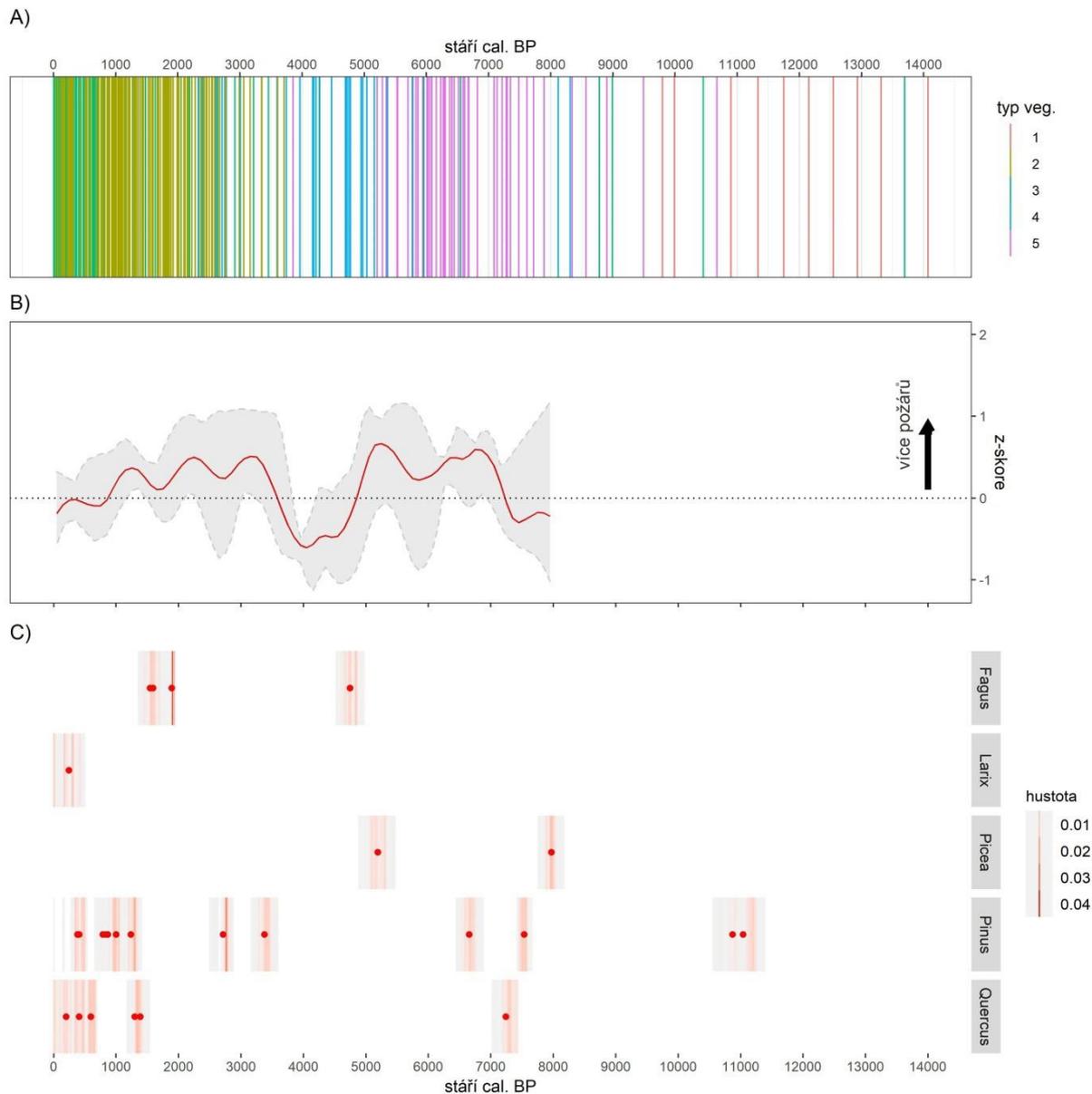


Abb. 5 Synthese aller veröffentlichten paläoenvironmentalen Aufzeichnungen der holozänen Vegetationsentwicklung und der Feueraufzeichnungen auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schweiz. A) Die farbigen Balken zeigen die Zugehörigkeit des fossilen Pollenspektrums zu einem bestimmten Vegetationstyp. Cluster 1 - Birken-Kiefernwälder (mit *Pinus cembra*), 2 - Tannen-Buchenwälder, 3 - Kiefernwälder, 4 - Buchenwälder (Periode der Buchexpansion), 5 - Fichtenwälder und Laubmischwälder (Eiche, Ulme, Linde, Hasel). B) Regionale Feueraktivität, abgeleitet von der Menge an Holzkohle im Sediment. C) Mikroskopisch determinierte Holzkohlestücke aus Bodenprofilen und ihr mit der Radiokarbonmethode bestimmtes Alter. Der Punkt zeigt das mittlere kalibrierte Alter an und die Intensität der roten Farbe zeigt die Dichte der Wahrscheinlichkeit über das 2-Sigma-Kalibrierungsintervall an (der gesamte Bereich ist grau gekennzeichnet).

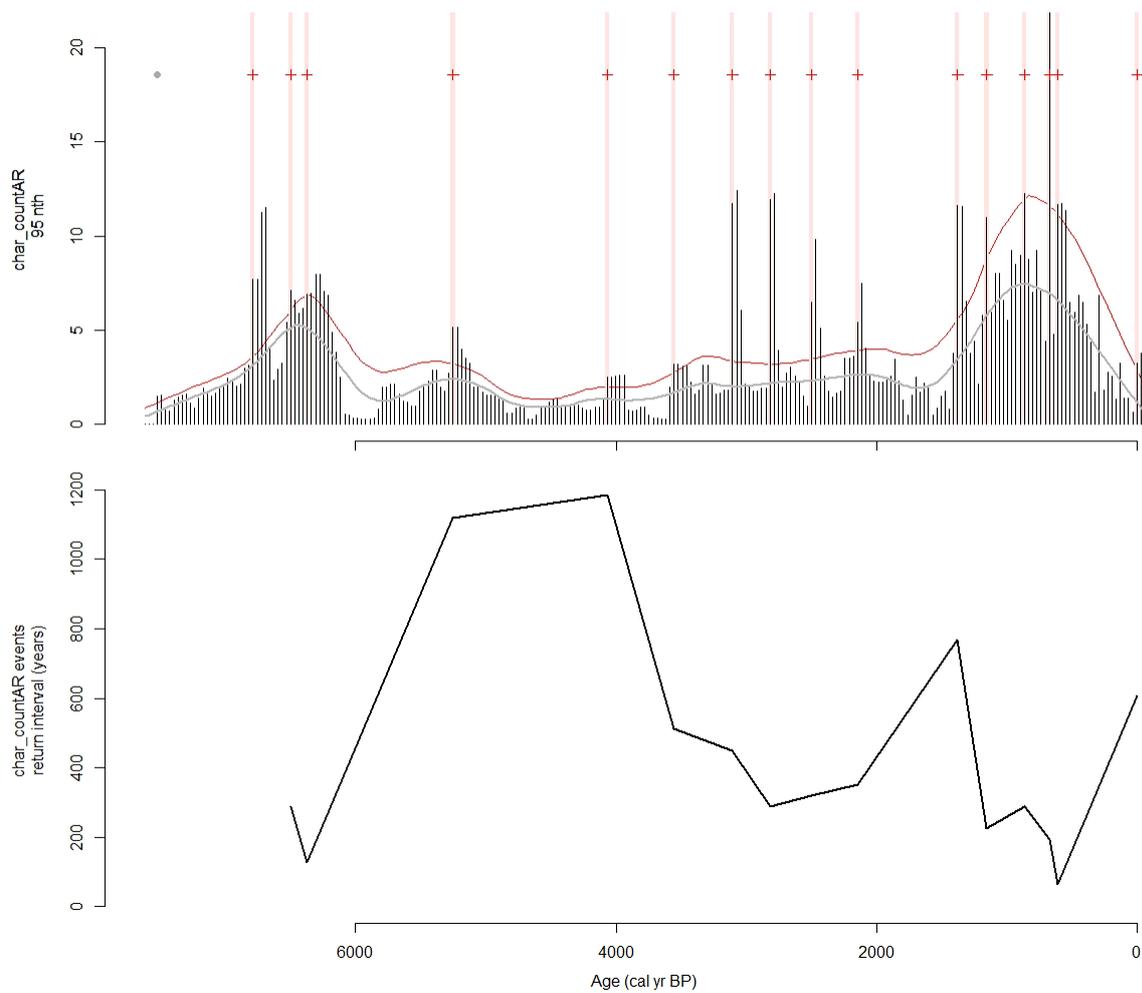


Abb. 6 Brandverlauf am Standort Eustach. Oberes Feld - Balkendiagramm der Kohlenstoffablagerung im Sediment (CHAR), die rote Kurve stellt den langfristigen Trend dar, Kreuze kennzeichnen statistisch signifikante Feuerereignisse. Unteres Feld - Feuerwiederkehrintervall (fire return interval, FRI). Übernommen aus einer Veröffentlichung (Bobek et al., 2018).

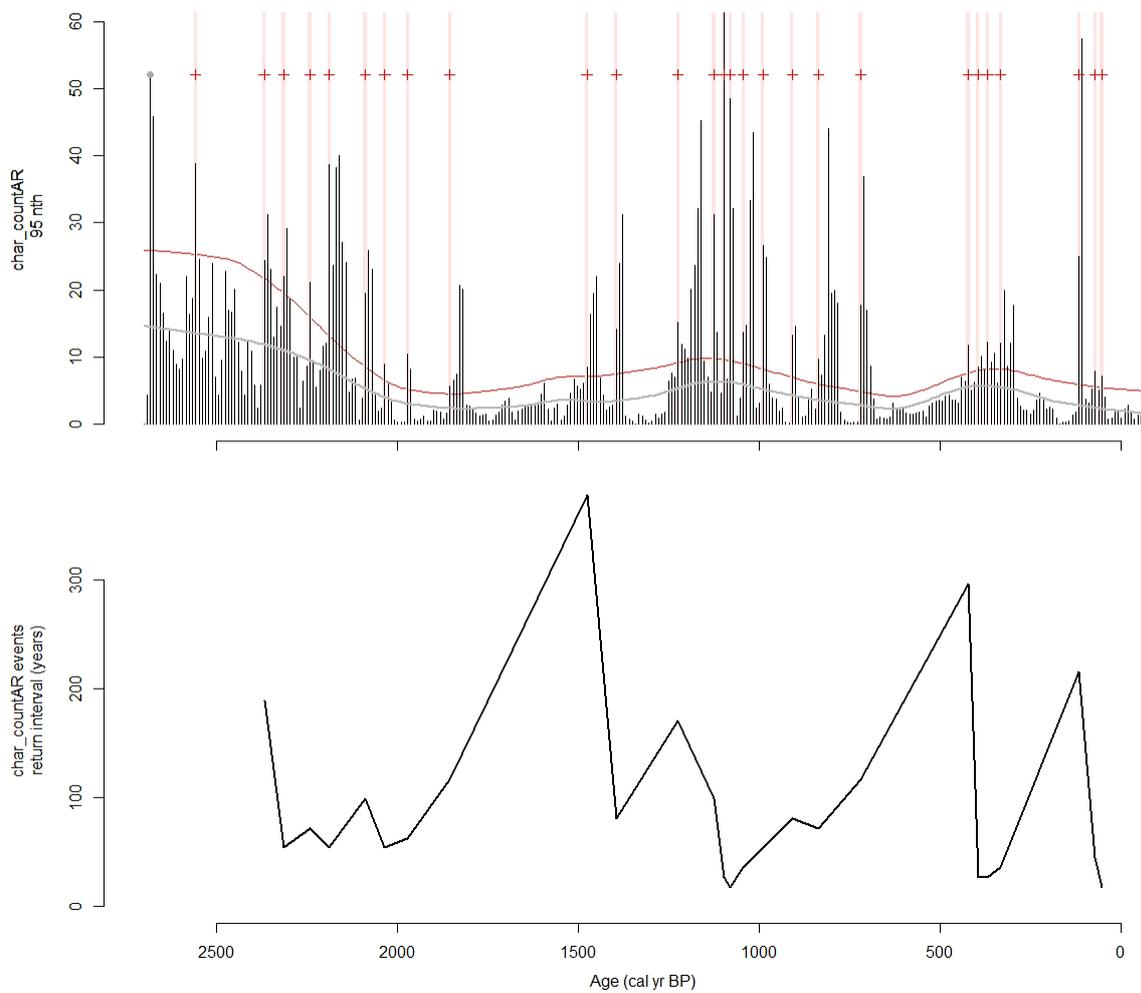


Abb. 7 Brandverlauf am Standort Pravčický důl (Prebischgrund). Oberes Feld - Balkendiagramm der Kohlenstoffablagerung im Sediment (CHAR), die rote Kurve stellt den langfristigen Trend dar, Kreuze kennzeichnen statistisch signifikante Feuerereignisse. Unteres Feld - Feuerwiederkehrintervall (fire return interval, FRI). Unveröffentlicht.

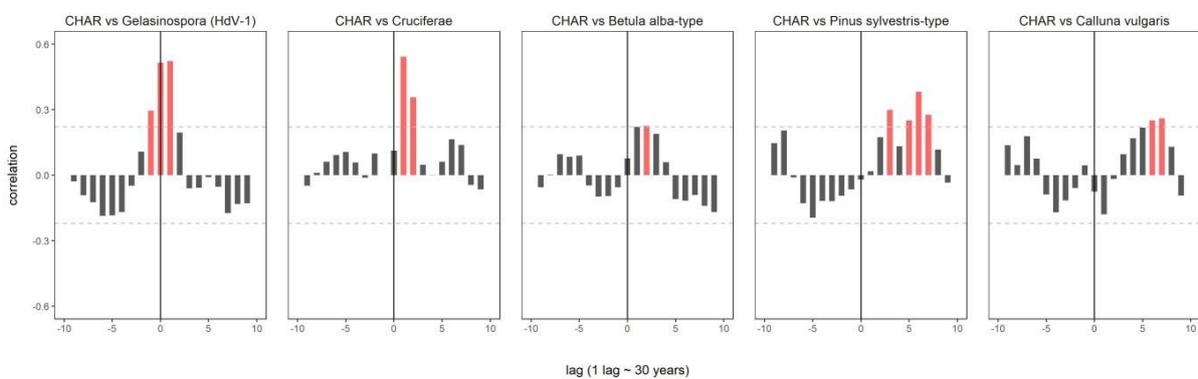


Abb. 8 Sukzessionsentwicklung nach Bränden im Zeitraum 2689-5054 cal BP am Fundort Velké ohbí in den Adršpach-Felsen. Kreuzkorrelationsanalyse zwischen der Kohlenstoffaufzeichnung (CHAR) und ausgewählten Pflanzen und Pilzen. Die horizontale Achse gibt die Zeitspanne nach dem Brand an (positiver Wert der Verzögerung, 1 Verzögerung entspricht einem Zeitraum von 30 Jahren),

die vertikale Achse zeigt die Stärke der Korrelation. Konfidenzintervall durch gestrichelte Linien dargestellt. Signifikante Korrelationen sind in rot hervorgehoben.

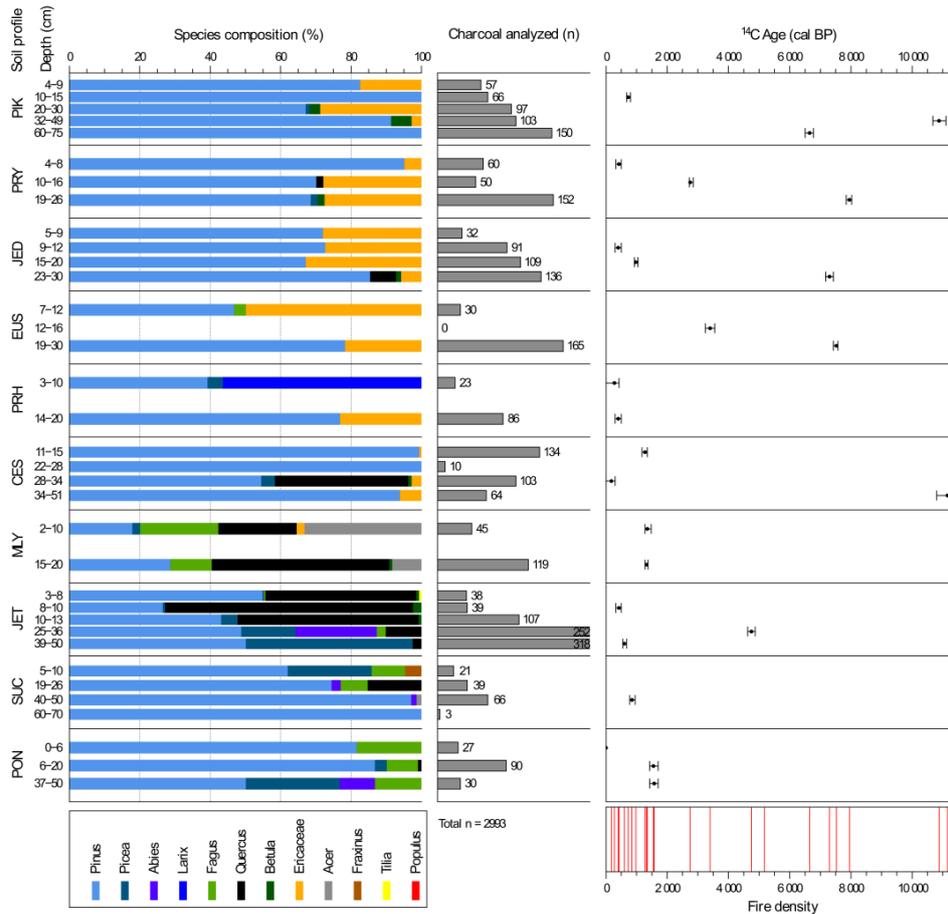


Abb. 9 Artenzusammensetzung der Kohlenstoffspektren in Bodenproben aus dem Gebiet des Nationalparks Böhmisches Schweiß. Übernommen aus einer Veröffentlichung (Bobek et al., 2018).

### Mikroklimatische Bedingungen in den aktuellen Beständen

Das Temperatur- und Feuchtigkeitsregime in der Nähe der Erdoberfläche ist sehr variabel und kann von den gemessenen meteorologischen Parametern des aktuellen Wetters abweichen (Geiger et al., 1995). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Atmosphäre in dieser Zone durch die Form des Reliefs und die Struktur der Vegetationsdecke beeinflusst ist. In der zerklüfteten Landschaft der Sandsteingebiete kommt es dank der großen Unterschiede in der Menge der einfallenden Sonnenstrahlung, die durch die Ausrichtung des Geländes beeinflusst wird und der Hangneigung, sowie der Beschattung durch die Vegetation, an nur wenige Meter voneinander entfernten Orten zu extrem unterschiedlichen mikroklimatischen Bedingungen. Unterschiedliche Werte von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit spiegeln sich zwangsläufig in der Variabilität der lokalen Brandbedingungen wider, insbesondere durch die Regulierung des Feuchtigkeitsgehalts der nicht lebenden Biomasse. Im Gegensatz zu lebendem Pflanzengewebe, wo der Wassergehalt hauptsächlich durch physiologische Prozesse gesteuert wird, ist die Feuchtigkeit des Totholzes, des Fallholzes und der Humushorizonte des Bodens vollständig von den atmosphärischen Bedingungen abhängig. Die Feuchtigkeit des Brennstoffs ist ein Schlüsselfaktor, der alle grundlegenden Parameter eines Feuers steuert, wie die Leichtigkeit der Entzündung, die Geschwindigkeit und Ausbreitung des Feuers oder seine Intensität (Nelson, 2001). Das Langzeit-Monitoring des Mikroklimas wird auf dem Gebiet des Nationalparks Böhmisches Schweiß vom

Institut für Botanik der tschechischen Akademie der Wissenschaften in Zusammenarbeit mit der Nationalparkverwaltung NP Böhmisches Schiefergebirge durchgeführt (Wild et al., 2013, 2019). Anhand der Ergebnisse lassen sich die Unterschiede zwischen den mikroklimatischen Bedingungen in Bezug auf die Artenzusammensetzung und den Zustand der Waldbestände beurteilen (Abb. 9b). Der Aussagewert dieser Daten ist einzigartig, da sich viele dieser Messgeräte direkt innerhalb des Brandherdes befinden. Aus den Messwerten der Vegetationsperiode 2021 (die Daten für 2022 wurden durch den Brand zerstört) geht hervor, dass die durchschnittliche Tagestemperatur, die in 0 und 15 cm über der Bodenoberfläche gemessen wurde, in den kahlen und toten Fichtenwäldern höher als in den lebenden Waldbeständen war. Dieser Unterschied ist vor allem in Zeiten höherer Tagesdurchschnittstemperaturen relativ groß und deutet darauf hin, dass das Fehlen der Baumkronendecke zu einer stärkeren Oberflächenerwärmung an solchen Standorten führt. Dieser Effekt führt dazu, dass totes organisches Material, das sich näher an der Bodenoberfläche befindet (liegende Äste, trockene Äste am Stammfuß, Nadel- und Blattfall) seinen Feuchtigkeitsgehalt schneller verliert als in einem lebenden Wald. In den oberen Teilen des Bodenprofils (bis zu 15 cm), die meist aus einer dicken Humusschicht bestehen, ist die Situation jedoch umgekehrt. Die gemessenen Werte der durchschnittlichen täglichen volumetrischen Bodenfeuchte zeigen durchweg die niedrigsten Werte im lebenden Fichtenwald. Eine höhere Bodenfeuchtigkeit wurde auf den Lichtungen festgestellt. Paradoxe Weise enthalten die Humushorizonte in den abgestorbenen Fichtenwäldern mit erhaltenen Trockengebieten das meiste Wasser. Die Erklärung für diese Unterschiede liegt im Effekt photosynthetisch aktiver Bäume, die dem Boden durch die Transpiration große Mengen Wasser entziehen. Gleichzeitig ist das Wurzelsystem der Fichte im Bodenprofil sehr flach, und die lebenden Bäume beziehen ihr Wasser hauptsächlich aus den oberen Horizonten. Daraus lässt sich schließen, dass die mikroklimatischen Bedingungen auf Lichtungen und in abgestorbenen Fichtenwäldern die Ausbreitung von Flächenbränden begünstigen, die möglicherweise von einer schnelleren Trocknung des Brennmaterials an diesen Standorten profitieren. Insbesondere Kahlstellen, die sich in der Sukzessionsphase befinden und nicht durchgängig mit jungen Bäumen bewachsen sind, können durch ihre extremen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse als Standort mit dem höchsten Potenzial für Brände und eine schnelle Brandausbreitung angesehen werden. Im Gegensatz dazu findet der unterirdische Brandtyp, bei dem die Humushorizonte des Bodens verbrennen, günstigere mikroklimatische Bedingungen in lebenden Fichtenbeständen vor, in denen das Defizit des Bodenwassergehalts aufgrund der Transpiration stark ausgeprägt ist.

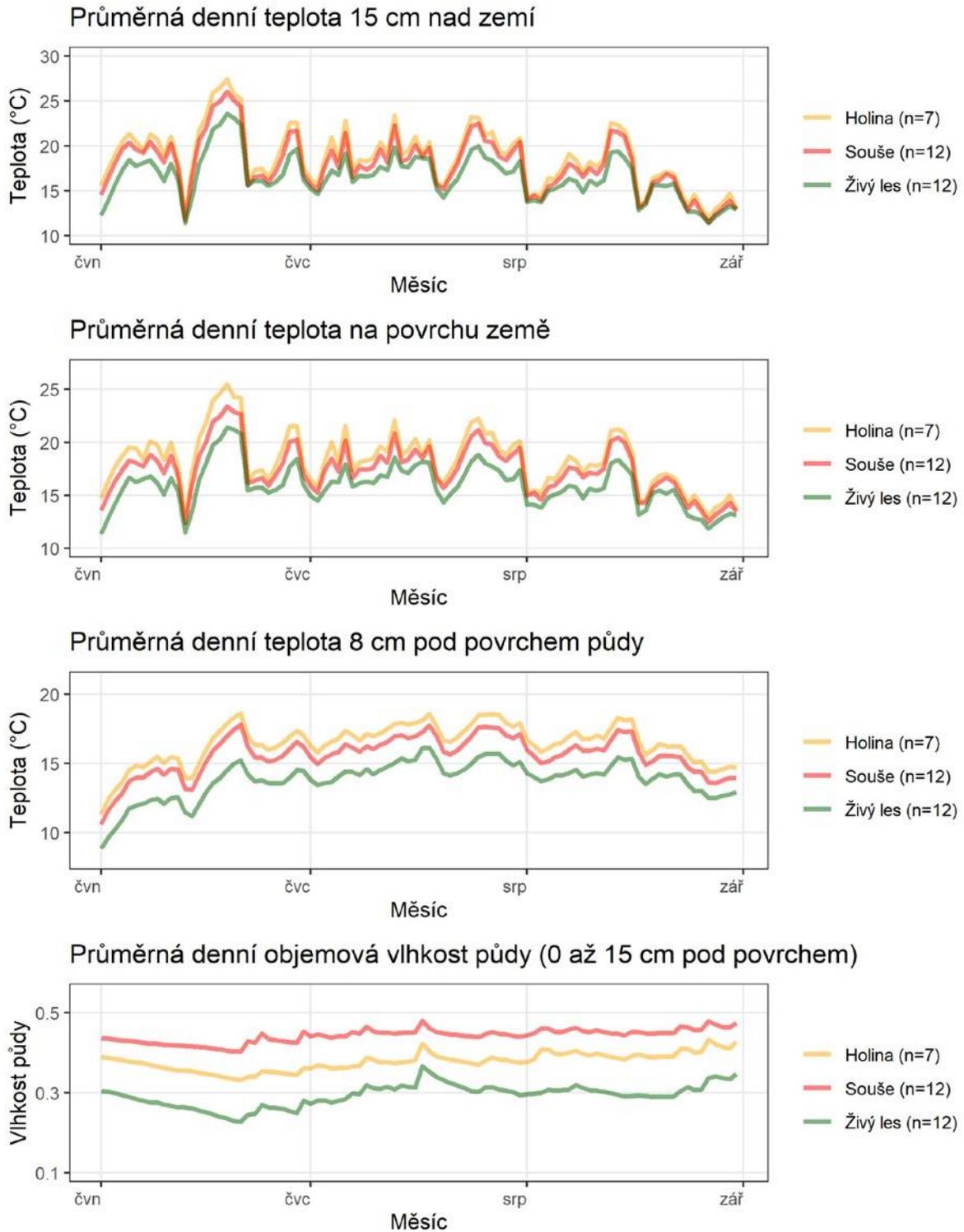


Abb. 9b. Vergleich der mikroklimatischen Bedingungen in lebenden Fichtenbeständen (lebendiger Wald), abgestorbenen Fichtenbeständen mit 100 % belassenen trockenem Bestand (Trockenstand) und vollständig abgeholzten Fichtenbeständen (Lichtung). Daten zur Verfügung gestellt von der Abteilung GIS und DPZ, Institut für Botanik der Akademie der Wissenschaften der tschechischen Republik.

## Verwendete Methoden

### Bestimmung der mikroskopischen Kohlenstofffragmente in Sedimenten

Eine Methode, welche die Rekonstruktion der lokalen Brandgeschichte ermöglicht mit Hilfe der Detektion (des Nachweises) erhöhten Inhalts von mikroskopischer Holzkohle (>125 µm) in geschichteten Moor- und Seesedimenten (Whitlock et al., 2001). Sie basiert auf der quantitativen Bestimmung der Geschwindigkeit der Ablagerung von verkohltem pflanzlichem Material (CHAR=Charcoal Accumulation Rate) pro Fläche des Sedimentationsraums. Die vom Feuer erzeugte Glut verteilt sich in der unmittelbaren Umgebung des Feuers (<1 km). Die statistische Analyse der gewonnenen Daten trennt deutliche positive Schwankungen (Holzkohleteilchen, die während eines Brandereignisses entstehen) von dem sich ändernden langfristigen Trend (regionales Gefälle, sekundäre Ansammlung von redeponiertem Kohlenstoff). In diesem Bericht stützen wir uns auf 2 Profile (Eustach, Pravčický důl), die eine relevante zeitliche Auflösung haben (Bobek et al., 2019).

### **Rekonstruktion der Brandentstehung anhand von Holzkohleteilchen im Boden**

Verkohltes Holz ist ein Material, das sehr widerstandsfähig gegenüber chemischem und biologischem Abbau ist und daher auch in einer normalen Bodenumgebung sehr lange (Tausende von Jahren) bestehen bleibt. Dank der erhaltenen anatomischen Struktur des Holzes ist es möglich, mikroskopisch die Holzart zu bestimmen, von der es stammt. Gleichzeitig kann dieses ursprünglich organische Material mit der Radiokarbonmethode genau datiert werden. Kohlenstoffverbindungen aus Bodenprofilen außerhalb archäologischer Stätten wurden durch Vegetationsbrände erzeugt. Durch die Kombination der oben genannten Ansätze ist es möglich abzuleiten, welche Baumart an einem bestimmten Ort verbrannt ist und wann. In diesem Bericht arbeiten wir mit den Ergebnissen der Analyse von 11 Bodenprofilen, die das Gebiet des NP Böhmisches Schweiz gleichmäßig abdecken (Bobek et al., 2018). Insgesamt wurden 3024 verkohlte Holzfragmente identifiziert, von denen 27 mithilfe der Radiokarbonmethode datiert wurden.

### **Regionale Brandaktivität**

Die Gesamtmenge des Kohlenstoffs in den sedimentalen Aufzeichnungen ist proportional zur Gesamtmenge der verbrannten Biomasse. Eine verstärkte Feueraktivität führt zu einer größeren Zufuhr von Holzkohle in das Sediment. Die Synthese mehrerer Kohlenstoffdatensätze kann langfristige Veränderungen der Feueraktivität in einer bestimmten Region aufzeigen (Power et al., 2008; Dietze et al., 2018). Die Kohlenstoffdatensätze der Teilstandorte werden standardisiert, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Holzkohlekonzentrationswerte werden zunächst mit dem Median der Zeitauflösung aller Proben im Datensatz neu untersucht. Anschließend werden sie mit der Min-Max-Transformation neu skaliert und die Varianz wird mit der Box\_Cox-Transformation homogenisiert. Die daraus resultierenden Werte werden zu einem standardisierten Wert (Z-Score) skaliert. Die so bereinigten Zeitreihen werden dann aggregiert und durch die Methode der lokalen Regressionen (LOESS) über ein Zeitfenster von 500 Jahren wurde der Gesamttrend geschätzt. Das Konfidenzintervall (95 %) wurde mit der Bootstrap-Methode ermittelt. Für diesen Bericht wurde die regionale Feueraktivität für das Gebiet des NP Böhmisches Schweiz auf der Grundlage von fünf veröffentlichten Kohlenstoffprofilen neu berechnet (Bobek et al., 2019).

### **Entwicklung der regionalen Vegetation**

Die im Sediment enthaltenen Pollenkörner spiegeln die Artenzusammensetzung der Vegetation in dem betreffenden Zeithorizont wider. Aufgrund von Unterschieden in der Pollenproduktivität und der Ausbreitungsfähigkeit der Pollenkörner, die von Pflanzenart zu Pflanzenart variieren, spiegeln sie nicht genau den Anteil der Pollenkörner wider, die in den Beständen der jeweiligen Zeit vorhanden waren. Mit Hilfe der Pollenanalyse lassen sich jedoch die wichtigsten Vegetationstypen und ihre Entwicklung im Laufe der Zeit rekonstruieren. Der Bericht verwendet alle veröffentlichten Pollenprofile (insgesamt 8) aus dem Gebiet des NP Böhmisches Schweiz, die in der Datenbank PALYCZ (<https://botany.natur.cuni.cz/palycz/index.php> Zugriff am 1.11.2022) verfügbar sind. Die Pollenkornzahlen der einzelnen Taxa wurden als Prozentsatz der Gesamtsumme aller Pollenkörner

ausgedrückt. Um die Haupttrends der Vegetationsentwicklung im gesamten Gebiet aufzuzeigen, wurde der gesamte Datensatz mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse (PCA) analysiert und anschließend die erhaltenen Ordnungswerte einer hierarchischen Clusterung unterzogen. Die daraus resultierenden Cluster repräsentieren daher Proben mit ähnlicher Artenzusammensetzung an allen Standorten.

## Literatur

- Adámek M, Bobek P, Hadincová V, et al. 2015. Forest fires within a temperate landscape: A decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. *Forest Ecology and Management* 336: 81–90.
- Adámek M, Hadincová V, Wild J. 2016. Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. *Forest Ecology and Management* 380: 285–295.
- Belisová N. 2006. Historické záznamy o požárech v Českém Švýcarsku. In *Minulosti Českého Švýcarska. Sborník příspěvků z historického semináře 2006*. Belisová N (eds). 118–136.
- Bobek P, Svobodová-Svitavská H, Pokorný P, et al. 2019. Divergent fire history trajectories in Central European temperate forests revealed a pronounced influence of broadleaved trees on fire dynamics. *Quaternary Science Reviews* 222: 105865.
- Bobek P, Svobodová HS, Werchan B, et al. 2018. Human-induced changes in fire regime and subsequent alteration of the sandstone landscape of Northern Bohemia (Czech Republic). *The Holocene* 28: 427–443.
- Csaplovics E, Seiler U, Wild J, et al. 2013. Historische Waldentwicklung in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz/Historický vývoj lesa v Českosaském Švýcarsku. *Fernerkundung und angewandte Geoinformatik* 10, TU Dresden.
- Dietze E, Theuerkauf M, Bloom K, et al. 2018. Holocene fire activity during low-natural flammability periods reveals scale-dependent cultural human-fire relationships in Europe. *Quaternary Science Reviews* 201: 44–56.
- Geiger R, Aron RH, Todhunter P. 1995. *The Climate Near the Ground*. Vieweg+Teubner Verlag: Wiesbaden.
- Krebs P, Pezzatti GB, Mazzoleni S, et al. 2010. Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. *Theory in Biosciences* 129: 53–69.
- Leuschner C, Ellenberg H. 2017. *Ecology of Central European Forests*. Springer International Publishing: Cham.
- Nelson RM. 2001. Water Relations of Forest Fuels. In *Forest Fires*. Elsevier: 79–149.
- Pokorný P, Bobek P, Šída P, et al. 2022. Managing wilderness? Holocene-scale, human-related disturbance dynamics as revealed in a remote, forested area in the Czech Republic. *The Holocene* 32: 584–596.
- Power MJ, Marlon J, Ortiz N, et al. 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics* 30: 887–907.
- Radoměřský T, Kuneš P, Bobek P. 2017. Testing the distribution model of *Ledum palustre* L. using paleoecological data. *Geoscience Research Reports* 50: zpravy.geol.2017.21.
- Šamonil P, Moravcová A, Pokorný P, et al. 2018. The disturbance regime of an Early Holocene swamp forest in the Czech Republic, as revealed by dendroecological, pollen and macrofossil data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 507: 81–96.
- Stika H, Friedrich M. 2012. Fire and water - The dendro-ecological reconstruction of a late-glacial pine forest in Reichwalde, East-Germany.
- Whitlock C, Larsen C. 2001. Charcoal as a fire proxy. In *Tracking Environmental Change Using Lake*

- Sediments: Vol. 3 Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators. Smol JP, Birks HJP, Last WM (eds). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 75–97.
- Wild J, Kopecký M, Macek M, et al. 2019. Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agricultural and Forest Meteorology* 268: 40–47.
- Wild J, Macek M, Kopecky M, et al. 2013. Temporal and spatial variability of microclimate in sandstone landscape: detailed field measurement.
- Zin E, Kuberski Ł, Drobyshev I, et al. 2022. First Spatial Reconstruction of Past Fires in Temperate Europe Suggests Large Variability of Fire Sizes and an Important Role of Human-Related Ignitions. 10: 1–14.

#### 4. Terrainregistrierung von Brandspuren im Nationalpark Böhmisches Schweiß im Sommer 2022

*Pavel Šamonil*



Abb. 10 Fotografien aus dem Nationalpark Böhmisches Schweiß mit stehendem Totholz

#### Grenzen des Brandgebiets

Der Informationswert der Grenze, welche die Brandstelle von dem nicht verbrannten Gebiet für das Erreichen der allgemeinen Schlussfolgerungen definiert, ist über die Ausbreitung des Feuers begrenzt. Vielerorts entstand sie primär durch die Erreichbarkeit für die Feuerwehrleute und Löschtechnik in Kombination mit der aktuell eingesetzten Löschtechnologie (z.B. Einsatz von Flugzeugen) und dem zeitlichen Aspekt des Brandverlaufs. Natürliche Hindernisse für die Ausbreitung von Feuer gab es zwar, aber sie waren wahrscheinlich von untergeordneter Bedeutung. Der Einsatz der Feuerwehrleute und die Rechtzeitigkeit ihres Eingreifens sind entscheidend. An einigen Stellen verläuft der Rand des Brandgebietes durch abgestorbene Fichtenbestände, ohne dass eine klare Unterscheidung zwischen den stark verbrannten und den nicht betroffenen Teilen besteht, es kann davon ausgegangen werden, dass die Feuerwehr an diesen Stellen eine entscheidende Rolle bei der Verhinderung der Ausbreitung des Feuers gespielt hat (insbesondere am östlichen Rand des Brandgebietes, z. B. N 50° 52.424', E 014° 20.400'). Mit anderen Worten, die nicht verbrannte Vegetation in der unmittelbaren Umgebung des Brandortes ist der verbrannten Vegetation oft sehr ähnlich, nur hat das Feuer nicht auf sie übergegriffen (z. B. Vegetation am östlichen Rand der Brandstelle um N 50° 52.467', E 014° 20.615', N 50° 52.827', E 014° 20.526').



Abb. 11 Die Wand, die den Brandbereich begrenzt. Der Fußweg bildet visuell eine scharfe Begrenzung des Brandgebiets, in Wirklichkeit ist die Grenze jedoch diffuser. Die Bäume am linken Bildrand brannten auch einzeln, das Feuer wurde von der Feuerwehr gestoppt.



Abb. 12 Der Übergang der abgestorbenen Fichte zur Buche bildet zusammen mit der Straße die Brandgrenze. Es handelt sich um eine etwa 25 m breite Zone an dieser Stelle (N 50° 52.806', E 014° 20.460').



Abb. 13 Brandgrenze im oberen Teil des Hangs (N 50° 52.337', E 014° 20.420'). Stark brannten die Horizonte der Humusaufgabe der Böden und die Basis der Bäume. Deutlich ist das Abholzen mit dem Zweck den Brand zu verlangsamen und zu kontrollieren.



Abb. 14 Brandgrenzen in den Felsen (Aufnahme von N 50° 52.943', E 014° 17.370'). An einigen Stellen erreichte das Feuer die Gipfelpartien der Felsen, woanders war über der Ebene des verbrannten Waldes eine Ebene von versengtem Wald und darüber eine Ebene von noch lebendem Wald.



Abb. 15 Scharfe Brandgrenze inmitten eines abgestorbenen Fichtenwaldes (N 50° 51.954', E 014° 19.483')

Bei der Bekämpfung des sich ausbreitenden Feuers profitierten die Feuerwehrleute von einigen natürlichen Hindernissen, die die Ausbreitung des Feuers einschränkten (aber nicht vollständig verhinderten). Der Schwerpunkt lag natürlich auf dem Schutz von zivilen Objekten und nicht auf dem Schutz von Waldökosystemen. Vor Ort, Monate nach dem Brand, ist dabei nicht ganz klar, welche Anstrengungen unternommen wurden, um die Ausbreitung des Feuers zu verhindern. Nach einer detaillierten Begehung kann man feststellen, dass die natürliche Grenze der Brandausbreitung wahrscheinlich ein eher unbedeutende Rolle spielte, üblicherweise ging es um eine Kombination aus natürlicher Verlangsamung der Brandausbreitung (z. B. Felsmassiv, Linienbauwerke, Wasserläufe, Schluchtrand usw.) und intensivem Feuerwehreinsatz zur Unterdrückung der Brandherde. Am Rande der verbrannten Fläche sind stellenweise stehende Bäume, manipulierte liegende Stämme usw. zu sehen. Eine natürliche Brandgrenze konnte entstehen, wenn das Feuer mit einer massiven Felsformation, einem Linienbauwerk (Straße), einem stark durchnässten Gebiet oder einer lebenden Laubvegetation in Berührung kam. Doch auch in diesen Fällen kam es öfter dazu, dass das Feuer diese Barrieren übertrat und nur in Ausnahmefällen eingedämmt werden konnte.



Abb. 16 Kontakt des brennenden Waldes mit Häusern am Rande des Dorfes Mezná (Stimmersdorf), wo es trotz der Bemühungen der Feuerwehr nicht möglich war, Schäden am Eigentum der Bewohner des Dorfes

zu verhindern. Eine interessante Information liefern die Innenseiten der Brandstelle. Innerhalb des vom Feuer betroffenen Gebiets gibt es mehrere getrennte Polygone, in denen sich das Feuer nicht ausgebreitet hat und in denen die Brandgrenzen in Bezug auf Umweltbedingungen, Vegetation und Vegetationstyp deutlicher zu sein scheinen. Die inneren Grenzen des Brandes können aus dieser Hinsicht mit Bezug auf natürliche Merkmale besser interpretierbar und natürlicher sein. Die Bedeutung der Bestandsstruktur ist offensichtlich, während die Bedeutung der Topografie weniger deutlich ist. Interne Brandgrenzen gibt es meist zwischen lebendem Laubwald und anderen Vegetationstypen, die empfindlicher auf Brände reagieren (insbesondere toter Fichtenwald, aber auch Lichtungen, siehe unten).



Abb. 17 Eine undeutliche, etwa 40 m breite interne Brandgrenze zwischen abgestorbenen Fichten und lebendem Mischwald (N 50° 52,744', E 014° 17,905'). Während im lebendigen Wald sich das Feuer auf die Basen der Kiefern und abgestorbene Bäume konzentrierte, tief in den Bestand ging und einen milderen inselartigen Brandverlauf hatte, brannten im abgestorbenen Fichtenwald alle Bäume, ihre Kronen, die liegenden Stämme und ein erheblicher Teil der organischen Horizonte auf der Bodenoberfläche stark und vollflächig.



Abb. 18 Buchenbestand auf einem lokalen Gipfel, der vom Feuer, das alle umliegenden Bestände angriff, verschont blieb (Bestände bei N 50° 52.720', E 014° 18.434').

Das Feuer breitete sich offenbar in den meisten Fällen durch den direkten Kontakt der brennenden Vegetation mit der unmittelbaren Umgebung aus, wobei der Wind eine wichtige Rolle spielte. An einigen Stellen flog ein brennendes Objekt jedoch über eine längere Strecke und es entstand ein neues lokales Feuer. Eines der Brandzentren ist 850m vom Rand des Hauptbrandgebiets in südöstlicher Richtung entfernt, die anderen 6 kleineren, separaten Brandpolygone sind mehrere Dutzend Meter von den Brandherden entfernt.

### Die Rolle des Vegetationstyps

Im Gelände zeigt sich, dass das Feuer alle vorhandenen Vegetationstypen überwinden konnte, nicht nur den alten Fichtenwald, der nach dem Borkenkäferbefall abgestorben war, sondern auch lebendigen Kiefernwald, Buchenwald unterschiedlichen Alters und Dichte, junge Laub- und Nadelwälder, Lichtungen mit abgenommener Dendromasse, wo Reste blieben, Steingärten mit Latschenkiefern bewachsen und auch Feuchtgebiete.

Der Vegetationstyp war wahrscheinlich nicht ausschlaggebend dafür, wo sich das Feuer ausbreitet, aber er war sicherlich einer der Hauptfaktoren für die lokale Brandschwere. Dies könnte die anschließende Ausbreitung des Feuers begünstigt haben, da es sich beispielsweise über Baumstämme und -kronen in steilem, felsigem Gelände ausbreitete. Es ist nicht auszuschließen, dass die außergewöhnliche lokale Wucht des Feuers irgendwo einen raschen Aufstieg heißer, brennendes Material enthaltender Luft verursachte, die möglicherweise die Quelle eines neuen, weiter entfernten Feuers war. Aber natürlich können die Feldarbeiten Monate nach dem Brand keine eindeutigen Beweise dafür liefern.

Die Schwere eines Brandes kann anhand des Ausmaßes der Störung des Ökosystems nach einem Ereignis bewertet werden, das auf dem Grad und dem Ausmaß der Verbrennung von Holz und anderen Ökosystemkomponenten beruht (z. B. Abflämmen vs. tiefes Abbrennen von Stämmen mit kubischer Strukturbildung und erheblichem Biomasseverlust, Abbrennen organischer Horizonte an der Bodenoberfläche, siehe z. B. Keeley et al. 2009). Diese Charakteristik, welche meist als Brandschwere (fire severity) bezeichnet wird, sollte noch vor der neuen Vegetationsperiode (siehe Forschungsthemen unten) im Terrain bestimmt werden, wenn die Fläche teilweise von neuer Vegetation bedeckt wird. In allen Beständen und Vegetationstypen wurde an einigen Stellen Versengen der Basen der stehenden Bäume ohne Verbrennung der Borke und mit nur schwacher Verbrennung der oberen organischen Horizonte beobachtet (L-Liter, F-Fermentation, H-Humifikation, siehe z. B. Jabiol et al. 2013). In diesen Fällen griff

das Feuer weder stehende Stämme noch deren Kronen an. Dies war wahrscheinlich eine Folge des schnellen Durchgangs des Feuers durch das Ökosystem, ein Effekt des Löschens des Feuers in seiner Anfangsphase oder eine Folge der Baumarten (siehe unten). Es ist offensichtlich, dass dieser Schweregrad des Brandes nicht in erster Linie von der Vegetation und dem Bestandstyp abhängt, auch wenn er teilweise damit korreliert. Dieses Stadium der Verbrennung ist häufig in reifen Buchenbeständen von etwa 60-150 Jahren zu beobachten, aber auch in reifen Kiefernbeständen und in einigen Fällen auch in abgestorbenen Fichtenbeständen ist ein ähnlicher Brand häufig zu finden. Dort waren häufiger höhere Grade der Feuerkraft.



Abb. 19 Geringste Brandschwere in einem ausgewachsenen Buchenwald, wo das Feuer schnell den Waldboden durchquerte und die Basis der Bäume versengte (N 50° 52.509', E 014° 16.947'). In Zukunft sollte in diesen Beständen eine fortgesetzte Entlaubung der Baumkronen geprüft werden, da ein weiteres Absterben der derzeit überlebenden Bäume zu erwarten ist. Im Hintergrund ein stärker gestörter Bestand mit einem höheren Anteil an Fichten.



Abb. 20 Verbrannter Waldbestand aus Waldkiefer mit lokalem Absterben von Individuen (z. B. N 50° 52.594', E 014° 18.465', N 50° 52.429', E 014° 17.331'). Bei der Begehung im November wurde beobachtet, dass die meisten Bäume lebten, wenn deren Basen der Stämme bis zu einer Höhe von etwa 1 m versengt waren. Viele Individuen mit einer Verbrennung von Wurzelstöcken über 1,5 m schienen abgestorben zu sein. Die Sterblichkeit wird im Frühjahr 2023 bestätigt.



Abb. 21 Verbrannte Äste einer überlebenden Rotfichte (N 50° 52.610', E 014° 20.331'). Die Bäume haben versengte Basen, betroffen waren auch die organischen Horizonte der Bodenoberfläche, über die sich das Feuer ausgebreitet hat.

Höhere Brandschweregrade wurden in Nadelwäldern häufiger erreicht als in Laubwäldern und insbesondere in Wäldern, die vor dem Brand aufgrund der Borkenkäfergradation abgestorben waren. In Buchenwäldern, mit Ausnahme von Jungwuchs, sind keine massiven Kronenbrände beobachtet wurden, bei denen das Feuer auf den ganzen Stamm übergang, wohingegen bei abgestorbenen Fichtenbeständen in besonderen topografischen und geografischen Lagen (z. B.: in wenig gelöschten Klammern) dieses Verbrennungsstadium eher die Regel war. Ursprünglich handelte es sich dabei um 60-90 Jahre alte Fichtenbestände, die nach 2018 vom Fichtenborkenkäfer und in geringerem Maße auch von anderen Borkenkäfern befallen wurden. Diese Wälder wurden einst durch traditionelle forstwirtschaftliche Vorgehensweise geschaffen, zu einer Zeit, als es sich überwiegend um Wirtschaftswälder und nicht um einen Nationalpark handelte. Bei der höchsten Verbrennungsintensität blieben von dem stehenden Trockenbäumen nur verkohlte Stümpfe übrig.



Abb. 22 Maximale Brandschwere, die in einem Bestand abgestorbener Fichten nach der Verbreitung des Borkenkäfers in einem Tal erreicht wird (z. B. N 50° 52.943', E 014° 17. 370', N 50° 53.008', E 014° 16. 396').

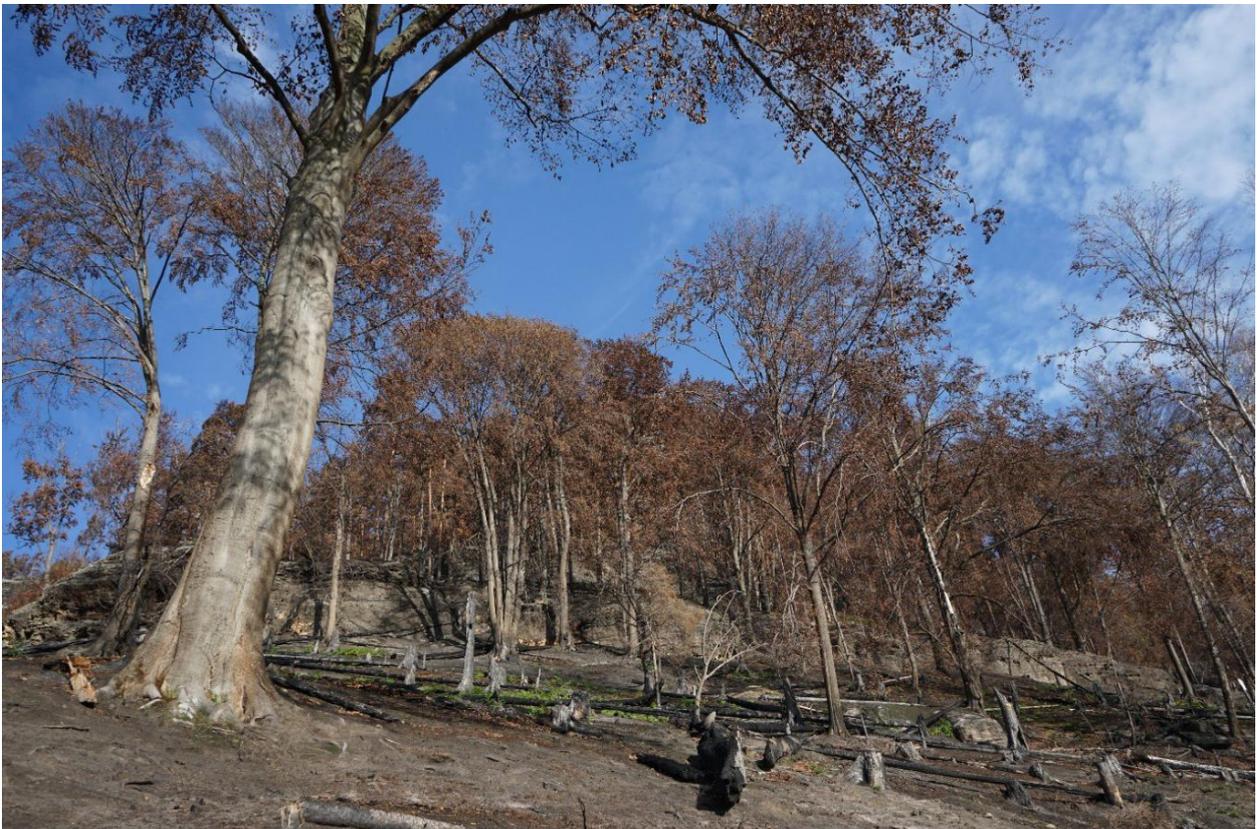


Abb. 23 Buchenwald auf felsigem Untergrund, durch den das Feuer zog (N 50° 52.972', E 014° 18.001'). Die Hitze verbrannte die Kronen aller Bäume, die Borke der Bäume brannte nur sehr sporadisch. Die organischen Horizonte an der Bodenoberfläche waren stark betroffen, aber nicht global. Für das

kommende Jahr rechnen wir mit einer weiteren Entlaubung und Mortalität. Bei mäßiger Brandintensität breitete sich das Feuer auf den stehenden Baumstämmen in unterschiedlichen Höhen aus und erzeugte ein abwechslungsreiches Brandmosaik von unberührten bis zu völlig verbrannten Stellen, mit erheblichem lokalem Massenverlust, kubischer Struktur und Rissen. Dieses Stadium war bei abgestorbenen Fichtenbeständen üblich, aber an einigen Stellen waren auch Kiefernbestände (die im Allgemeinen weniger intensiv brannten) ähnlich betroffen.



Abb. 24 Mosaikbrand an stehenden Fichtenstämmen, die durch den Borkenkäfer abgestorben sind (z. B. N 50° 52.876', E 014° 17.300', N 50° 52.511', E 014° 19.960').

Laubbäume, gemischter Jungwuchs und Bäume mit abgestorbenen Ästen wurden in der Regel an der Basis angesengt, während sich das Feuer über die Bodenoberfläche verbreitete. Vor allem in der Nähe von brennenden toten Fichtenbeständen kam es aber auch zu einer vollständigen Versengung der Bäume bis in die Wipfel (die Bäume brannten meist nicht vollständig ab). Einige der jungen Bäume sind im November 2022 bereits vollständig abgestorben, andernorts überleben noch einzelne Bäume. In diesen Fällen rechnen wir jedoch mit fortgesetzter Entlaubung und dem Absterben eines erheblichen Teils der derzeit überlebenden Bäume in den Frühjahrsmonaten 2023.



Abb. 25 Vollständig verbranntes junges Laubgehölz, noch mit Schutz gegen Wildverbiss. Es kann von einer 100%igen Sterblichkeit der Bäume ausgegangen werden (z.B. N 50° 52.558', E 014° 18.358')



Abb. 26 Verkohlter Niederwald, der hauptsächlich aus Birke und Buche besteht (N 50° 52,635', E 014° 17,591'). Für das Jahr 2023 sagen wir eine Sterblichkeit von nahezu 100 % voraus.

Die Lichtungen wurden durch das Feuer erstaunlich stark in Mitleidenschaft gezogen, obwohl sie "gerodet" waren, d. h. ohne stehende und liegende Baumstämme und Holzabfälle. Das Feuer breitete sich schnell durch die Grasvegetation und über die Oberfläche der Waldstreu aus. Die Baumstümpfe waren hochentzündliche Stellen mit einem großen Volumen an "Brennstoff" und fungierten daher oft als eine Art Brandherd (siehe lokale Variabilität).



Abb. 27 Das Feuer breitete sich auch auf Lichtungen ohne Baumstämme und Holzreste schnell aus (z. B. N 50° 52.778', E 014° 18.274').

In den Hängen breitete sich das Feuer sehr schnell entlang der Stämme und in die Baumkronen aus und überwand auf diese Weise beträchtliche Höhenunterschiede von mehreren dutzend Metern. Selbst die unzugänglichen Kiefernbestände zwischen den Felsen wurden verbrannt, und das Feuer breitete sich über diese in einigen Fällen bis zu den Gipfeln aus.



Abb. 28 An einigen Stellen erreichte das Feuer selbst die oberen Teile der Felsen, an anderen Stellen (mit unterschiedlichen Windströmungen, Vegetationsstruktur usw.) erreichte es die höheren Teile nicht (N 50° 52.829', E 014° 17.693')

Stark durchnässte Flächen waren teilweise vor Feuer geschützt. Aber auch hier gab es eine inselartige Verbrennung von liegenden Baumstämmen und -stümpfen.



Abb. 29 Der wassergesättigte Boden der Schlucht blockierte schwach den Brand. Das Feuer breitete sich hier inselartig aus, aber auch hier war oft ein bedeutender Teil des Ökosystems betroffen. Es ist mit einer raschen Regeneration des Ökosystems zu rechnen (z. B. N 50° 52.528', E 014° 17.878', N 50° 52.588', E 014° 20.150').

### Die Rolle der Topographie

Die Topografie war während des Brandes aus mehreren Gründen wichtig:

- 1) Das schwierige Gelände schränkte die Möglichkeiten der Feuerwehrleute ein den Brandherd zu erreichen, was sich vielerorts indirekt auf die Dauer des Brandes auswirkte, was wiederum den Schweregrad des Brandes beeinflusste.
- 2) In Kombination mit starkem Wind ermöglichte die Topografie auf den Hochebenen, in natürlichen Einschnitten und an geeigneten Hängen, die schnelle Ausbreitung des Feuers. In einigen Schluchten hingegen verlangsamte sich die Windströmung, was in Verbindung mit dem Ausbleiben von Löscharbeiten zu einer Vergrößerung der Kraft des Feuers führte.
- 3) In den Schluchten konnte es zu einem Kamineffekt gekommen sein, der zu einer intensiven Verbrennung der Vegetation am Boden der Schluchten und zu einem starken Anstieg der heißen Luft führte, welche die Kronen des höher gelegenen Bewuchses in Brand setzte und das Feuer möglicherweise in diese Richtung weiter ausbreitete.
- 4) Massive Felsformationen bildeten eine natürliche Barriere für die Ausbreitung des Feuers.
- 5) Bestände auf exponierten Standorten mit flachem Boden waren extrem ausgetrocknet und daher empfindlicher gegenüber Bränden. Gleichzeitig wiesen diese Standorte einen höheren Anteil an

Nadelbäumen auf, die empfindlicher auf Feuer reagieren als Laubbäume.

### Mikrotopographie und lokale Verbrennungsvariabilität

Die Geländespuren des Brandes zeigen deutlich, dass die Verbrennung in den Waldbeständen räumlich extrem variabel war. Selbst an den Stellen mit der höchsten Brandschwere, in denen die Brandtemperatur offensichtlich lange Zeit sehr hoch war und ein erheblicher Teil der Dendromasse verloren ging, blieb ein bedeutender Teil des Ökosystems vom Feuer verschont. In der Regel handelte es sich dabei um Horizonte der Humusaufgabe, lokale Senken usw. Dies wird sich sicherlich positiv auf die Geschwindigkeit der Erholung des Ökosystems auswirken. Für die Zukunft ist es wünschenswert, die Lebensfähigkeit der Samenbank im Boden zu bewerten.



Abb. 30 Ein abgestorbener reifer Fichtenwald nach Befall des Borkenkäfers, gestört durch einen Kronenbrand der höchsten Brandschwere (z.B. N 50° 52.719', E 014° 17.581'). Obwohl von den stehenden Bäumen oft nur Stümpfe übrigbleiben, sind die Basen der Bäume weniger verbrannt, und der darüber liegende Humus auf der Bodenoberfläche ist sehr oft erhalten. Man kann auch über die Erhaltung der Samenbank an diesen Orten spekulieren. Ihr Überleben sollte Gegenstand künftiger wissenschaftlicher Forschung sein.



Abb. 31 Massive unverbrannte Humusauflage an der Stelle eines massiven Kronenbrandes. Unter der schwarzen Schicht aus verbranntem organischem Material der Streuschicht und der Humusauflage befindet sich ein vom Feuer unberührter Humifizierungshorizont.

Die mechanische Störung von Böden, die Denudation und die Anhäufung von Material infolge von Verbrennungen, Löschvorgängen und ähnlichen Prozessen bilden ein besonderes Kapitel. Unter den Felsaufschlüssen erschien nach dem Brand oft grauweißer Sand auf der Bodenoberfläche, der farblich den eluvialen E-Horizonten des Podsoles entspricht, der die vorherrschende Bodenart in der Region repräsentiert. Dieser grau-weiße Sand ist in einigen Fällen Ausdruck der Erosion oder der Verbrennung der Humusauflage infolge eines Brandes und des Löschens und so die unteren Mineralhorizonte freilegt. Häufig handelt es sich jedoch um eine post-erosive Anhäufung von Material aus benachbarten Aufschlüssen. Unter dem angehäuften Material ist verbrannte Humusauflage zu sehen und noch weiter unten Humusauflage, die nicht vom Feuer betroffen ist. Möglicherweise hat hier ein Teil der Samenbank überlebt. Erosion und Akkumulation infolge von Bränden sollten wissenschaftlich quantifiziert werden, ebenso wie ihre Auswirkungen auf die Bodenentwicklung.



Abb. 32 Die Anhäufung von Mineralsand unter den Felsaufschlüssen verschüttete verbrannte und unverbrannte organische Bodenhorizonte (z. B. N 50° 52.837', E 014° 18.107').



Abb. 33 Anhäufung von Material am Fuß eines Hangs aufgrund intensiver Brandbekämpfung.

Das Brennen und Löschen hatte auch Auswirkungen auf die natürliche Bodenstörung durch biomechanische Effekte der Bäume, z. B. die Entwurzelung von Sturmholz. Die Entwurzelung von Sturmholz ist ein gewöhnlicher Bestandteil der Dynamik von natürlichen Wäldern in gemäßigten Zonen. Im Sandsteingebiet ist dies eine geringfügige, aber bedeutende Form des Baumsterbens. Eine Begehung der Brandstelle zeigte, dass nur sehr wenige Bäume in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Brand entwurzelt wurden, die meisten wurden noch kurz vor dem Brand entwurzelt. In diesen Fällen ist typisch die Verkohlung der entwurzelt Stämme nur bis zum Rand des mineralischen Bodens, der sie teilweise bedeckt. Der Großbrand hat auf jedem Fall das Störungsregime der Böden und ihren Entwicklungspfad gestört. In Zukunft wird es wünschenswert sein, die Entwicklung der Böden und die Biomechanik und Zersetzung verkohlter Baumstümpfe zu beobachten (ob sie entwurzeln oder sich ohne weitere mechanische Beeinträchtigung der Böden zersetzen).



Abb. 34 Verkohlte, entwurzelte Stämme. Die Entwurzelungen fanden vor dem Brand statt (die Stämme sind nur bis zu den Stellen verkohlt, an denen sie von Mineralboden bedeckt sind). Die Entwurzelungen sind eine Quelle lokaler Komplexität des Bodens, organisches Material sammelt sich in Baumgruben an, entwurzelte Stämme erfüllen eine bioprotektive Funktion usw. (N 50° 52.493', E 014° 16.246')

In Waldkomplexen können einzelne Baumstämme als eine Art lokales Brandzentrum bezeichnet werden. Die Stämme stehender und liegender Bäume lieferten dem Feuer im Vergleich zu anderen Teilen des Ökosystems eine außergewöhnlich hohe Menge an besonders brennbarem Material. Am wenigsten empfindlich waren in dieser Hinsicht die Stämme von Waldbuchen und einigen anderen Laubbäumen, am empfindlichsten dagegen die abgestorbenen Fichten. In lebenden Wäldern konzentrierte sich das Feuer daher in der Regel auf die Basis von abgestorbenen Fichten, gefolgt von lebenden Kiefern und am wenigsten von Laubbäumen. Das Feuer breitete sich auch sehr leicht über Lichtungen aus; Baumstümpfe und Dickichte dienten als Brennpunkte, die durch das Feuer mit organischen Bodenhorizonten, Grasvegetation und stellenweise auch Baumbewuchs verbunden waren. Das Feuer breitete sich geringfügig über die Wurzeln der Bäume aus.



Abb. 35 In lebenden Beständen bildeten tote Bäume, Basen der Fichten und Kiefern, Stümpfe usw. die Brennpunkte (z. B. N 50° 53.157', E 014° 15.210')

Liegende Stämme auf den Hochebenen und Talsohlen mit intensiver Verbrennung wirkten ebenfalls als Brennpunkte, so dass in ihrer unmittelbaren Nähe die darüber liegenden Bodenhorizonte vollständig bis auf die Mineralböden abgebrannt sind. Es ist davon auszugehen, dass auch die ursprüngliche lokale Samenbank an diesen Orten vollständig zerstört wurde. In fast allen besuchten Beständen ist sie jedoch in einem gewissen Umfang erhalten geblieben (ihre Lebensfähigkeit muss überprüft werden, siehe unten).



Abb. 36 In unmittelbarer Nähe von liegenden Baumstämmen wurde der darüber liegende Humus bis auf den Mineralboden abgebrannt (z. B. N 50° 52.943', E 014° 17.370'). Es ist davon auszugehen, dass an diesen Stellen die Samenbank durch Feuer oder Hitze lokal vollständig zerstört wurde, die eine schnelle Regeneration des Waldes ermöglicht hätte. Nur wenige Dezimeter oder Meter weiter war die Humusaufgabe an der Bodenoberfläche jedoch intakt und es ist anzunehmen, dass dort noch lebende Samen von Gefäßpflanzen vorhanden sind.



Abb. 37 An den Hängen hatten die entlang der Höhenlinien liegenden Baumstämme eine bioprotektive Funktion. Sie blockierten die Erosion von hauptsächlich organischem, teilweise aber auch mineralischem Material (z. B. N 50° 52.972', E 014° 18.001').



Abb. 38 Die Basen der Felsen sind häufig durch Verbrennung und Löschung beschädigt (das Vorhandensein von Asche auf der Oberfläche der Felsen und von verbranntem Material unter den liegenden Steinen lässt auf ihr Alter und einen direkten Zusammenhang mit dem Feuer schließen, z. B. N 50° 52.988', E 014° 18.057').

## Waldregenerierung

Anhand der Erhaltung der obersten Bodenhorizonte kann auf den Störungsgrad der Samenbank im Boden geschlossen werden (die Lebensfähigkeit der Samenbank muss jedoch wissenschaftlich untersucht werden, es wird notwendig sein, den Regenerationsprozess von Gefäßpflanzen, insbesondere von Gehölzen wissenschaftlich zu bewerten. Dies muss im Kontext der Verbreitung von Samen und der Prädation geschehen. Aus der Feldbegehung lässt sich schließen, dass die Samenbank an einigen Stellen stark gestört wurde und nicht erhalten geblieben ist. Gleichzeitig hat jedoch die hohe lokale Variabilität der Brände in dem Gebiet dazu geführt, dass wahrscheinlich ein Teil der Samenbank überlebt hat, selbst in Beständen mit den intensivsten Kronenbränden. Auf einer Skala von Metern hat dies zu einem lokal sehr unterschiedlichen Muster der Verbrennung/Erhaltung der darüber liegenden Humushorizonte geführt. Auf einer größeren Skala des Bewuchses ist immer ein Teil der Auflagehorizonte und vielleicht auch der Samenbank erhalten geblieben. Standorte mit einer überlebenden, lebensfähigen Samenbank können Regenerationszentren für neuen Wald bilden. Bereits im November 2022 verjüngen sich neben Gräsern und Adlerfarn auch Weißbirken. Es ist davon auszugehen, dass r-Strategen schnell folgen werden (z.B. Espe, Salweide, etc.). Das Thema erfordert bereits im Frühjahr vor 2023 detaillierte Untersuchungen.

Bei der Ortsbegehung wurden keine Hinweise auf tote Wirbeltiere gefunden, die auf den Brand zurückzuführen sind. Die meisten Individuen konnten sich offenbar vor dem Feuer retten, aber das Thema sollte dennoch Beachtung finden.

## Schlussfolgerungen

- Das Feuer durchzog alle vorhandenen Vegetationstypen.
- Die größte Brandschwere bestand in alten Fichtenwäldern, welche in Folge der jüngsten Gradation des Fichtenborkenkäfers abgestorben waren, die niedrigste Brandschwere wurde in alten Buchenwäldern erreicht. Intensiv brannten auch die Lichtungen.
- Der Brand war auf allen räumlichen Ebenen sehr unterschiedlich. Wesentliche Quellen der Variabilität waren einzelne Stämme auf lokaler Ebene sowie Vegetationstypen und Topografie auf Landschaftsebene.
- Lokal kam es als Folge des Brandes und seines Löschens zu einmaligen Erosionsereignissen, die sich auf die lokale Bodenentwicklung auswirkten. Langfristig hat sich das Störungsregime jedoch verschoben.
- Lineare Merkmale wie Straßen, Lichtungen usw. können die Ausbreitung eines Feuers erheblich verlangsamen, aber sie können es nicht vollständig aufhalten, selbst wenn es mehrere Dutzend Meter breit ist. Die Bedeutung dieser Elemente für die Zukunft sollte rational im Hinblick auf ihre realistischen Fähigkeiten zur Brandbegrenzung ausgewertet werden.
- Der Brand stellt eine einmalige Störung spezifischer Waldökosysteme von Sandsteinfelsenstädten dar. Einige Arten (vor allem die Kiefern) konnten mit verkohlten Basen von Stämmen überleben und werden wahrscheinlich in Zukunft von diesem Ereignis profitieren. Daher können wir von ihrer Anpassung an ein bestimmtes Störungsregime sprechen. Andere Baumarten (insbesondere *Fagus sylvatica*) litten allein durch die Hitze in der Nähe des Feuers stark. Auch auf der Grundlage der Langzeitforschung zur Waldregeneration nach dem Brand in Havraní skala bei Jetřichovice (Rabensteine bei Dittersbach) in den Jahren 2006-2022 durch das OEL VÚKOZ-Team (Forschungsinstitut Silva Tarouca für Landwirtschaft und Gartenbau) (z. B. Trochta et al. 2012) kann davon ausgegangen werden, dass die Entlaubung und die Mortalität von Laubbäumen, insbesondere der Buche, auch im Jahr 2023 anhalten werden.
- In allen Vegetations- und Bestandstypen und bei allen erreichten Brandschweregraden verblieb ein signifikanter Anteil an Humusaufgabe im Ökosystem, der nicht direkt vom Feuer betroffen war. Es

ist sehr wahrscheinlich, dass ein Teil der Samenbank für die spätere Regeneration des Waldes erhalten geblieben ist. Neben der Entwicklung von Kräutern und Gräsern ist in den kommenden Jahren mit einer raschen Verjüngung des Waldes zu rechnen, insbesondere mit Birke, Espe, Weide und Waldkiefer.

## Forschungsthemen

Um solide und wirklich kausale wissenschaftliche Beweise zu erbringen, wird mehr Zeit für die Planung des Experiments, die Sammlung, Analyse und Bewertung der Daten benötigt. Daher definieren wir an dieser Stelle die wichtigsten Themen, die im Zusammenhang mit dem Brand geklärt werden sollten, um das Potenzial des Ereignisses für ein maximales Verständnis und die Umsetzung in künftigen Prozessen voll auszuschöpfen.

- **Ansammlung von Daten über die Stärke und das Ausmaß des Brandes in verschiedenen Komponenten des Ökosystems.** Durch die gemeinsamen Bemühungen der Mitarbeiter der NP-Verwaltung Böhmisches Schiefer, VÚKOZ (Forschungsinstitut Silva Tarouca für Landwirtschaft und Gartenbau) und ČZU (Tschechische Agraruniversität, Prag) (auch mit Unterstützung dieser Arbeitsgruppe) wurde eine Methodik zur Erfassung der Schwere von Bränden und des Ausmaßes der von Bränden und Erosion betroffenen Ökosystemkomponenten, einschließlich der Böden, entwickelt. Die Methodik wird ab November 2022 im Terrain auf 500m<sup>2</sup> großen Flächen<sup>in einem</sup> 100 x 100 m großen Raster (insgesamt etwa 1200 Parzellen) und zwar in allen verbrannten Beständen angewendet. Das Ergebnis soll die Grundlage für weitere Studien zur Waldregeneration, zur Quantifizierung von Erosionsprozessen usw. bilden.
- **Nachweis des Biomassevolumens (bzw. C),** die bei dem Brand verbrannt wurde, gegenüber der Biomasse, die unverbrannt im Ökosystem verblieb. Auf Grundlage der vorhandenen Daten über das Auftreten von Bränden, die Trockenheit, die Baumdominanz im Wald, das Bestandsalter, die Hangneigung und die Lage der Inventurflächen wurde eine Gruppe wurde eine shp-Datei mit einem vorgeschlagenen Satz von Parzellen erstellt. Auf denen in 3-4 Wiederholungen das Volumen der verbrannten/unverbrannten Biomasse im Bezug zu anderen Waldmerkmalen ermittelt werden konnte. Die oberirdische Biomasse sollte durch eine Kombination aus bodengestützter Ermittlung (TLS - bodengestütztes Laserscanning, dendrometrische Datenerfassung mit FieldMap-Technologie usw.) und luftgestütztem Laserscanning bewertet werden. Die unterirdische Biomasse sollte in so genannten Kopecky-Walzen beprobt und durch stufenweise Verbrennung oder Spektrometrie analysiert werden. Dadurch würde das Volumen von frischem versus pyrogenem C (Kohlenstoff) bestimmt. Das Thema wird dazu beitragen, die Stärke der Verbrennung zu bewerten und hat auch Auswirkungen auf die Forschung zur Bodenentwicklung und zum Kohlenstoffkreislauf.
- **Regeneration der Vegetation an der Brandstelle.** Die Forschung sollte eine Analyse der Struktur und Lebensfähigkeit der Samenbank im Boden umfassen, die das Feuer überlebt hat. Gleichzeitig sollte das Angebot an neuem Saatgut (wörtlich: Saatgutfallen) bewertet und der Prozess der Etablierung von Sämlingen der holzigen und krautigen Vegetation überwacht werden. Es erscheint sinnvoll, die Prädation von Samen in die Versuchsplanung einzubeziehen. Das vorgeschlagene Netz von Flächen sollte den Vegetationstyp, die Erosions- bzw. Akkumulationsbedingungen in dem Gebiet, die Schwere des Brandes und die Entfernung zum Rand des Brandgebietes berücksichtigen. Es sollte sich um eine langfristige Überwachung der Entwicklung handeln, die zu einem tiefen Verständnis der Regeneration dieses spezifischen Ökosystems führen wird.
- **Auswirkungen von Bränden auf die Biodiversität.** Über alle Brandflächen und taxonomische

Gruppen von Organismen (mit Ausnahme der oben genannten Gefäßpflanzen, insbesondere Pilze, Insekten, Moose, Weichtiere und Vögel) sollte die Struktur von Populationen und Gemeinschaften im Laufe der Zeit bewertet werden.

- **Auswirkungen des Feuers auf Erosions- und Sedimentationsprozesse und die Bodenentwicklung.** Als Folge des Brandes und der Brandbekämpfung gab es ein einziges lokales Erosionsereignis, das quantifiziert werden sollte (auch unter Verwendung der Daten der Studie zur Schwere und Ausdehnung des Brandes, siehe oben). Gleichzeitig verschiebt sich sprunghaft das Störungsregime in dem Gebiet und die C-Besetzung der Ökosystemkomponenten. Eben C katalysiert bis zu einem gewissen Maß die Podsolierungsprozesse in Böden (Schaetzl und Thompson 2015), welche die regional vorherrschende Trajektorie der Bodenentwicklung darstellen. Die Entfernung von C von der Bodenoberfläche während der Verbrennung kann zu einer Verringerung der Konzentration organischer Säuren im Oberboden führen, wodurch der Podsolierungsprozess verlangsamt wird. Ein Netz von Forschungsstandorten, die sich auf die Quantifizierung der Denudation und auf die Bodenchemie konzentrieren, könnte zur Klärung dieser Frage beitragen.
- **Pädoanthrakologische Analyse des postglazialen Störungsregims spezifischer Ökosystemen.** Obwohl das Störungsregime von Waldökosystemen in zerklüfteten, von Kiefern dominierten Sandsteingebieten bereits gut bekannt ist (z. B. Adámek et al. 2015, 2016), ist immer noch wenig über die räumlichen Muster früherer Störungen und ihre Beziehung zur Topografie des Geländes bekannt. Für ein tieferes Verständnis der Problematik ist ein dichteres Netz von pädoanthrakologischen Sonden mit ausreichender unabhängiger <sup>14</sup>C-Datierung erforderlich.

## Literatur

Adámek M, Bobek P, Hadincová V et al. 2015. Forest fires within a temperate landscape: a decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. *Forest Ecology and Management* 336: 81–90.

Adámek M, Hadincová V, Wild J. 2016. Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: vegetation dynamics and ecosystem resilience. *Forest Ecology and Management* 380: 285–295.

Bobek P., Svobodová-Svitavská H., Pokorný P., Šamonil P., Kuneš P., Kozáková R., Abraham V., Klinerová T., Švarcová M. G., Jamrichová E., Krauseová E., Wild J. 2019. Divergent fire history trajectories in Central European temperate forests revealed a pronounced influence of broadleaved trees on fire dynamics. *Quaternary Science Reviews* 222: 105865.

Jabiol B., Zanella A., Ponge J.F., Sartori G., Englisch M., van Delft B., de Waal R., Le Bayon R.C., 2013. A proposal for including humus forms in the world reference base for soil resource (WRB-FAO). *Geoderma* 192, 286–294.

Keeley J.E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18, 16–126.

Trochta J., Král K., Šamonil P., 2012. Effects of wildfire on a pine stand in the Bohemian Switzerland National Park. *Journal of Forest Science* 58, 299–307.

## 5. Meteorologisch-klimatische Bedingungen der Brandentstehung

*Pavel Zahradníček, Petr Štěpánek, Martin Možný*

### Klimatologisch-meteorologische Ausgangssituation

Auf der Grundlage meteorologischer Daten wurden die durchschnittliche jährliche Lufttemperatur, die durchschnittliche Lufttemperatur in der Vegetationsperiode (April bis September), der Jahresniederschlag und der Niederschlag in der Vegetationsperiode für den Zeitraum 1961-2021 (d. h. 61 Jahre) ausgewertet. Abbildung 39-42 zeigt die Ergebnisse der Stationen Sněžník (Hoher Schneeberg) und Děčín (Tetschen). Alle ausgewählten Stationen zeigen einen steigenden Trend bei den Lufttemperaturen. Im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 ist im Zeitraum 1991-2021 ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1 bis 1,2 °C zu verzeichnen (Abbildung 39). Die Durchschnittstemperatur von April bis September stieg im Vergleich zum vorangegangenen Zeitraum um 1,1 bis 1,5 °C (Abb. 40). Die jährlichen und saisonalen Niederschlagsreihen an den Stationen weisen keine signifikanten langfristigen Trends auf. Der Trend zu abnehmenden Niederschlägen ist in den letzten Jahren an beiden Stationen zu beobachten (Abb. 41 und 42). Der Unterschied zwischen den durchschnittlichen jährlichen und den April-September-Niederschlagssummen für 1961-1990 und 1991-2021 war nicht signifikant. Eine Ausnahme bildet der April-September-Niederschlag in Sněžník (Hoher Schneeberg), wo der Niederschlag im Vergleich zum vorherigen Zeitraum um 37 mm abnahm (Abbildung 42).

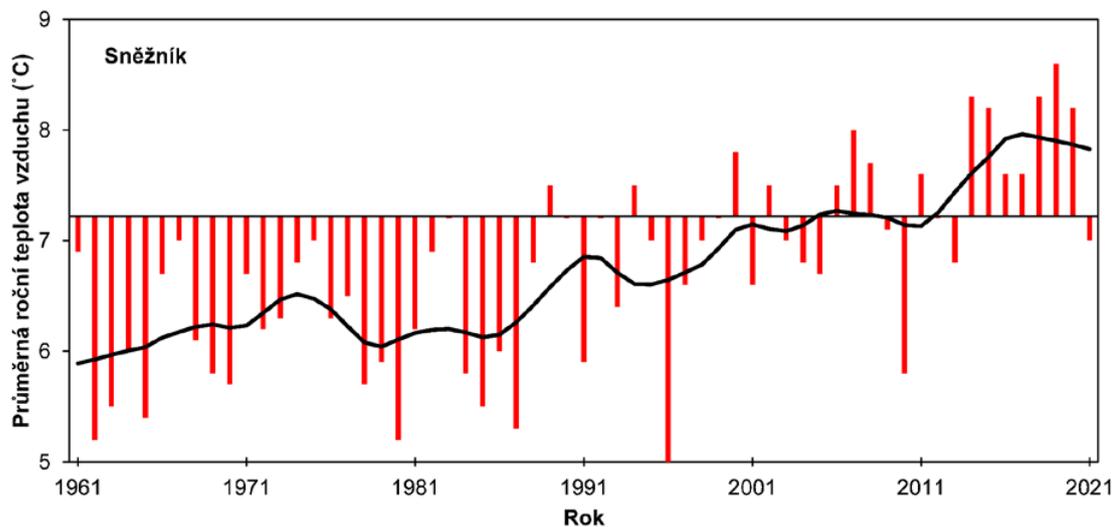
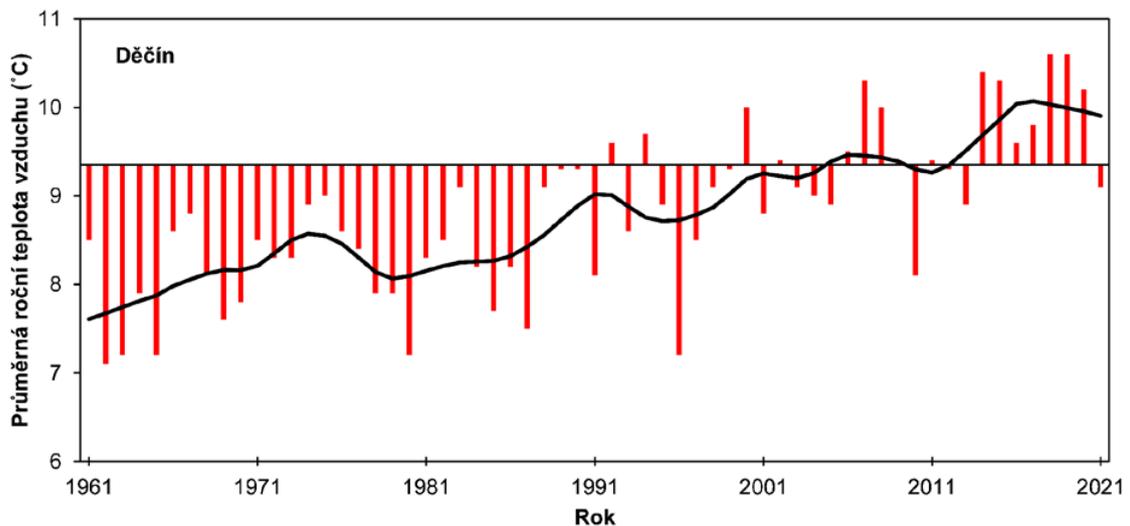


Abb. 39 Veränderung der jährlichen mittleren Lufttemperatur, ausgedrückt in Abweichungen vom Normalwert 1991 bis 2020 an den Stationen von Děčín (Tetschen) Sněžník (Hoher Schneeberg). Gauß-Filter geglättet für 10 Jahre.

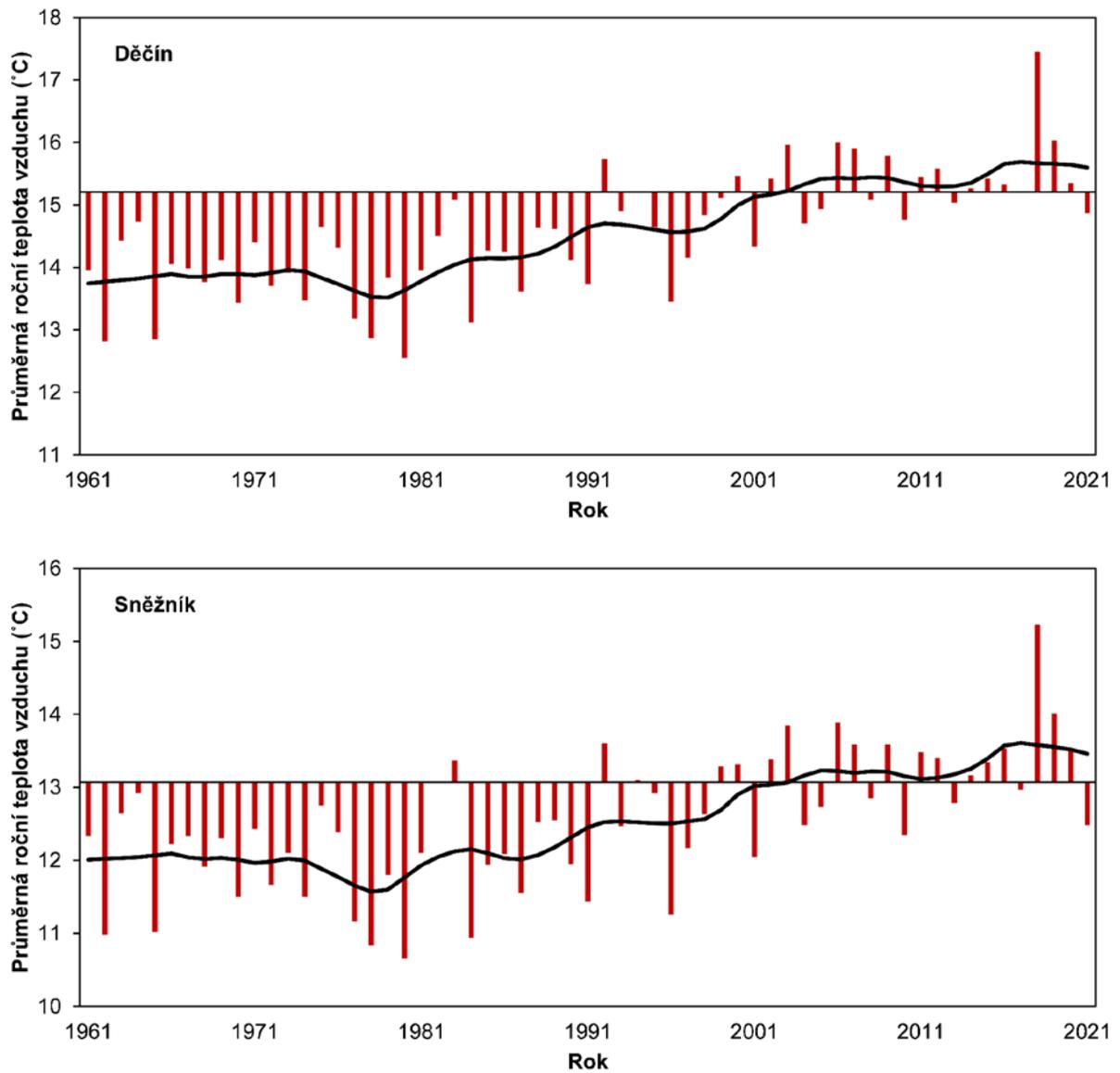


Abb. 40 Veränderung der durchschnittlichen Lufttemperatur für April bis September, ausgedrückt in Abweichungen vom Normalwert 1991 bis 2020 an den Stationen Děčín (Tetschen) und Sněžník (Hoher Schneeberg). Gauß-Filter geglättet für 10 Jahre.

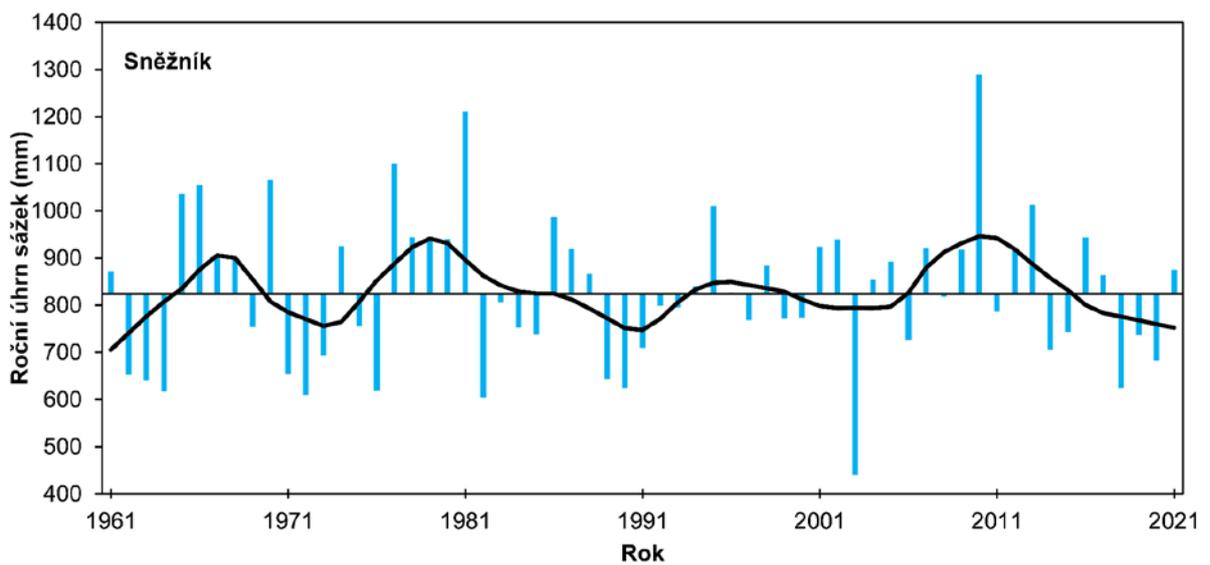
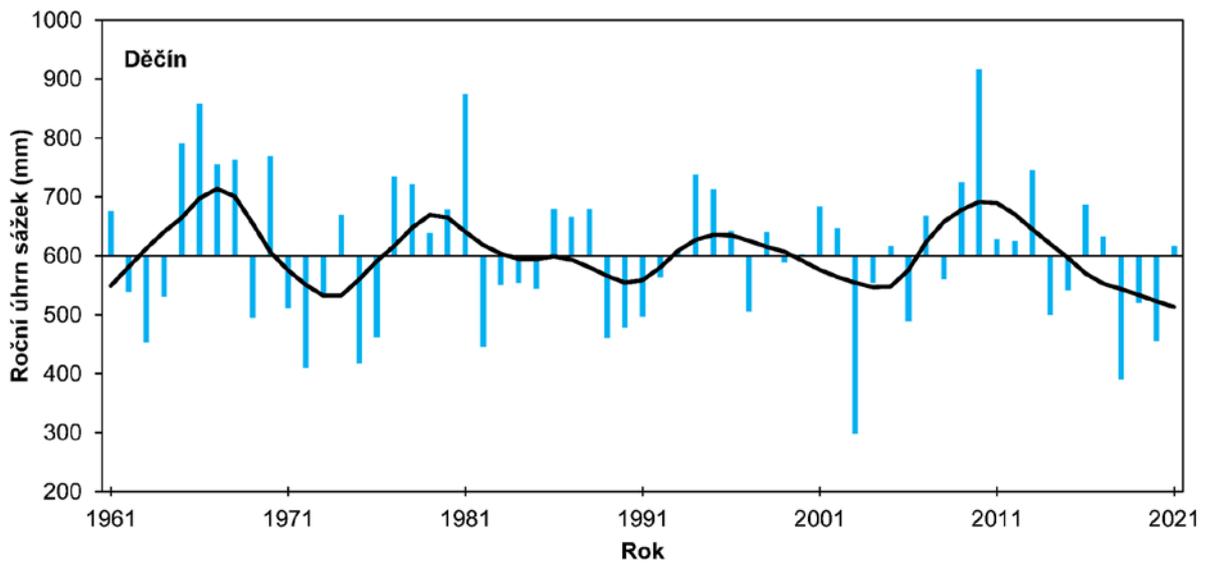


Abb. 41 Veränderung des Jahresniederschlags, ausgedrückt in Abweichungen vom Normalwert 1991 bis 2020 an den Stationen Děčín (Tetschen) und Sněžník (Hoher Schneeberg). Gauß-Filter geglättet für 10 Jahre.

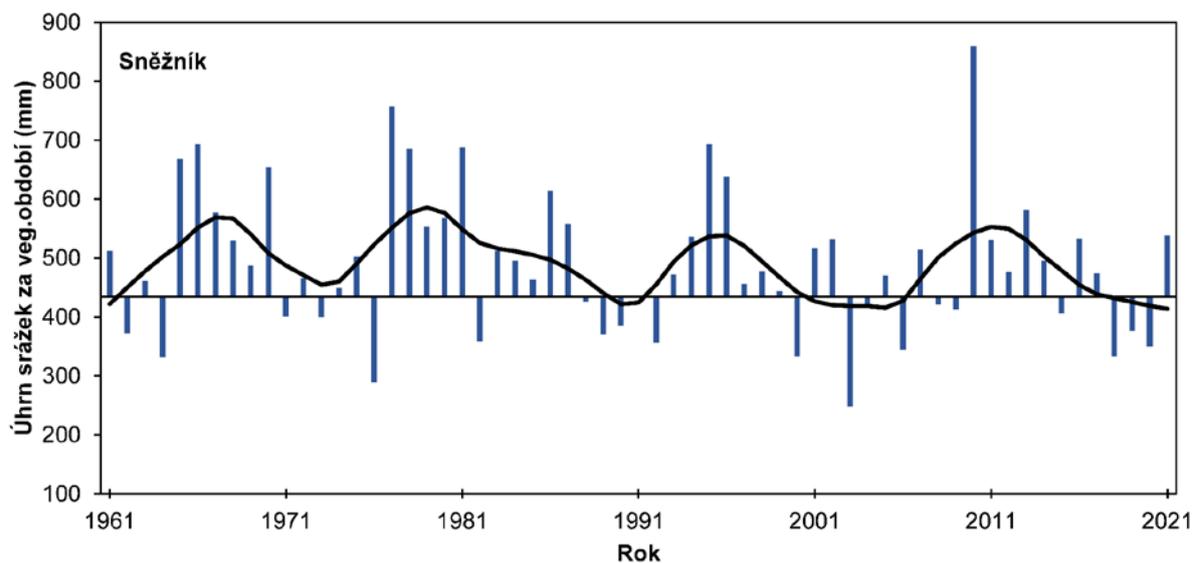
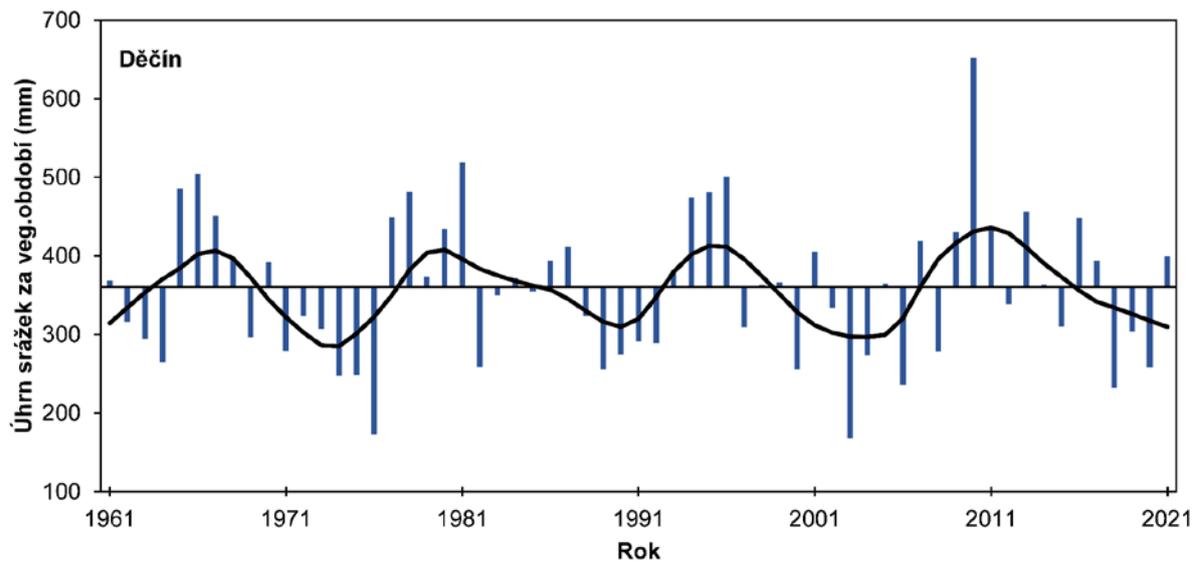


Abb. 42 Veränderung der April-September-Niederschlagssummen, ausgedrückt in Abweichungen vom Normalwert 1991 bis 2020 an den Stationen Děčín (Tetschen) und Sněžník (Hoher Schneeberg). Gauß-Filter geglättet für 10 Jahre.

Die langfristige Trockenheit wurde anhand der Indizes SPEI-6 und SPEI-24 ausgewertet; die Ergebnisse aus den ausgewählten Stationen sind in Abb. 43 dargestellt. Laut SPEI-24 herrscht in Decin (Tetschen) und Sněžník (Hoher Schneeberg) seit Mai 2018 eine ununterbrochene Dürre, die zudem auf die Dürre von Dezember 2014 bis Juni 2017 folgt. Nach Angaben der SPEI-6 war die Dürre im August 2022 auf dem Sneznik (Hoher Schneeberg) die intensivste der letzten 60 Jahre.

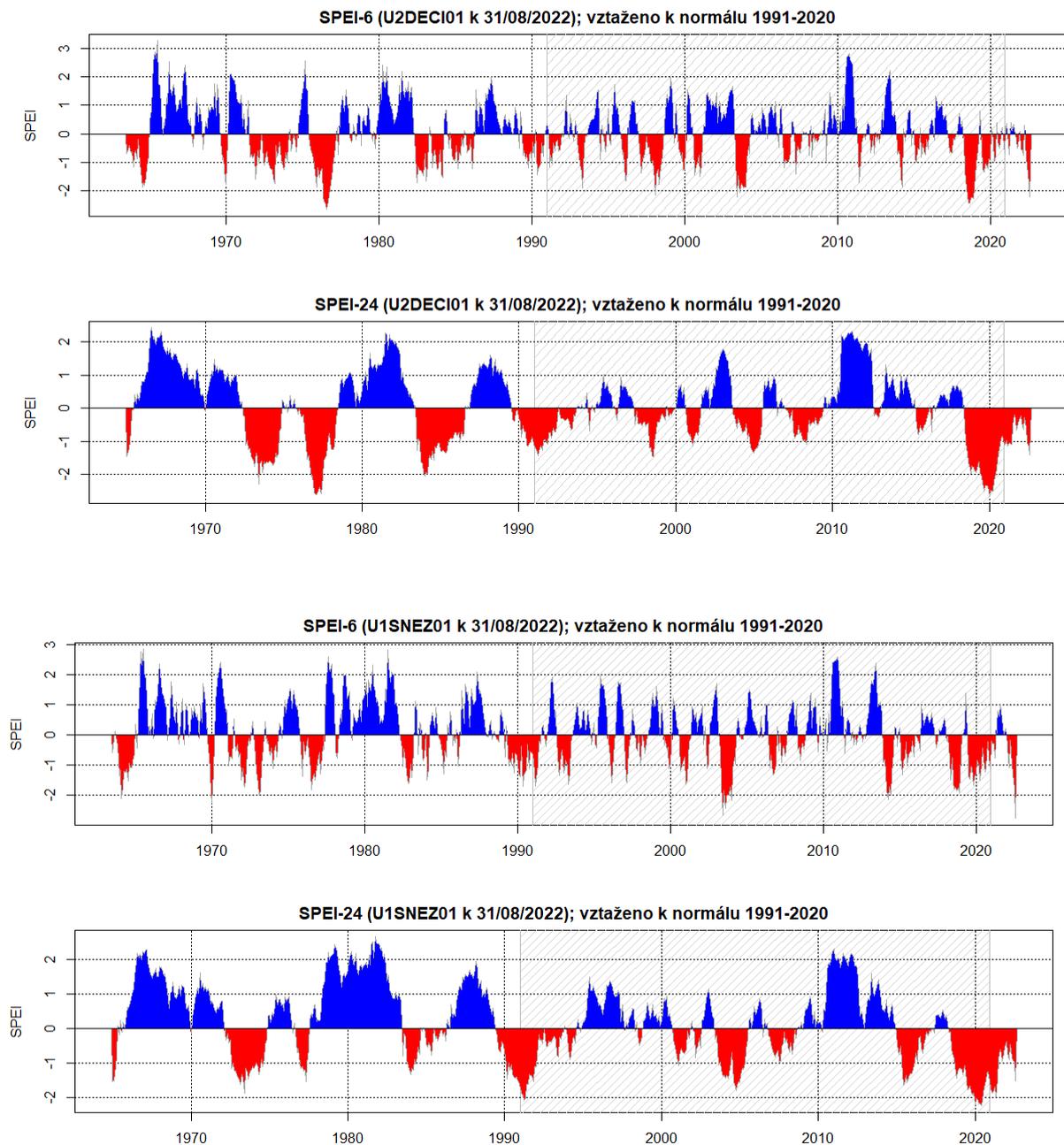


Abb. 43 Veränderung der Indizes SPEI-6 und SPEI-24 an den Stationen Děčín (Tetschen) und Sněžník (Hoher Schneeberg) über die letzten 60 Jahre.

In der Tschechischen Republik war der Sommer (Juni-August) überdurchschnittlich warm. Die höchste Abweichung war im Juni zu verzeichnen, während der Juli als temperaturnormal eingestuft wurde. Im August waren die Lufttemperaturen erneut überdurchschnittlich hoch. In der Region Ústí nad Labem (Aussig) wich die durchschnittliche Lufttemperatur nach Angaben des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts im Juli um  $+0,4\text{ °C}$  und im August um  $1,7\text{ °C}$  vom langjährigen Durchschnitt 1991-2020 ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Lufttemperatur bereits mit der neuen Norm 1991-2020 verglichen wurde, die erheblich vom Klimawandel betroffen ist und in den Jahreswerten etwa  $1,1\text{ °C}$  wärmer ist als die alte Norm 1961-1990. Da die Lufttemperaturen in den Sommermonaten am stärksten anstiegen, war der Sommer 2022 deutlich wärmer, als es auf den ersten Blick im Vergleich zur neuen Normalität erscheinen mag. Insgesamt war der Sommer 2022 in der Region Ústí nad Labem

(Aussig) um 2,7 °C wärmer als im langjährigen Mittel 1961-2000. Landesweit war der Sommer 2022 der sechstheißeste seit 1961. Die maximalen Lufttemperaturen sind besonders wichtig für das Brandrisiko (Abb. 44a). Die durchschnittlichen maximalen Lufttemperaturen im Juli-August zwischen 1991 und 2020 lagen im Untersuchungsgebiet bei 25,3 °C. Im Juli-August 2022 waren die Temperaturen um 1,3 °C höher (26,6 °C). Die Höchsttemperaturen lagen im Juli um 0,8 °C und im August um 1,9 °C über dem Normalwert. Insgesamt waren 39 Tage mit einer überdurchschnittlichen Temperatur (62,9 %), wovon 19 Tage auf den Juli entfielen. Vor dem Brand (1. bis 23. Juli 2022) gab es insgesamt 14 Tage, an denen die maximale Lufttemperatur über dem Normalwert lag. Eine kühlere Episode herrschte vom 6. bis 11. Juli 2022, mit Höchsttemperaturen von nur 17-22 °C, bis zu 6 °C unter dem langjährigen Durchschnitt. Die nächste kühlere, aber deutlich mildere Episode war vom 15. bis 17. Juli 2022. Dann kam es zu einer starken Erwärmung mit Höchstwerten von über 30 °C oder sogar 35 °C, was bis zu 9 °C über dem Tagesnormalwert von 1991-2020 lag. Die Maxima über 30 °C, die schon ein mittelhohes Brandrisiko bedeuten, lagen meist am 19. bis 22. Juli 2022, danach am 25. Juli 2022 und dann erst im August. Die Lufttemperaturen vor und am Tag des Brandentstehens lagen im Bereich von 25-29 °C und stellten ein mittleres Risiko dar.

Die Temperaturverhältnisse nach der Brandentstehung sind in Abb. 45a dargestellt. Dabei handelt es sich um stündliche Daten, die die Höchst- und Tiefstwerte zu einer bestimmten Stunde an fünf unterschiedlich ausgewählten Punkten im Gebiet des NP zeigen (die Werte können leicht von denen des Langzeitvergleichs abweichen). Zu Beginn des Brandes steigen die Lufttemperaturen rasch an und am 25.7.2022 besteht ein mittelhohes Risiko, als die Temperaturen zwischen 12 und 18 Uhr über der Grenze von 30 °C lagen und auch die Nachttemperaturen hoch waren (20 °C) und die Landschaft nicht so gut abkühlte wie in den vorangegangenen oder folgenden Nächten. So sank die Lufttemperatur in den Morgenstunden des 28.7.2022 nur auf 7 °C.

Eine weitere Hitzewelle, die den gesamten Einsatz erschwert und die Arbeit der Feuerwehrleute verschlimmert hatte, trat vom 2.- 5.8.2022 auf, als die maximalen Lufttemperaturen wieder bis an die Grenze von 35 °C gestiegen sind (4.8.2022). Diese Temperaturen lagen um 7-8 °C über dem Normalwert für den Zeitraum 1991-2020. Die folgenden heißen Episoden waren 14.-18.8.2022 und 25.-26.8.2022.

Vom 23. Juli bis zum 21. August 2022 (ein Zeitraum von 31 Tagen) kamen an der Station Tokán (Balzhütte) 12 Sommertage (mit einer Höchsttemperatur von 25 °C oder mehr) und 6 Tropentage (mit einer Höchsttemperatur von 30 °C oder mehr) vor. Die maximale Lufttemperatur erreichte am 25. Juli 30,9 °C und lag vom 3. bis 5. August jeden Tag über 30 °C, mit einem Höchstwert von 32,6 °C am 4. August. Durch die hohen Temperaturen konnte sich das Feuer leicht ausbreiten und erschwerte die eigentlichen Löscharbeiten. Bei hohen Temperaturen sank die Wirksamkeit des Löschens mit Wasser, deswegen war es nötig, die Einsätze zu wiederholen. Es gab 24 Tage mit einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von unter 55 % und 13 Tage mit einer sehr niedrigen Luftfeuchtigkeit von unter 35 %. Die niedrigsten Werte wurden am 24. und 25. Juli gemessen (26 % und 28 %), gefolgt von 3. und 4. August (28%). 22 Tage waren niederschlagsfrei, geringe Niederschlagssummen wurden am 29. und 30. Juli (2,4 und 1,2 mm) registriert, gefolgt vom 1. August (0,2 mm), 5. August (6,1 mm) und unter 4 mm auch am 14., 15. und 19. August. Der erste größere Regen kam erst am 20. August (24,3 mm), was wesentlich half, das Feuer in dem Gebiet zu löschen.

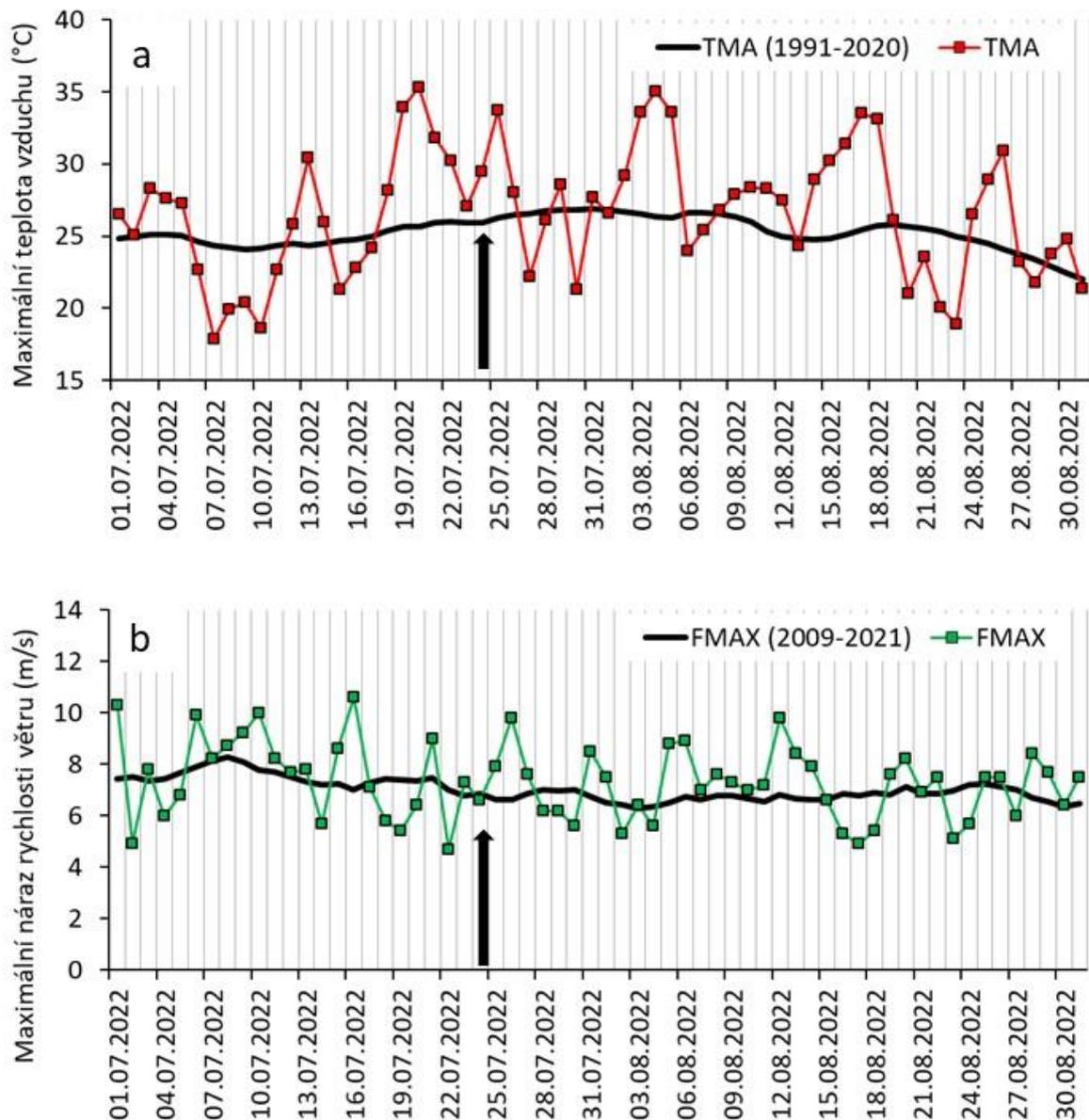


Abb. 44 Maximale Lufttemperatur im Untersuchungsgebiet und ihre Abweichung vom Normalwert 1991-2020 (a) und maximalen Böen (Windgeschwindigkeit) an der Station Tokaň und ihre Abweichung vom langjährigen Durchschnitt 2009-2021

Messungen der Windgeschwindigkeit sind mit großer Unsicherheit behaftet. Zunächst ist es notwendig zu bemerken, dass der Wind räumlich und zeitlich sehr variabel ist. Außerdem wird die Messung stark durch den Standort der Station beeinflusst, der nicht immer geeignet sein muss. Die wichtigste Rolle spielen Hindernisse und die allgemeine Beschaffenheit des Geländes in der Nähe der Station. Obwohl die Messungen in einer Höhe von 10 Metern über dem Boden vorgenommen werden und die Stationen gemäß den WMO-Standards aufgestellt sind, kann es zu Beeinträchtigungen kommen. Auch das verwendete Gerät und seine Kalibrierung sind ein wichtiger Faktor. Besonders bei Schalenanemometern ist eine Kalibrierung in kurzen Abständen (2 Jahre) notwendig, da sich die Kugellager allmählich festfressen und dann die Messung verzerren (niedriger als reell). In Anbetracht all dieser Umstände geht man davon aus, dass die Stationsmessungen den tatsächlichen Zustand der Atmosphäre unterschätzen, selbst wenn alle WMO-Bedingungen erfüllt sind. Es ist daher ratsam, die Windmessungen durch die Berechnung eines

numerischen Vorhersagemodells und anschließende Reanalysen zu ergänzen. Zur Auswertung der Windgeschwindigkeit in dem Gebiet wurden die Daten der meteorologischen Station Tokáň herangezogen, die sich direkt im Nationalpark befindet und auch von diesem verwaltet wird. Dazu wurden auch noch Daten des numerischen Vorhersagemodells ECMWF IFS verwendet. Als Merkmale wurden die durchschnittliche stündliche Windgeschwindigkeit und die maximalen stündlichen Böen gewählt. Bei Vergleich beider Datentypen (Abb. 45b) zeigt sich eindeutig, dass sehr problematische und sogar unglaubliche Werte der gemessenen Windgeschwindigkeiten an der Station Tokáň gibt. Die durchschnittliche stündliche Geschwindigkeit vom 23.7-31.7.2022 betrug nach den Messungen nur 0,9 m/s, nach dem Modell jedoch 2,7 m/s. Die durchschnittlichen maximalen stündlichen Windböen betragen laut Station 3,7 m/s und laut Modell 7,3 m/s, also doppelt so hoch. Die Analyse der Daten der Station Tokáň zeigt auch, dass 13 % der stündlichen Durchschnittsgeschwindigkeiten 0 m/s betragen, d. h. es herrschte Windstille. **Es ist davon auszugehen, dass das Messgerät an der Station Tokáň gerade ein Problem mit dem Festfressen des Kugellagers hatte und deshalb nicht in der Lage war, die richtigen Werte zu messen. Daher muss man bei der Analyse der Windverhältnisse in diesem bestimmten Gebiet eine gewisse Unterbewertung des gemessenen Windes in Kauf nehmen und mit diesen Werten relativ arbeiten, d. h. der Tendenz folgen. Andererseits berücksichtigen wir bei einem Modell, das den Beginn einer windigeren Episode möglicherweise nicht rechtzeitig erkennt, hauptsächlich die Stärke des Windes.**

Die Winde waren im Zeitraum vom 1.7. bis 31.8.2022 leicht überdurchschnittlich für dieses Gebiet (Abbildung 44b). Die maximalen täglichen Windböen betragen 7,3 m/s, das sind 0,3 m/s mehr als im Durchschnitt der Jahre 2009-2021 (Messungen der Station Tokáň). Insgesamt gab es an 40 Tagen höhere Böen als die Tagesnorm. Zum Zeitpunkt des Brandes am 23. und 24.7.2022 waren die Böen überwiegend durchschnittlich. **Der Anstieg erfolgte dann am 25. und 26.7.2022 (3,2 m/s über dem Durchschnitt). Die erste Zunahme der Windgeschwindigkeit trat am 25. Juli 2022 in den Morgenstunden (8-10 Uhr) auf, und die stärkeren Winde hielten bis 17 Uhr an. Die zweite Folge begann am 26. Juli 2022 um 2 Uhr und dauerte bis 20 Uhr. Die dritte Folge begann dann am 27. Juli 2022 um 16 Uhr und dauerte nur drei Stunden. Die nächste Episode ereignete sich am 30.7.2022 (11-17 Uhr), diese wurde vom Modell erwartet, aber an der Station kam es nur zu einer leichten Verstärkung. Einen Tag später zeigten die Station und das Modell vor allem zwischen 9 Uhr und 19 Uhr windiges Wetter an. Die maximalen Windböen in diesen beschriebenen Episoden lagen ebenfalls zwischen 10-11 m/s (36-40 km/h) und bedeuten ein mäßiges Risiko für die Ausbreitung des Brandes.**

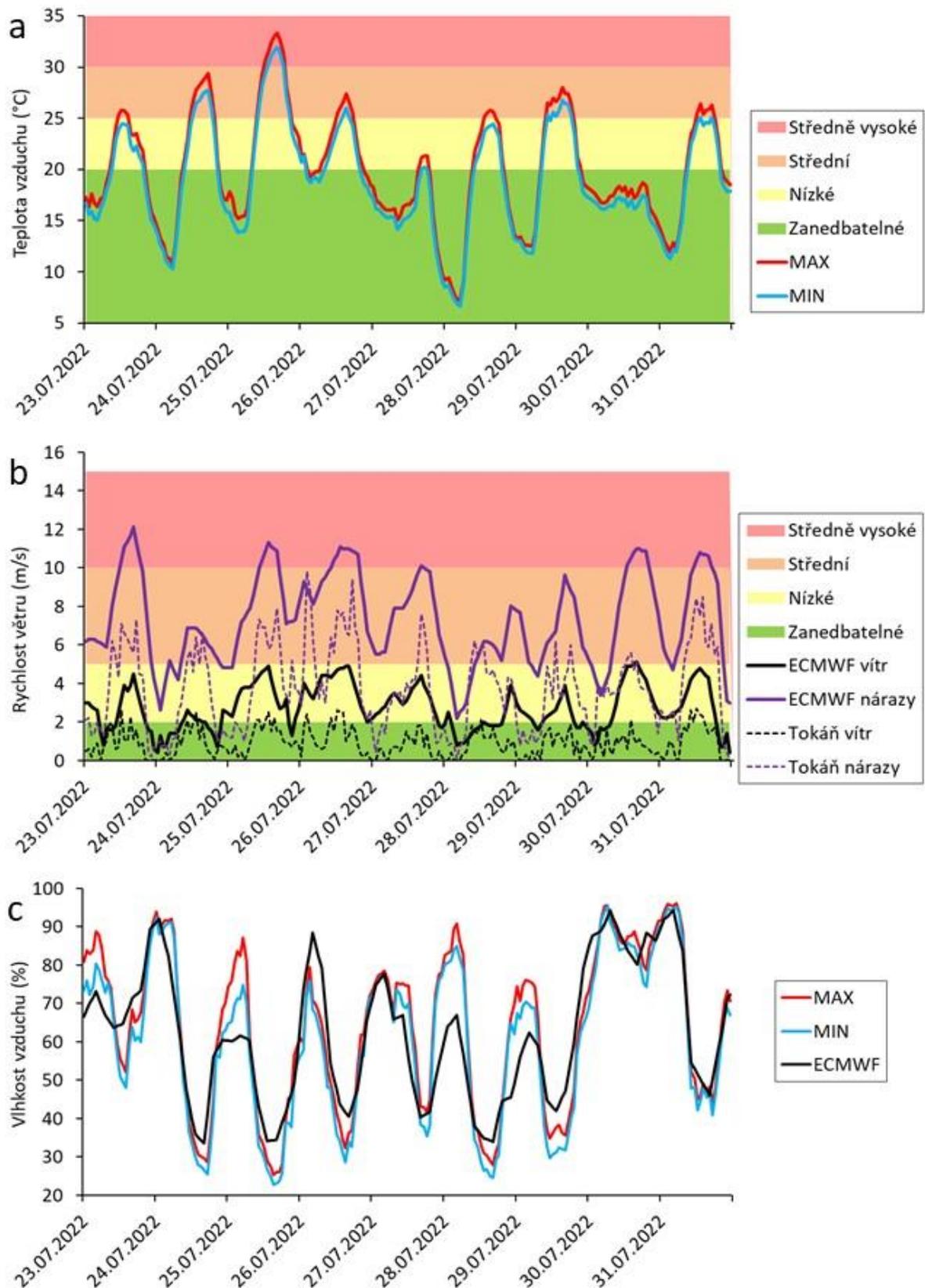


Abb. 45 Räumliches Stundenmittel der Lufttemperatur auf der Grundlage von Wetterstationen (a); stündliche Durchschnittswindgeschwindigkeit und maximale stündliche Windböen gemäß Modell ECMWF IFS und der Station Tokaň (b); relative Luftfeuchtigkeit als räumliches Stundenmittel auf der Grundlage der Wetterstationen und des Modells ECMWF IFS für den Zeitraum 23.7.7.2022 bis 31.7.2022 (Anfangsphase des Brandes).

Ein wichtiger Faktor, der die Brandgefahr erhöht, ist der Feuchtigkeitsgehalt der Bodenoberschicht. Dies wird in diesem Fall durch die relative Bodenfeuchte bis zu 10 cm dargestellt. Da es sich ausschließlich um die obere Schicht des Bodens handelt, ist es ein sehr guter Indikator dafür, ob der betreffende Brennstoff trocken oder feucht war. Die Bodenfeuchtigkeitswerte werden in 5 Kategorien unterteilt. Risiko 1 ist vernachlässigbar, die Bodenfeuchtigkeit liegt über 70 %. Niedrig (Risiko 2) liegt vor, wenn die Bodenfeuchtigkeit zwischen 50-70 % liegt. Das mittlere Risiko (3) liegt bei Werten von 30-50 %. Bei mittelhohem (4) Risiko sinkt die Bodenfeuchtigkeit unter 30 % und wenn sie unter 10 % fällt, besteht ein hohes (5) Risiko. Die Bodenfeuchtigkeit bis zu 10 cm wird hauptsächlich durch Niederschlag und Lufttemperatur beeinflusst. Selbst bei geringen Niederschlägen kommt es zu einer sehr schnellen Sättigung und das Risiko nimmt sehr schnell ab; umgekehrt steigt das Risiko auch bei kürzeren heißen Episoden oder niederschlagsfreien Perioden erheblich an. Die Brennstofffeuchtigkeit kann sich sehr schnell, innerhalb weniger Stunden, verändern.

Wie in Abb. 46 zu sehen ist, begann die Oberbodenfeuchte schon Mitte Juli zu sinken und ab dem 17.7.2022 bestand ein mittleres Risiko und vom 19.7. bis 28.7.2022 herrschte sogar ein hohes Risiko, d. h. die relative Bodenfeuchte lag in 10 cm Tiefe unter 10 %. Danach herrschte bis zum 18. August 2022 ein mittelhohes bis hohes Risiko. Erst am 19. August 2022 stieg die relative Bodenfeuchte aufgrund von Niederschlägen deutlich an und die Gefahr von Waldbränden nahm ab. Insgesamt gab es in diesen beiden Monaten 25 Tage mit hohem und 8 Tage mit mittelhohem Risiko. **Dies zeigt deutlich, dass die Zeit sehr trocken war. Schon lange vor dem Ausbruch des Feuers war klar, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffs gering und die Brandgefahr unter diesem Gesichtspunkt enorm war.**

Die Brennstofffeuchte und damit die Bodentrockenheit werden natürlich stark von den Niederschlägen beeinflusst. Diese lagen in der Tschechischen Republik im Sommer über dem langjährigen Durchschnitt, aber die räumlichen Unterschiede waren enorm. Ein erhebliches Niederschlagsdefizit gab es im Nordwesten und Westen des Landes. Nach den territorialen Durchschnittswerten des Tschechischen Hydrometeorologischen Institut fielen im Juli nur 40 % der Niederschläge in der Region Ústí nad Labem (Aussig). Im Gebiet des NP Böhmisches Schweiz regnete es hauptsächlich Anfang Juli (4.-9.7.2022), wobei der meiste Niederschlag am 7.7.2022 (15,6 mm) fiel. Danach regnete es nur noch sporadisch (Abb. 46b). Vor dem Brand wurde am 21.7.2022 eine Niederschlagsmenge von 1,4 mm registriert, was aufgrund der hohen Temperaturen zu diesem Zeitpunkt sehr gering ist und sich praktisch nicht auf die Bodenfeuchtigkeit auswirkte. Die nächsten Niederschläge fielen am 29. und 30.7. 2022, aber an beiden Tagen fielen insgesamt 3,6 mm, was nicht ausreichte, um die Intensität der Verbrennung zu mindern. Eine regnerische Episode kam dann am 19.8.2022 und einen Tag später fielen über 20 mm Regen.

Eine nicht geringe Rolle spielt auch die Luftfeuchtigkeit. Logischerweise begünstigt trockene Luft sowohl die Bodentrockenheit (Brennstofffeuchte) als auch die Brandausbreitung. Die Luftfeuchtigkeit wurde in stündlichen Abständen für die erste Phase der Brandentstehung und -ausbreitung analysiert. Es wurden die maximalen und minimalen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit für das Gebiet verwendet und als Kontrollkurve wurden die Werte des numerischen Vorhersagemodells IFS des ECMWF hinzugefügt (Abb. 45c). Bereits am ersten Tag des Brandes sank die Luftfeuchtigkeit stark vor allem zwischen 11 und 18 Uhr unter die Grenze von 40 % und um 17 Uhr lag sie sogar bei 25,5-28,6 %. Am nächsten Tag wiederholte sich die Situation und es herrschte von 10-19 Uhr eine niedrige Luftfeuchtigkeit. Die niedrigere relative Luftfeuchtigkeit tagsüber hielt bis zum 29.7.2022 an. Erst am 30.7.2022 war die Luftfeuchtigkeit hoch und lag meist über der Grenze von 80 %.

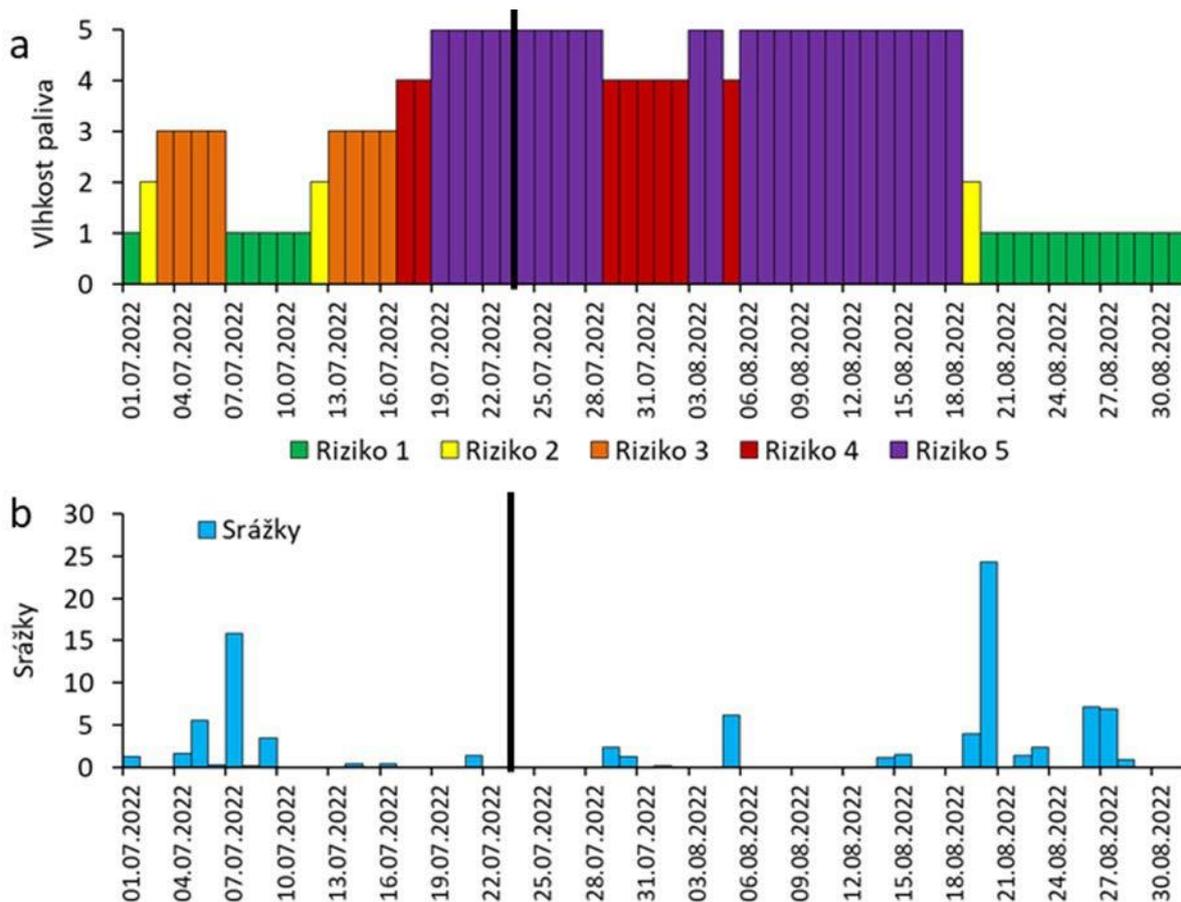


Abb. 46 Maximaler Risikowert auf der Grundlage der Brennstoffeuchte (a) und der Summe der täglichen Niederschläge (b) im Untersuchungsgebiet in Periode 1.7.-31.8.2022 (Risiko 1 - vernachlässigbar; Risiko 2 - gering; Risiko 3 - mittel; Risiko 4 - mittelhoch; Risiko 5 - hoch)

### Brandrisikoindikatoren auf der Grundlage von speziellen FireRisk-Stationen und Satellitendaten

Seit 2021 sind an 105 Standorten (Abb. 47) Bodenstationen des Portals FireRisk.cz platziert, welche in erster Linie für Problemstandorten ausgewählt wurden und von CzechGlobe betrieben werden. Dieses einzigartige Stationsnetz liefert exklusive Daten zu Luft- und Bodentemperatur und -feuchtigkeit direkt aus den mikroklimatischen Bedingungen des Waldes, vor allem aber Daten zur so genannten Brennstoffeuchte. Es handelt sich um robuste Stationen, bei denen die wichtigsten Sensoren dupliziert sind.

Die Daten sind per Fernübertragung in zwei täglichen Updates verfügbar und werden vom FireRisk.cz-Team analysiert. Wie aus der Karte ersichtlich ist, gibt es 2 Stationen, die direkt im NP Böhmisches Schweiß platziert sind.

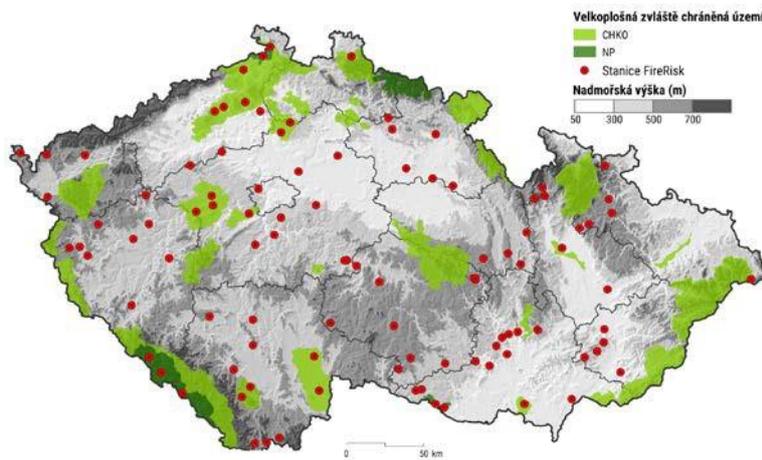
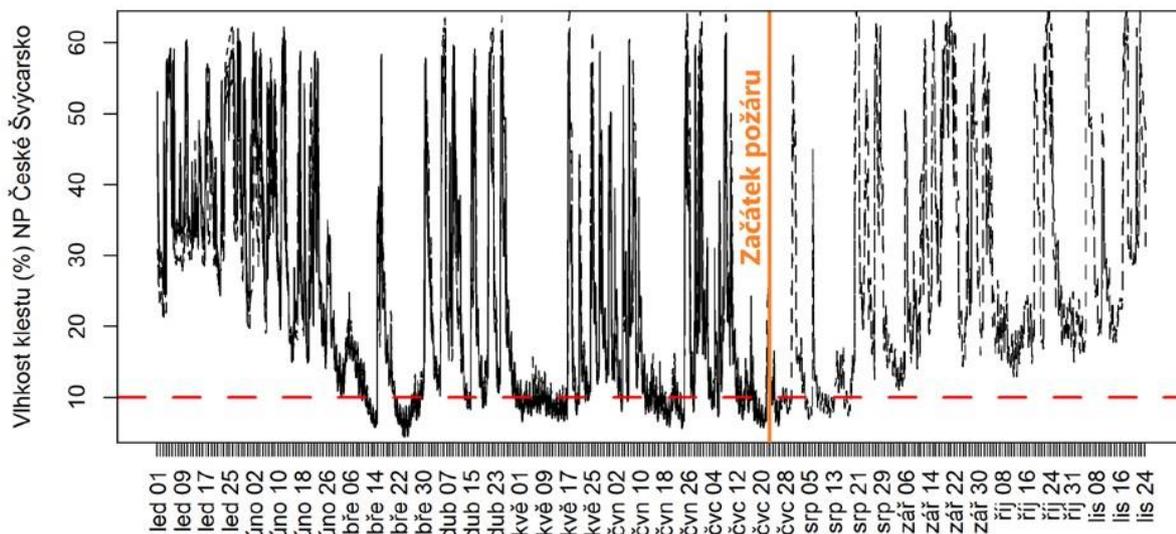


Abb. 47 Netzwerk aktiver FireRisk.cz-Stationen im September 2022 (links) und Basis-Stationendiagramm (rechts)

Die Informationen, die diese Sender während des Jahres 2022 lieferten, waren sehr beunruhigend. Zunächst einmal haben sie deutlich gezeigt, dass die Brennstofffeuchte üblicherweise unter den kritischen Wert von 10 % fällt und vor allem, dass dies auch über einen Zeitraum von mehreren Wochen geschieht, wie es im zeitigen Frühjahr, d. h. im März 2022, der Fall war. Für den Zeitraum unmittelbar vor dem Brand zeigen die Messdaten beider Stationen, dass der für die Entzündung sehr günstige Wert bereits am 18.7. erreicht war. Paradoxiertweise war die Situation in der Zeit um den Ausbruch des Feuers herum etwas besser, verschlechterte sich aber deutlich am 25. und 26.7., d.h. an den Tagen, an denen sich das Feuer dramatisch ausbreitete, (Abb. 48).



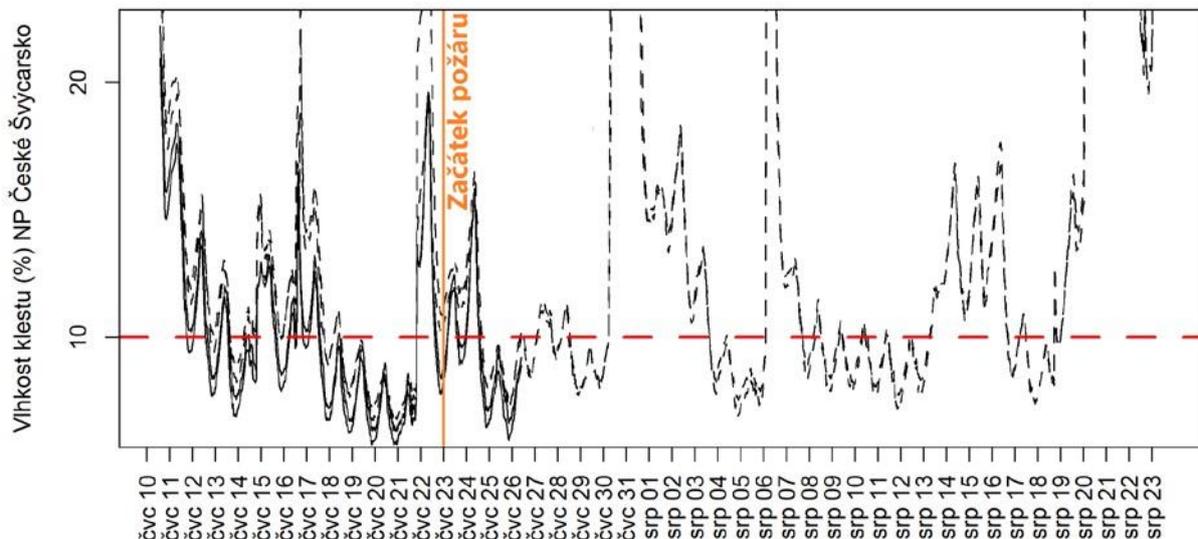
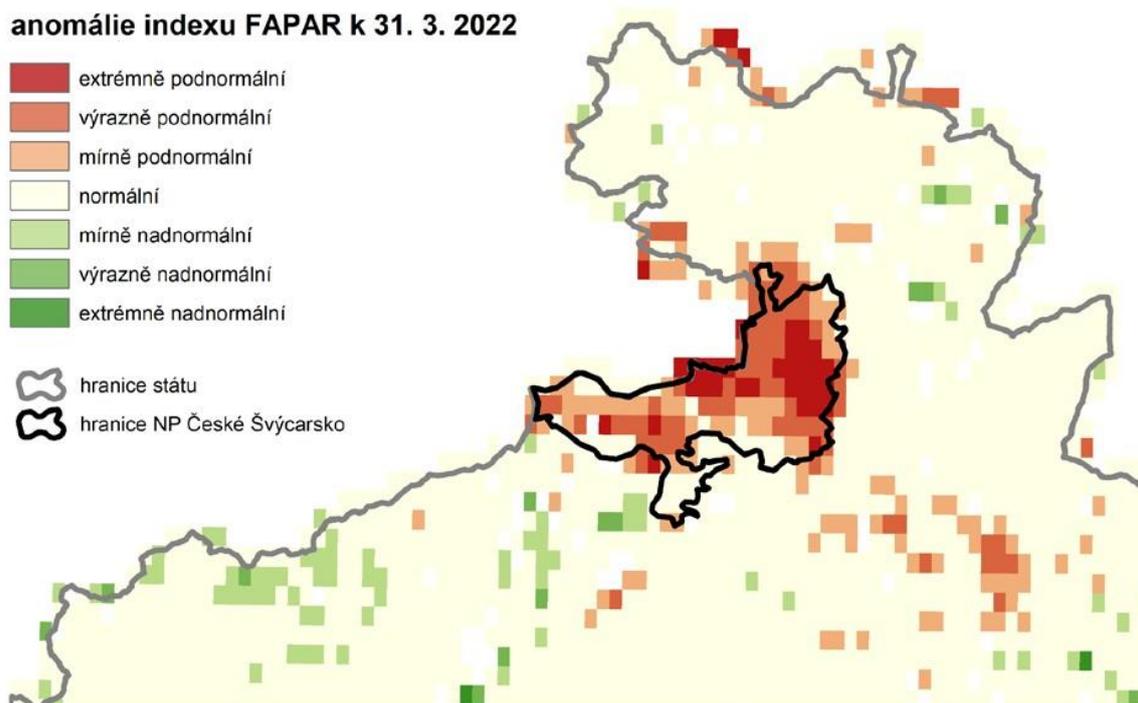


Abb. 48 Brennstofffeuchte-Daten von FireRisk.cz-Stationen aus dem Gebiet des NP Böhmisches Schweiz sowohl für den Zeitraum 1.1.-24.11.2022 (oben), als auch ein detaillierter Ausschnitt für den Zeitraum unmittelbar vor und während des Brandes (unten). Bemerkung. Am 26.8. zerstörte ein vorrückendes Feuer eine der Stationen.

Zusätzlich zu den punktuellen Messungen wird die Dürre auch durch Anomalien im Zustand der Vegetation belegt, die mit dem FAPAR-Satelliten (Fraktion der absorbierten photosynthetischen aktiven Strahlung) von März bis Juli 2022 gemessen wurden. In Abb. 49 sind die subnormalen FAPAR-Werte in Brauntönen dargestellt. Von März bis Juli sind subnormale FAPAR-Werte zu verzeichnen, welche auf die Trockenheit des Bewuchses im NP hinweisen. Die größten FAPAR-Anomalien wurden im April verzeichnet, als alle Bestände von der Trockenheit betroffen waren; im Juli waren trockene Kiefern und Nadelwälder am stärksten, Buchenwälder am wenigsten betroffen. Besonders ausgeprägt waren die Anomalien in auf Felsen wachsenden Kiefernbeständen und in von Borkenkäfern befallenen Fichten. Im Gegensatz dazu wiesen natürliche, von Buchen dominierte Mischbestände geringere Anomalien auf.

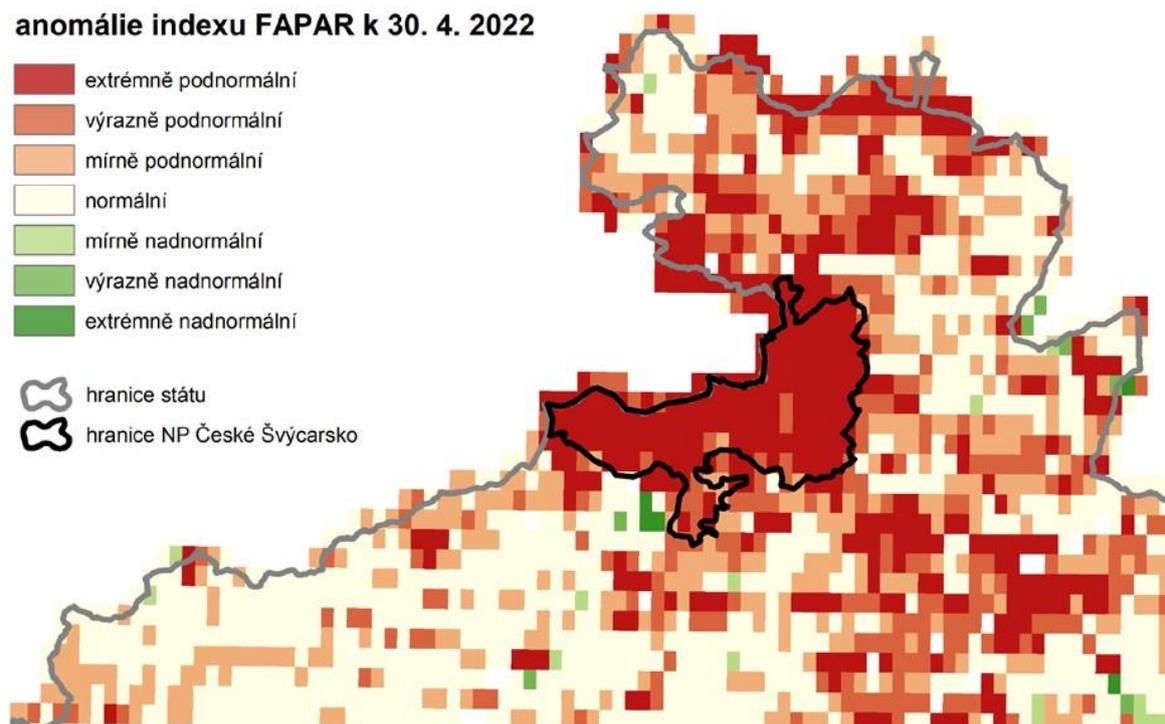
#### anomálie indexu FAPAR k 31. 3. 2022



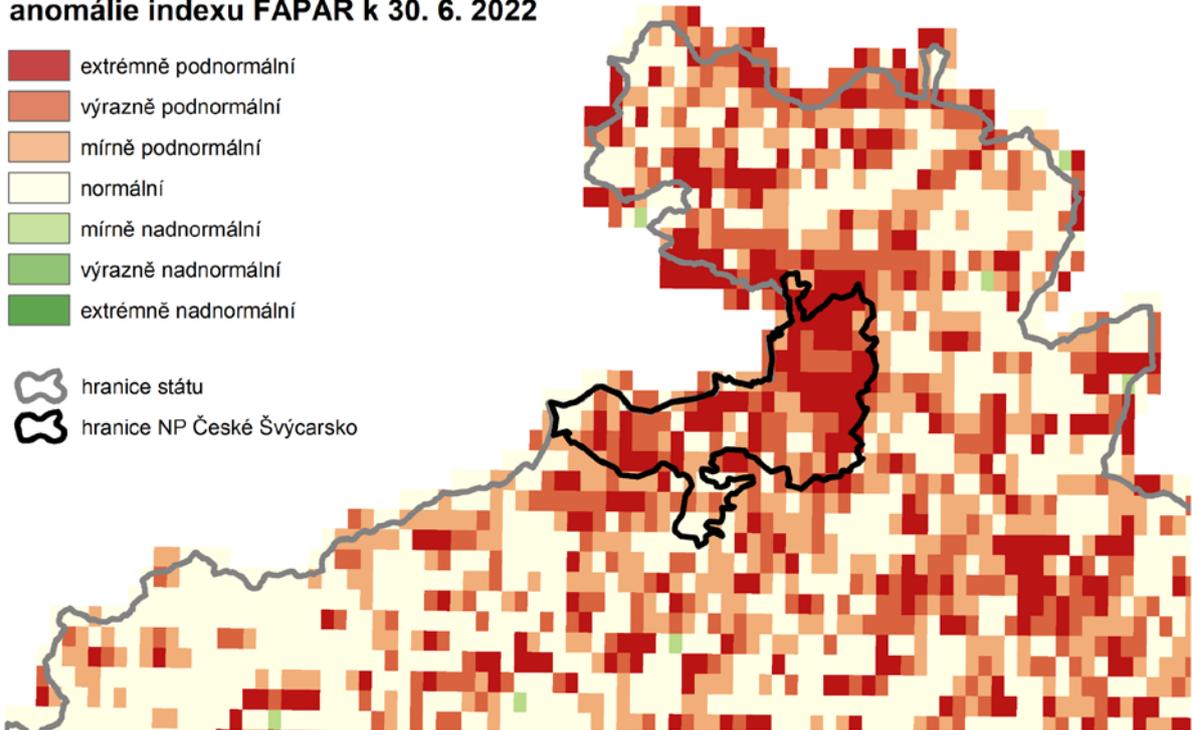
### anomálie indexu FAPAR k 30. 4. 2022

-  extrémně podnormální
-  výrazně podnormální
-  mírně podnormální
-  normální
-  mírně nadnormální
-  výrazně nadnormální
-  extrémně nadnormální

-  hranice státu
-  hranice NP České Švýcarsko



### anomálie indexu FAPAR k 30. 6. 2022



### anomálie indexu FAPAR k 20. 7. 2022

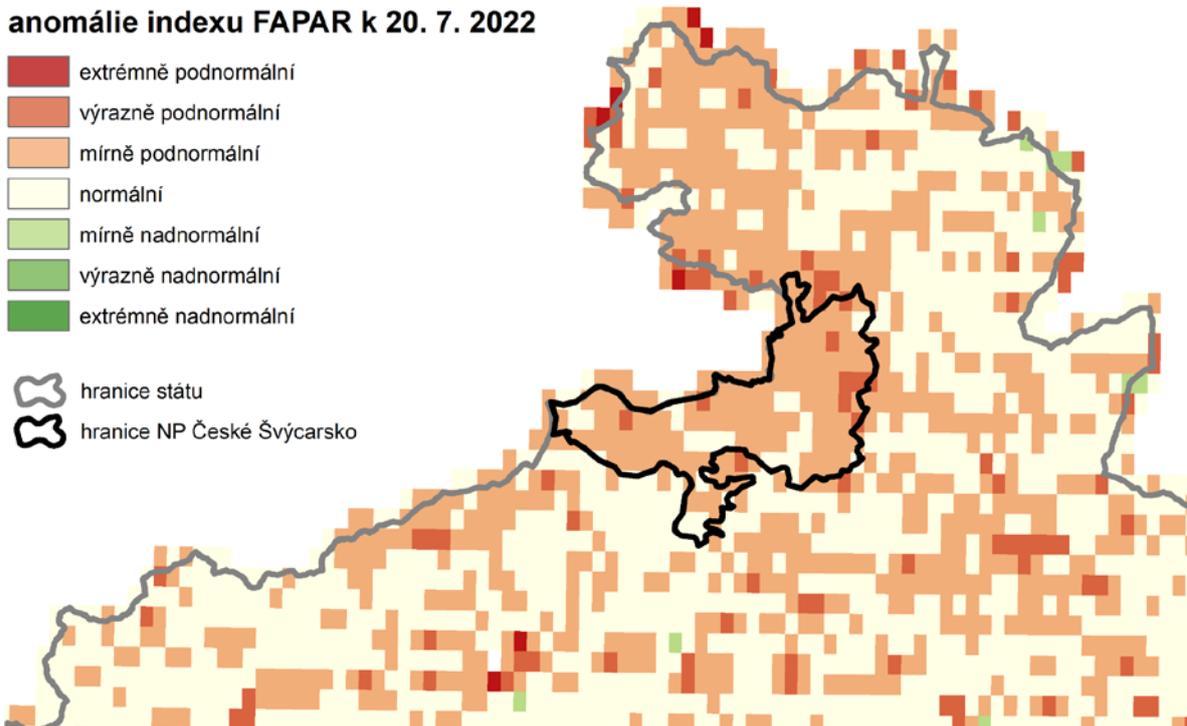


Abb. 49 Vegetationsanomalien gemessen mit dem FAPAR-Satelliten (Fraktion der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung) im März-Juli 2022.

Das Auftreten von Trockenheit im Nationalpark ist auch aus den Sentinel-2-Satellitenbildern ersichtlich, die Feuchtigkeitsindizes für März bis Mai 2022 zeigen (Abbildung 49). Rote und gelbe Farben zeigen eine niedrige Luftfeuchtigkeit in diesem Gebiet an. Die Feuchtigkeitsindizes waren im gesamten NP im März und April am niedrigsten, mit lokalen Extremen im Mai und Juni.

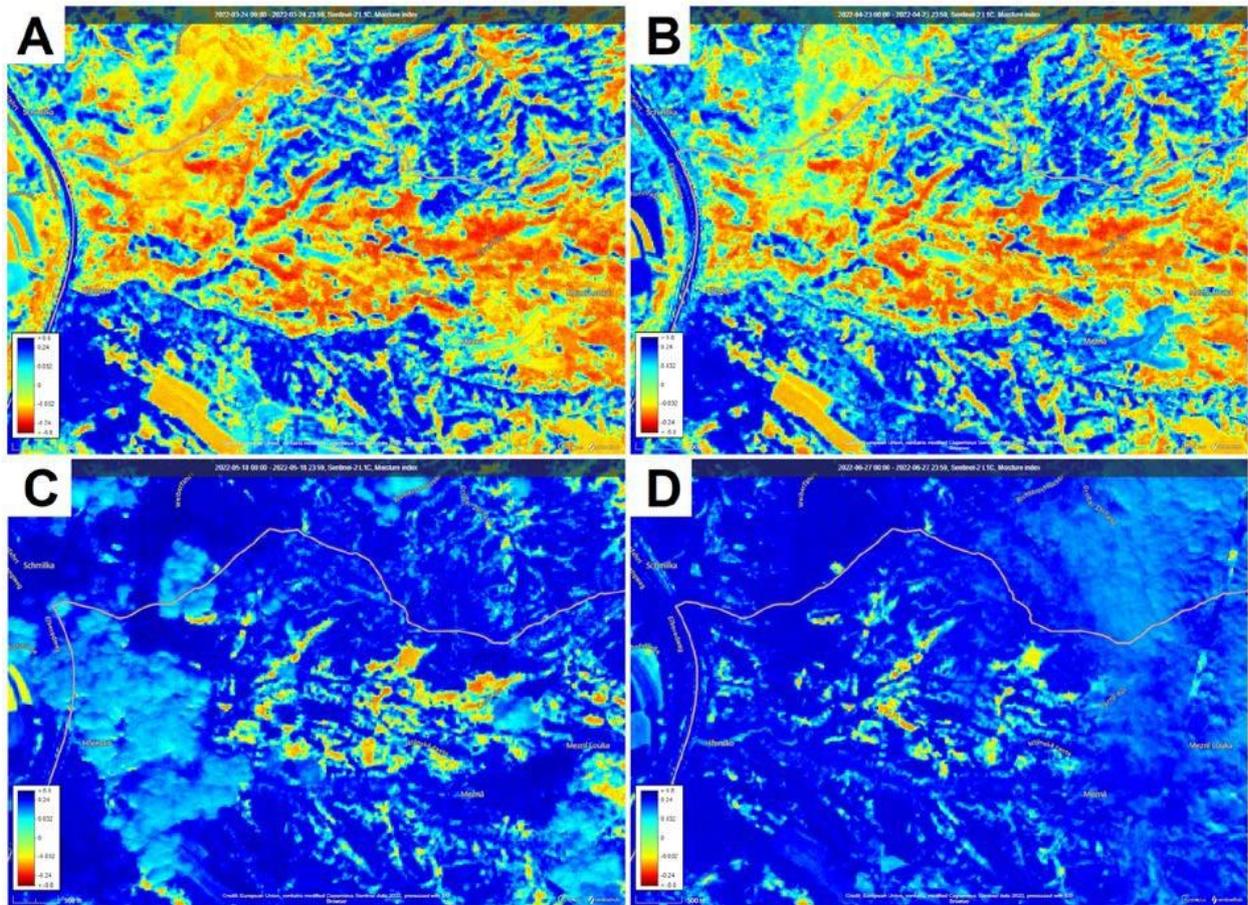


Abb. 50 Vom Satelliten Sentinel 2 am 24. März 2022 (A), 23. April 2022 (B), 18. Mai 2022 (C) und 27. Juni 2022 (D) ermittelter Feuchteindex.

Das Auftreten von Trockenheit im Nationalpark vor dem eigentlichen Brand ist auf dem Sentinel-2-Satellitenbild ersichtlich, das den Feuchtigkeitsindex am 22. Juli 2022 zeigt (Abbildung 51). Im Vergleich zu Mai und Juni verschlechterte sich die Situation und die Luftfeuchtigkeitsindizes waren lokal extrem niedrig.

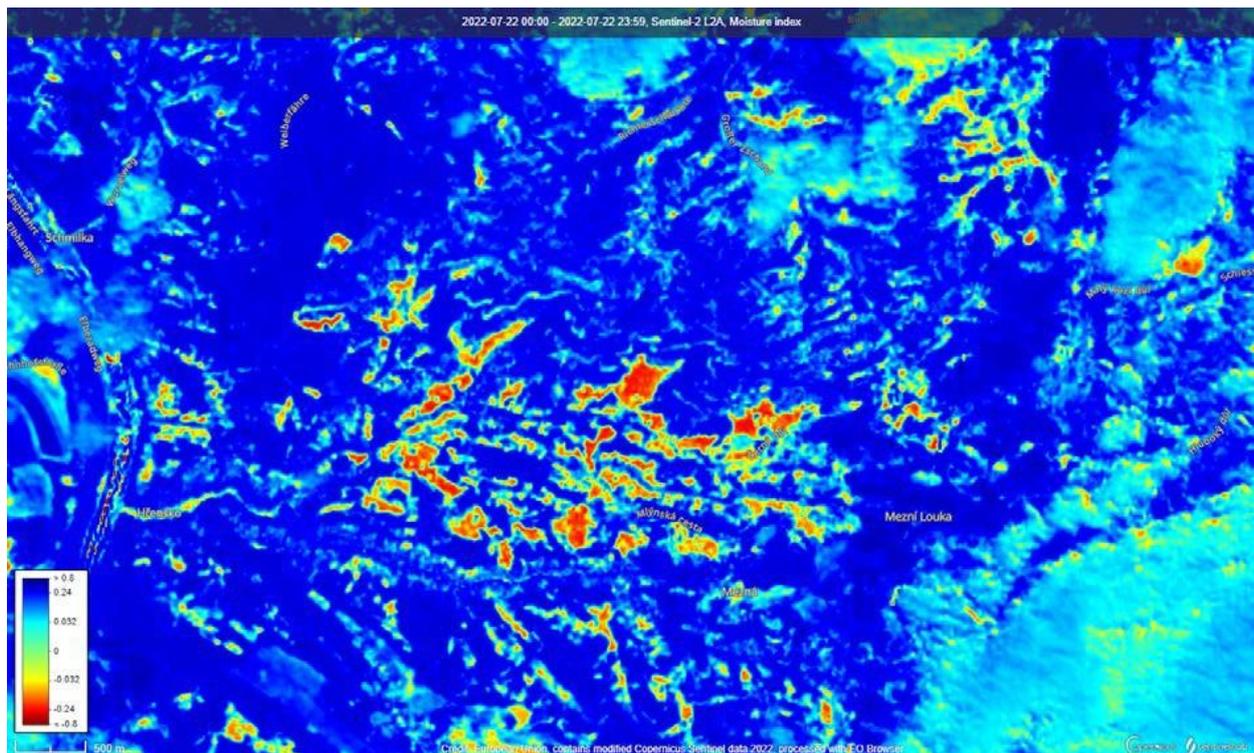


Abbildung 51 Vom Satelliten Sentinel 2 am 22. Juli 2022 ermittelter Feuchtigkeitsindex.

### 3. Zusammenfassende Indikatoren für das Brandwetter

Das Brandrisiko kann auch anhand des so genannten "Brandwetterindex" beschrieben werden. Es handelt sich um ein Instrument zur Erfassung der Interaktion wichtiger meteorologischer Elemente, die das Risiko des Auftretens und der Ausbreitung von Bränden beeinflussen, hauptsächlich auf der Grundlage von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wassergehalt im Boden sowie in Pflanzen oder deren Rückständen. In dieser Studie werden zwei grundlegende Feuerwetterindizes verwendet, die auch im Warnsystem [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) enthalten sind. Es handelt sich um den australischen Waldbrandgefahrenindex (FFDi). Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser beiden Indizes wird ein Gesamtbrandrisikoindex erstellt. In diesem Fall wurde die Variante verwendet, die immer den höchsten Wert aus den FWI- und FFDI-Risikokategorien am kritischsten Punkt im Gebiet in Bezug auf das Risikoniveau aufgrund des Brandwetters an einem bestimmten Tag aufweist. Es handelt sich also um ein "pessimistisches" Szenario, bei dem der Wert mit dem höchsten Risikoniveau für das Gebiet angezeigt wird (Abbildung 52). Die Risikostufen sind in 5 Kategorien unterteilt (1 grün - vernachlässigbar, 2 gelb - gering, 3 orange - mittel, 4 rot - mittelhoch, 5 violett - hoch).

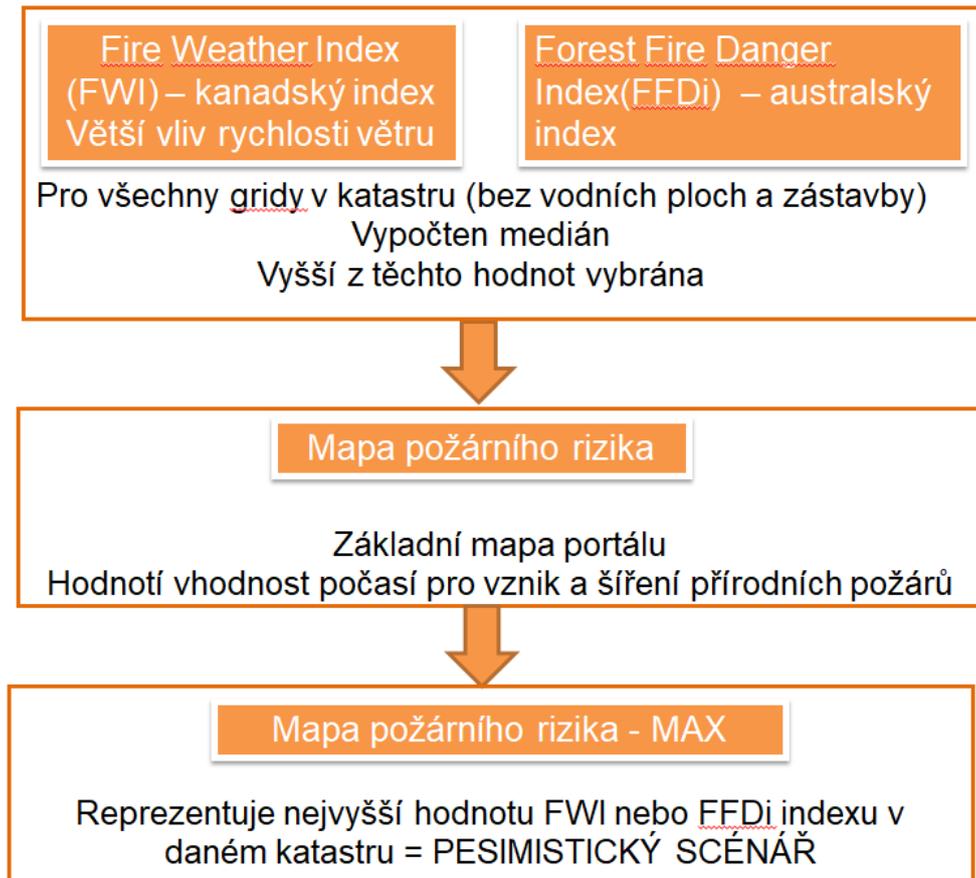


Abbildung 52: Diagramm zur Berechnung des Brandrisikos auf der Grundlage der beiden Brandindizes ( [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz))

Im Juli und August 2022 herrschte im Untersuchungsgebiet eine mittlere Brandgefahr (29 Tage). Ein mittelhohes Risiko bestand danach an 7 Tagen und ein hohes Risiko wurde nicht indiziert (Abb. 53a). Insgesamt herrschte in diesem Gebiet an 58 % der Tage ein mittleres und höheres Risiko. Anfang Juli war aus Sicht des Feuerwarnindex nicht allzu riskant, was sich mit dem Beginn des wärmeren und trockeneren Wetters in der Mitte des Monats änderte. **Die Risikoepisode dauerte also vom 15. Juli bis zum 18. August. An diesen 35 Tagen bestand ein mittleres Risiko, an 28 Tagen (in 80 % der Zeit) ein höheres Risiko.**

Die Unterschiede zwischen den beiden Arten von Brandrisikoindizes betragen immer höchstens einen Grad. Wie die Analyse in Abb. 53b-d zeigt, war der kanadische FWi-Index optimistischer und indizierte, im Juli und August eher Tage mit niedrigem oder mittlerem Brandrisiko. Im Gegensatz dazu war der australische FFDi-Index pessimistisch und rechnete hauptsächlich mit dem Auftreten eines mittleren und höheren Risikos. Beide Indizes haben das Brandrisiko in den Tagen vor dem Ausbruch des Brandes und auch während des Ereignisses durchweg erhöht. **Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich schließen, dass der australische FFDi-Index besser die tatsächliche Situation in dem Gebiet besser wiedergab.** Da das Warnsystem [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) immer von der pessimistischeren Variante des aggregierten Brandwetters ausgeht, ergänzten sich die beiden Indizes, so dass der aggregierte Brandrisikoindex das Risiko gut genug beschreibt. Der Grund für die Unterschätzung des Brandrisikos durch den FWi-Index liegt in der stärkeren Bindung an die Windgeschwindigkeit, die an meteorologischen Stationen in 10 Metern Höhe gemessen wird und nicht unbedingt der tatsächlichen Situation in der freien Atmosphäre entsprechen müssen. **Die Messungen der Wetterstationen haben die Tendenz, die tatsächlichen Windgeschwindigkeiten zu unterschätzen, deshalb gibt auch der kanadische Brandrisikoindex bei der Überwachung einen niedrigen Wert aus, als er eigentlich zu erwarten wäre oder als die realen Bedingungen zeigen.**

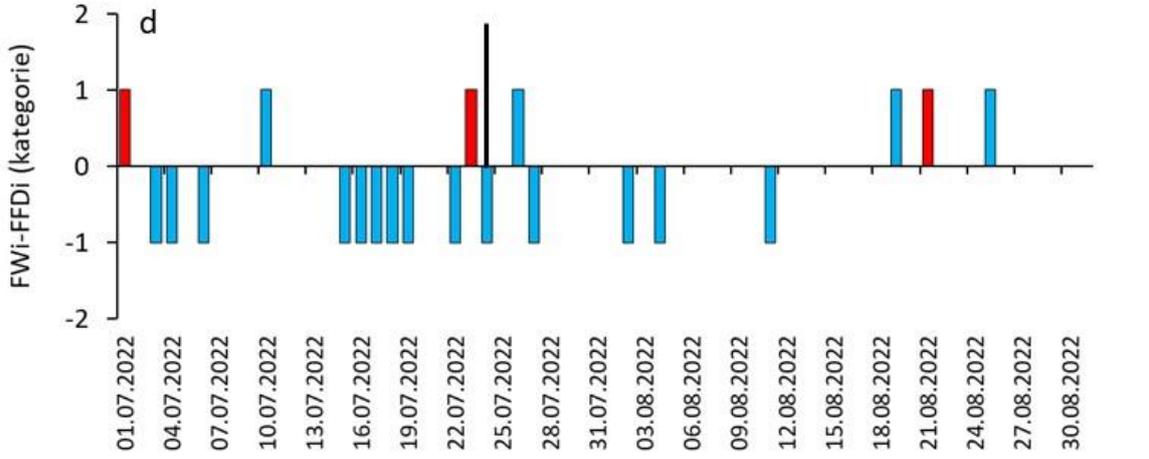
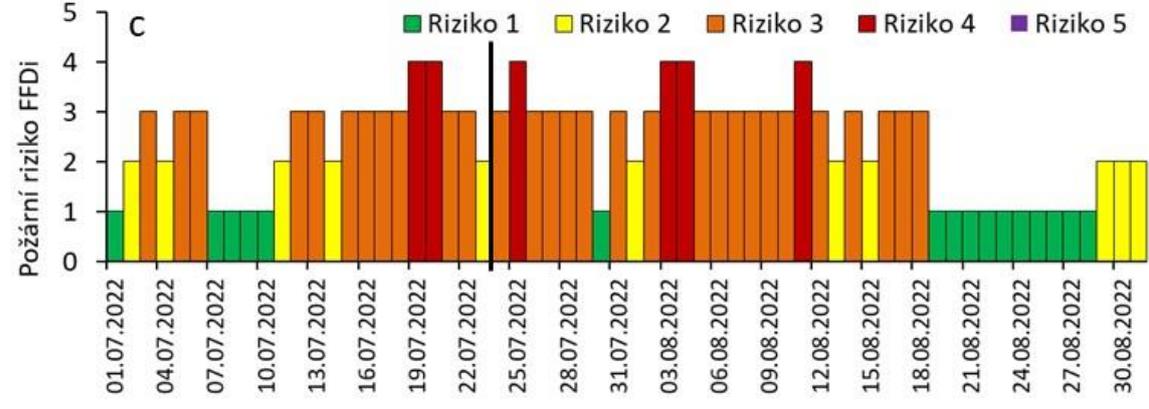
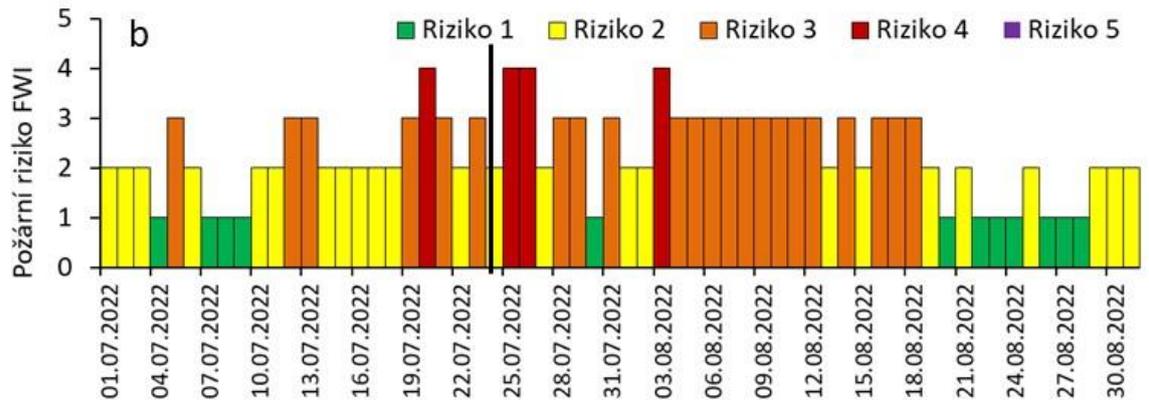
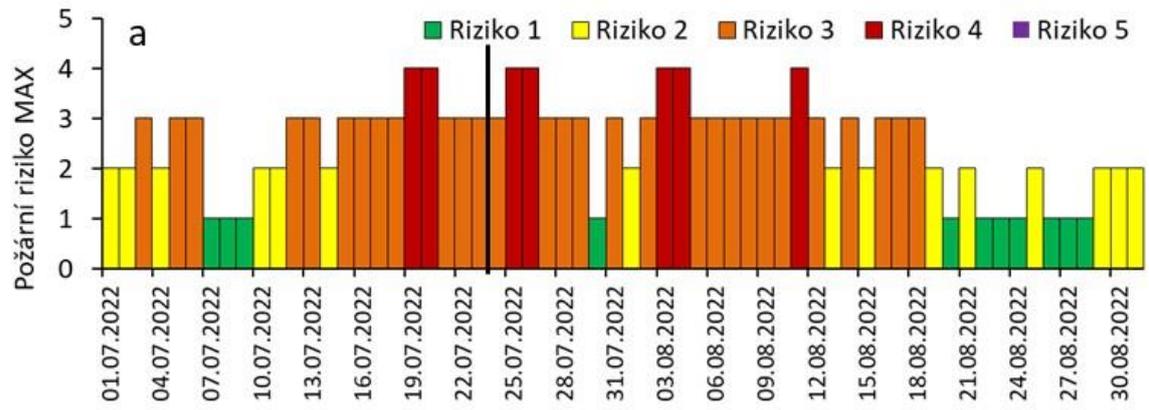


Abbildung 53 Maximales Brandrisiko im Untersuchungsgebiet als aggregierter Index (a) Feuer-Wetter-Index - FWi (b) Waldbrandgefahren-Index - FFDi (c) und die Differenz zwischen den beiden Indizes (d)

Der Feuer-Wetter-Index wird in stündlichen Schritten berechnet, um die kritischsten Phasen des Tages zu erfassen. Die endgültigen Karten auf [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) zeigen dann nur den Höchstwert, der dort tagsüber auftritt. Wie in Abb. 54 zu sehen ist, ist das Brandrisiko in der Regel nachts geringer als tagsüber, wenn die Lufttemperatur ebenfalls deutlich höher ist. In der Zeit vor dem Brand waren die kritischsten Tagesabschnitte die Nachmittage des 19. Juli 2022 und des 20. Juli 2022, als die Brandgefahr mittelhoch war. Zum Zeitpunkt des angenommenen Brandausbruchs war das Risiko vernachlässigbar, was jedoch auf die Nachtstunden zurückzuführen war, in denen das Feuer zwar hätte ausbrechen können, sich aber nicht wesentlich ausbreitete. Wichtig ist der Gesamtzustand vor dem Brand und die Bedingungen in den Stunden nach Ausbruch des Brandes. Im Laufe des 24.7.2022 verschlechterten sich diese erheblich, so dass sich das Feuer auszubreiten begann. In den Nachmittagsstunden bestand ein mittleres Risiko und am 25.7.2022 gab es mehrere Stunden auch mit mittelhohem Risiko und dies zeigte sich auch am 26.7.2022. Die hohen Brandrisikowerte am 25. und 26.7.2022 entsprechen den Tagen, an denen sich das Feuer am schnellsten ausbreitete. In der Episode, die den Zeitraum vor dem Ausbruch des Brandes und auch einige Tage danach umfasst, wurden 209 Stunden (25,8 %) mit einem mittleren bis mittelhohen Brandrisiko erfasst. **Aus dieser detaillierten stündlichen Analyse geht hervor, dass das Brandrisiko unmittelbar zum Zeitpunkt der Entstehung des Brandes nicht hoch war, wohl aber in den Tagen davor. Insbesondere nach Ausbruch des Brandes verschlechterte sich das Wetterrisiko für die Brandausbreitung erheblich.**

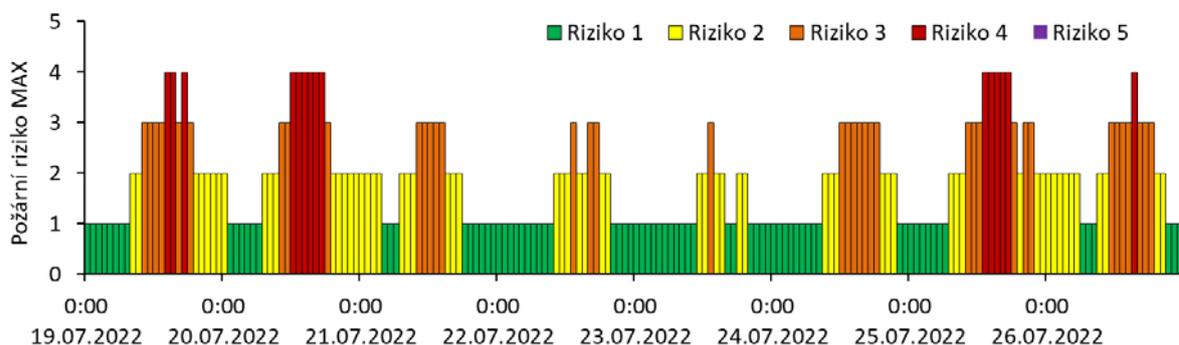


Abb. 54 Maximales Brandrisiko im Untersuchungsgebiet als kumulierter Index für jede Stunde im Zeitraum 19.7.2022 bis 26.7.2022

Dies wird durch die Karten in Abb. 55 und Abb. 56 deutlich veranschaulicht. Erstens geht aus der Überwachung der Bodenfeuchtigkeit eindeutig hervor, dass zu Beginn des Brandes im gesamten Park eine ziemlich große Anomalie der Bodenfeuchtigkeit in der obersten Bodenschicht herrschte. Gleichzeitig verschlechterten sich die Werte des Brandindexes am 25. und 26.7. dramatisch, was mit der Ausbreitung des Feuers auf dem Gebiet des finalen Umfangs praktisch übereinstimmte.

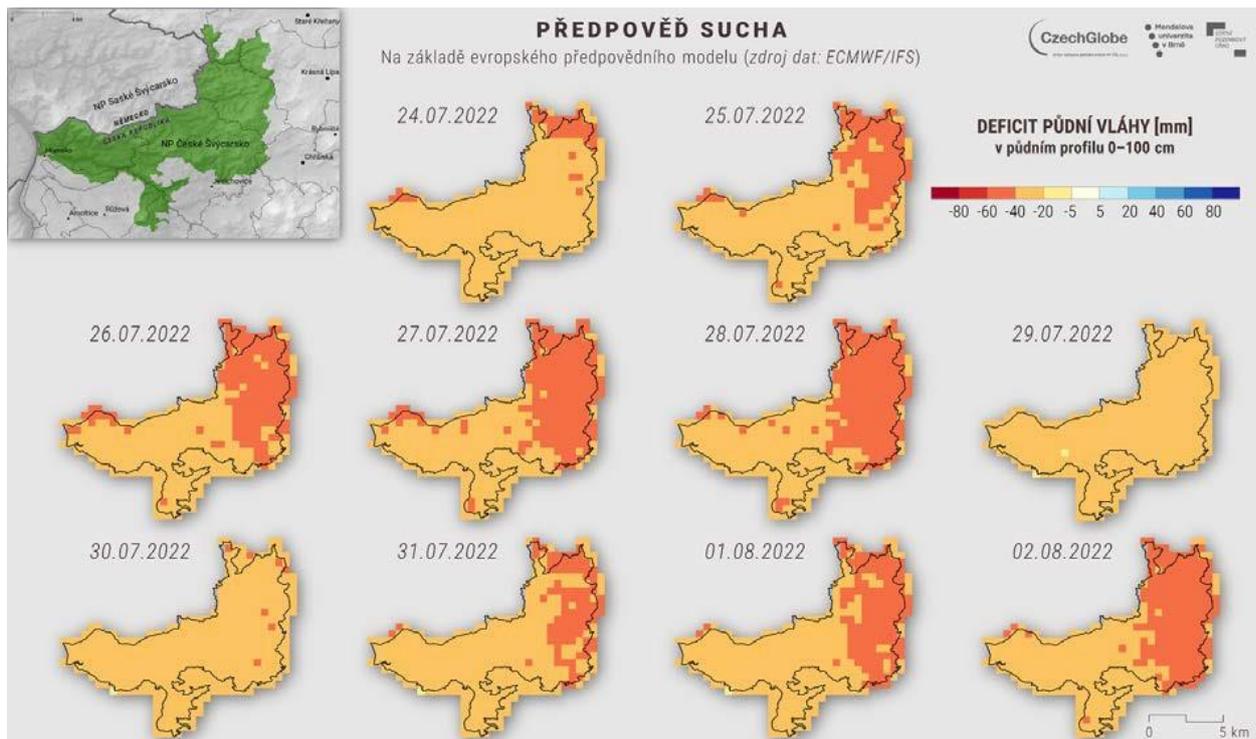


Abb. 55 zeigt die Anomalie der Bodenfeuchtigkeit in mm im Vergleich zum üblichen Zustand in dem bestimmten Zeitraum des Jahres während der Zeit des Entstehens und der intensiven Ausbreitung des Brandes auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schweiz gemäß den Daten des Portals Intersucho.cz und Firerisk.cz.

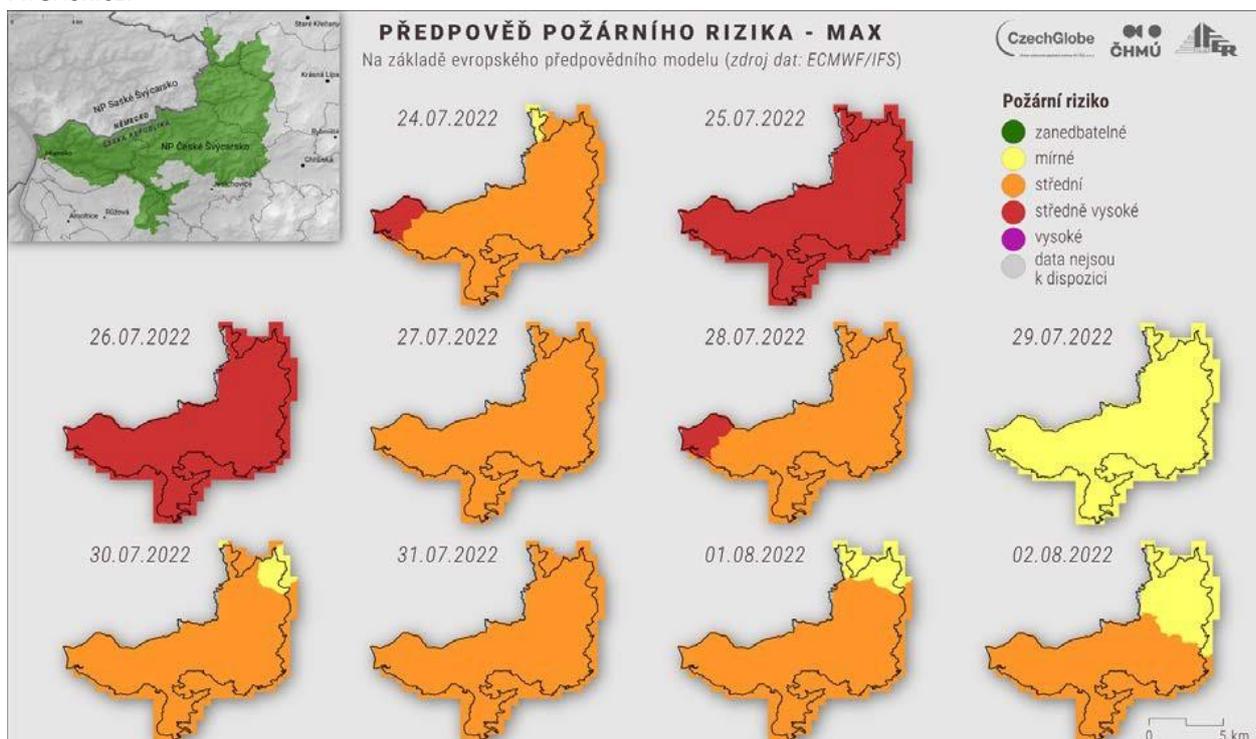


Abbildung 56 zeigt die Brandrisikowerte, die auf den Daten des FireRisk-Portals basieren, mit einer offensichtlichen deutlichen Verschlechterung der Werte am 25. und 26. Juli.

Aus den Brandindexdaten und kontinuierlichen Messungen der Brennstofffeuchte an FireRisk-Stationen zeigt sich eine wichtige Tatsache. Die Bedingungen für Brandentstehungen der Vegetation im Park waren sehr lange Zeit günstig und wiederholten sich im Jahr 2022 oft, trotzdem kam es zu keinen Bränden. Es ist

deshalb notwendig die Schlüsselrolle zu unterstreichen, die der Zeitpunkt und der Ort der Brandlegung gespielt haben.

### Brandrisiko - Qualität der Vorhersage

In diesem Abschnitt wird die Qualität der Vorhersage des Brandrisikoindex für Juli-August 2022 bewertet, wobei der Schwerpunkt auf den kritischen Tagen der Entstehung und der ersten Ausbreitung des analysierten Feuers liegt. Es handelt sich um Prognosen, die auf dem Portal des Warnsystems [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) veröffentlicht werden, dass die wichtigste Informationsquelle für das Brandrisiko in der Tschechischen Republik ist.

Die Entwicklung der Computertechnik und der Luft- und Raumfahrt sowie die Bemühung, Naturkatastrophen besser vorhersagen zu können, führten in der Meteorologie am Ende des 20. Jahrhunderts zur Entwicklung neuer Ansätze der Wettervorhersage. Seitdem spielte in der Wettervorhersage der Einsatz von Modellen eine immer wichtigere Rolle und löste die älteren deskriptiven Vorhersagemethoden mit zunehmender Genauigkeit und Zuverlässigkeit ab. Das grundlegende Instrument für die numerische Wettervorhersage ist das so genannte numerische Vorhersagemodell.

Da die Wettervorhersage mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, verlassen wir uns in der Praxis nicht ausschließlich auf die Ergebnisse eines einzigen Modells. Jedes einzelne numerische Vorhersagemodell (die Modelle werden in verschiedenen Zentren auf der ganzen Welt berechnet) hat seine Vor- und Nachteile, die durch den physikalischen Aufbau und die Abstimmung der Parameter bestimmt werden. Das bedeutet, dass es in bestimmten meteorologischen Situationen bessere Vorhersagen machen kann als ein anderes Modell oder es kann in einem bestimmten meteorologischen Element genauer sein, aber in anderen Situationen oder für ein anderes Element schlechtere Ergebnisse liefern.

Globale numerische Wettervorhersagemodelle in ihren deterministischen Versionen werden zur Berechnung des Risikos von Naturbränden auf [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) verwendet. Globale Versionen der Modelle werden bevorzugt, weil sie längerfristige Wettervorhersagen liefern als regionale Versionen, in der Regel für mehr als 5 Tage, haben aber im Gegensatz zu regionalen Modellen eine geringere räumliche Auflösung.

Für die Vorhersage des Wetters und der Brandgefahr wurden schließlich 5 numerische Vorhersagemodelle ausgewählt, die zu den besten der Welt gehören und gleichzeitig eine ausreichende Vorhersagelänge haben (Abb. 57). Die Modelle unterscheiden sich in ihrer räumlichen Auflösung und ihrer Vorhersagelänge. Im Allgemeinen gilt: Je länger die Vorhersage, desto schlechter ist die räumliche Kopplung des Modells.

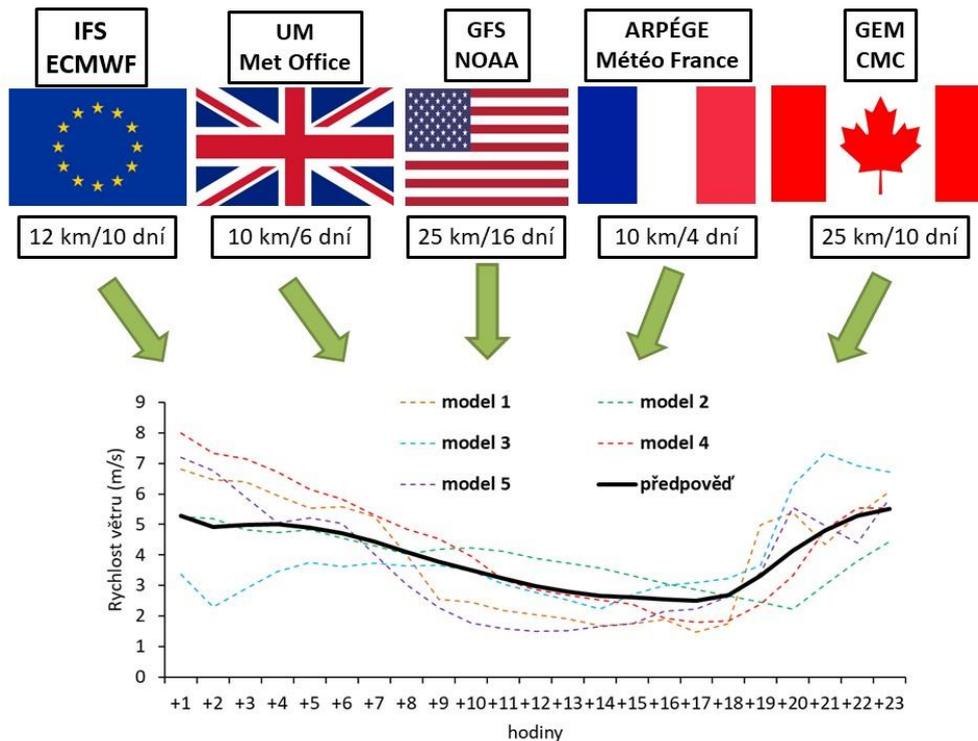


Abb. 57 Schematische Darstellung der verwendeten Modelle, ihrer Auflösung, die Länge der Vorhersage und das Prinzip der verschiedenen Ergebnisse sowie der Erstellung der wahrscheinlichsten Wetterentwicklung in den nächsten Stunden.

Um das Problem der unterschiedlichen räumlichen Auflösung der Modelle zu beseitigen, werden die Ergebnisse der einzelnen Modelle räumlich auf eine einheitliche Auflösung von 500x500 m interpoliert (Abb. 58). Die Interpolation erfolgt unter Berücksichtigung geografischer Parameter wie z.B. Höhenlage oder Geländeneigung.

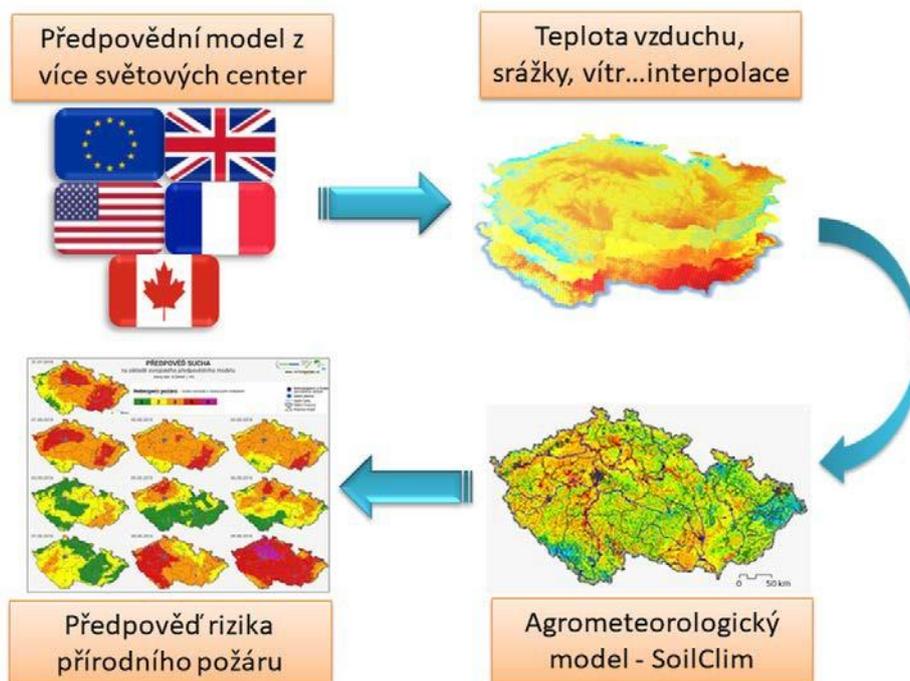


Abb. 58 Schema für die Erstellung einer Vorhersage des natürlichen Brandrisikos

Der Erfolg der Vorhersage wird durch den Vergleich mit dem realen Wert an einem bestimmten Tag bewertet, der auf der Grundlage gemessener meteorologischer Daten an CHMU (Tschechisches Hydrometeorologisches Institut) -Stationen berechnet wird. Da es sich bei dem Brandrisikoindex um eine berechnete Größe handelt, kann der Vergleich mit vorhergesagten Werten ungenauer ausfallen als bei einem direkten Vergleich der gemessenen Werte (z. B. Lufttemperatur, Niederschlag, usw.).

Die Erfolgsquote der Vorhersage nimmt logischerweise mit der Länge der Vorhersage ab. Die Vorhersage für "heute" und "morgen" ist natürlich am genauesten. Bei der Bewertung des absoluten MAE-Vorhersagefehlers (die Größe der Abweichung, unabhängig davon, ob sie positiv oder negativ ist) für das Untersuchungsgebiet fiel die Vorhersage für den nächsten Tag (D1) paradoxerweise am besten aus (Abb. 59). Das durchschnittliche Ausmaß des Fehlers im Zeitraum Juli-August 2022 betrug im Untersuchungsgebiet 0,43 Kategorien, was heißt 8,6 %. Am 9. Tag lag der Fehler dann bei weniger als 1 Kategorie (z. B. geringes statt mittleres Risiko). Insgesamt ist die Fehlerquote in den Sommermonaten aufgrund der weniger vorhersehbaren Niederschläge (Gewitter) im Jahresverlauf immer am höchsten.

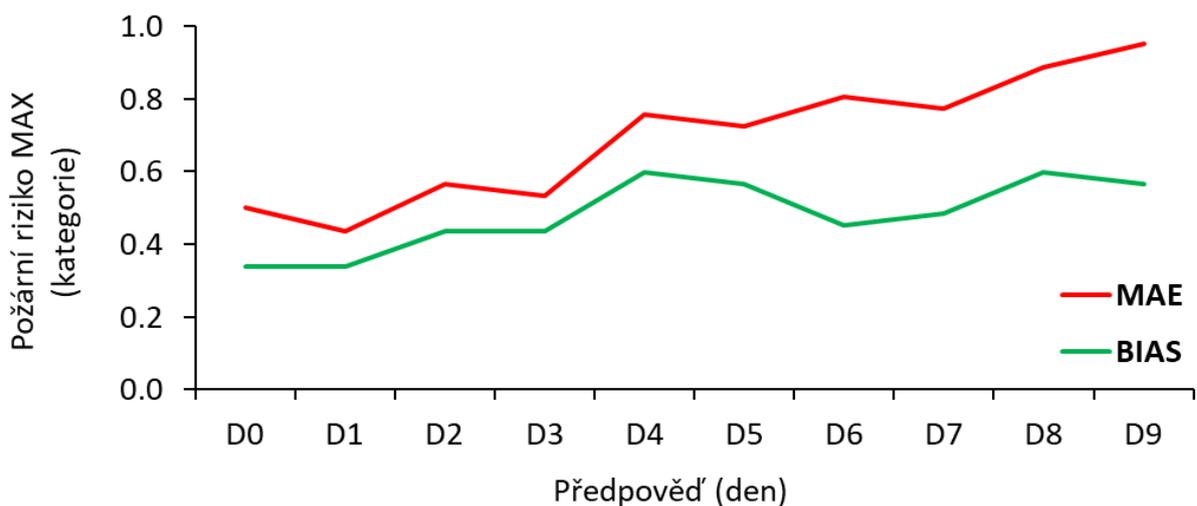


Abbildung 59 Absoluter Fehler (MAE) und Verzerrung (BIAS) der Vorhersage des maximalen Brandrisikos (zusammenfassender Index) für einen bestimmten Tag (D0) bis 9 Tage im Voraus (D9) für das Untersuchungsgebiet im Zeitraum vom 1.7 bis 31.8 2022.

Die systematische Abweichung der Prognose für das Gebiet war im Juli-August positiv. **Die Vorhersagen des Brandrisikoindex überschätzten also das Risiko im Vergleich zu den Berechnungen auf der Grundlage der Wetterstationen.** Nur an 11 von 62 Tagen war das Brandrisiko in der Vorhersage (Durchschnitt von D0 bis D9 an einem bestimmten Tag) niedriger als das tatsächliche Risiko (Abb. 60). Die größten Prognoseabweichungen im Juli-August 2022 lagen außerhalb der inkriminierten Brandperiode. Die erste Episode mit einer ungenauen Vorhersage war der 7-10.7.2022 und dann der 20-23.8.2022. Zum Zeitpunkt des Ausbruchs des Feuers hingegen basierte die Vorhersage aller Läufe (D0 bis D9) auf einem durchschnittlichen Fehler von bis zu einer halben Kategorie. Während der Brandepisode lag der höhere Vorhersagefehler nur am 30.7.2022 vor, als die Modelle ein geringes Risiko (D0-D3) oder ein mittleres Risiko (D4-D9) vorhersagten. In der acht Tage alten Vorhersage wurde sogar ein mittelhohes Risiko erwartet. Dieses war in Wirklichkeit nur geringfügig, da es in dem Gebiet Niederschläge gab, wenn auch nicht sehr intensive.

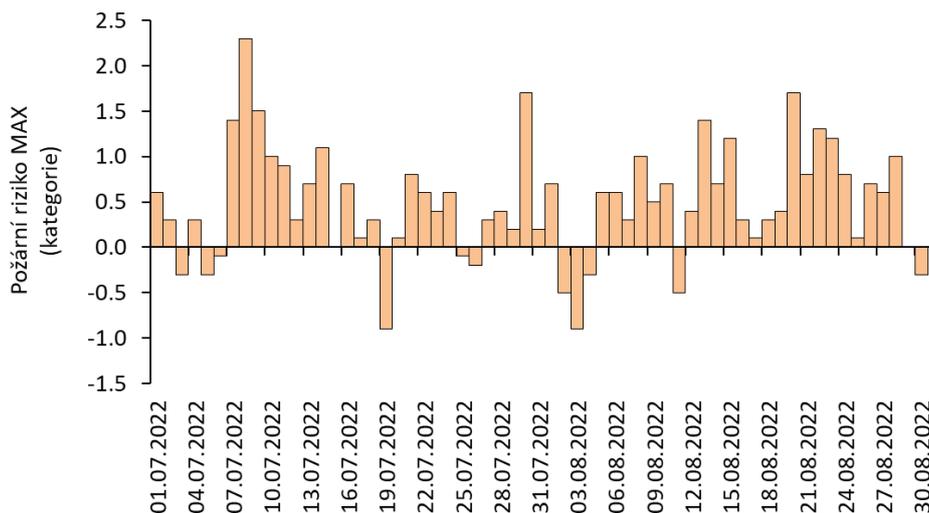


Abb. 60. Abweichung (BIAS) der Vorhersage des maximalen Brandrisikos (kumulierter Index für alle Längen D0 bis D9) für einzelne Tage für den Zeitraum 1.7.-31.8.2022

Wichtig für die Glaubwürdigkeit der Vorhersage ist auch, dass sie sich im Laufe der Zeit nicht verändert. So wird sich zum Beispiel die Vorhersage für 6 Tage nicht wesentlich von der berechneten Realität auf Grundlage der meteorologischen Daten unterscheiden. Die Zuverlässigkeitsanalyse wurde durch den Vergleich der Realität und der einzelnen Prognosen für jeden Tag von D0 bis D9 (d. h. bis zu 9 Tage im Voraus) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass 44,8 % aller Vorhersagen des Brandrisikoindex bei der Schätzung der Risikokategorie für den jeweiligen Tag völlig korrekt waren (Abbildung 61). Ein Fehler von einer Kategorie lag dann in 42,3 % der Fälle vor, wobei die Schätzung einer höheren Kategorie als die tatsächliche vorherrschte. Der Fehler bei zwei Risikokategorien lag dann nur noch bei 18,4 % und bei drei Kategorien bei 1,3 %. Dies kann als eine sehr zuverlässige und stabile Vorhersage über die gesamte Länge von bis zu neun Tagen bewertet werden.

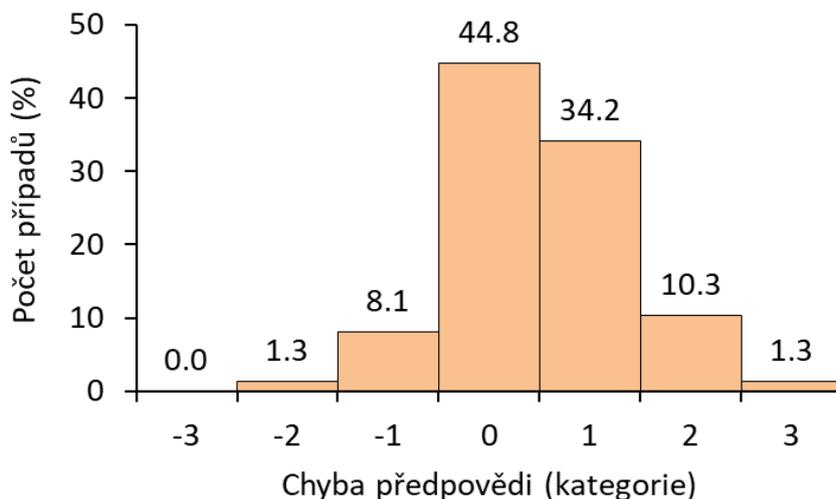


Abb. 61 Histogramm der Differenz zwischen dem prognostizierten maximalen Brandrisiko (kumulierter Index) und der Realität für einzelne Tage für den Zeitraum 1.7.-31.8.2022

Wie in Abbildung 62 zu sehen ist, erwarteten die Prognosen des Brandrisikoindex für Juli bis August 2022 in den Stufen D0 (an einem bestimmten Tag), D3 (3 Tage im Voraus) und D9 (9 Tage im Voraus) überwiegend ein mittleres oder höheres Brandrisiko. In der D0-Prognose wurde für 40 Tage ein mäßiges oder höheres Risiko vorhergesagt und für 13 Tage sogar ein mittelhohes Risiko erwartet. Noch pessimistischer war die Vorhersage für D3, wo sogar für 20 Tage ein mittelhohes Risiko erwartet wurde.

Die Vorhersage für neun Tage im Voraus (D9) hat sogar am stärksten vor einem ungünstigen Zeitraum gewarnt. An 46 Tagen (74 %) wurde ein mäßiges oder höheres Risiko erwartet, davon an 18 Tagen ein mittelhohes und an 2 Tagen sogar ein hohes Risiko.

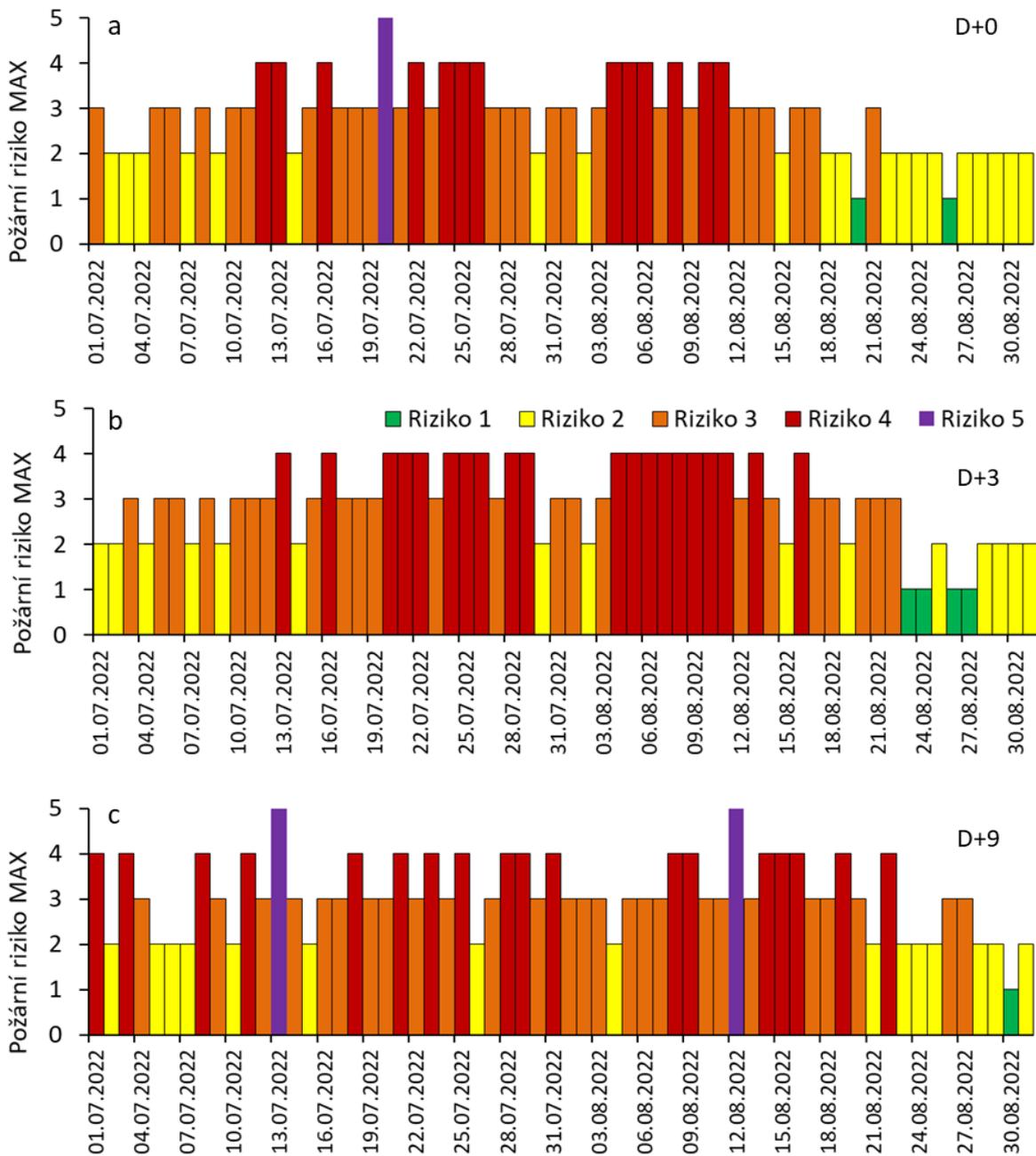


Abbildung 62 Vorhersage des maximalen Brandrisikos (zusammenfassender Index) für das Untersuchungsgebiet für einen bestimmten Tag (D+0), drei Tage im Voraus (D+3) und neun Tage im Voraus (D+9) für den Zeitraum vom 1. Juli bis 31. August 2022.

Die Analyse der einzelnen Tage zum Zeitpunkt der Brandentstehung (Abb. 63) zeigt, dass die Vorhersage des Brandrisikoindex (D0 bis D9) für ein bestimmtes Gebiet in den ersten Tagen in den meisten Fällen einen Fehler innerhalb einer Kategorie aufwies. Das tatsächliche Risiko war mäßig, während die Modelle häufig sogar ein mittelhohes Risiko vorhersagten. Demnach wird für die ersten Tage mit einer größeren Brandausbreitung 25-26.7.2022 ein mittelhohes Brandrisikomodell vorhergesagt, welches vom Modell

schon mehrere Tage im Voraus genau voraussagt wurde. Im Falle des 25.7.2022 hielt dies sogar praktisch für die gesamten 9 Tage. Für den 26.7.2022 wurde sogar schon 8 Tage im Voraus vor einem möglichen hohen Risiko gewarnt. Daraus lässt sich schließen, dass die Prognosen für den gesamten Zeitraum Juli-August 2022 von sehr hoher Qualität waren und ausreichend vor einem erheblichen Brandrisiko warnten. Die gleiche Schlussfolgerung gilt auch für die ersten Tage des Brandes, als das Vorhersagesystem [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) mit hoher Genauigkeit eindeutig ein mittleres oder mittelhohes Brandrisiko anzeigte.

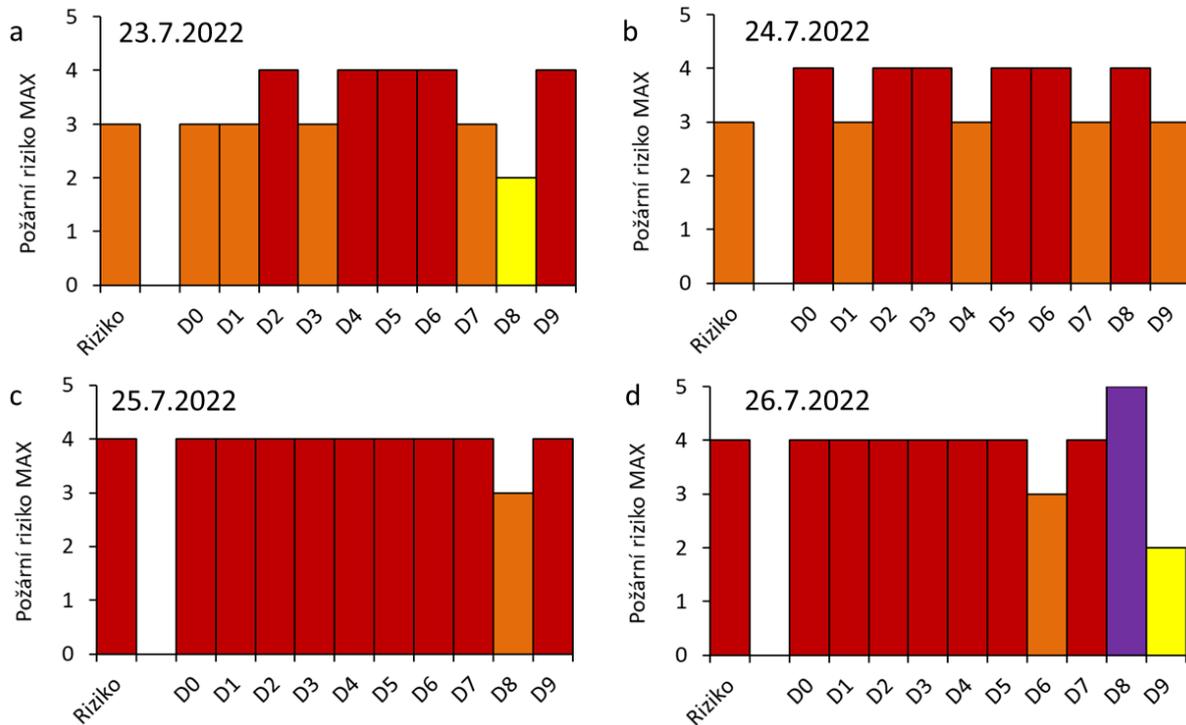


Abb. 63 Vorhersage des maximalen Brandrisikos (zusammenfassender Index) für das Untersuchungsgebiet für den Zeitraum des Brandausbruchs (23.-26. Juli 2022) - Risiko (Realität), Vorhersage für einen bestimmten Tag (D0) bis 9 Tage im Voraus (D9)

Natürlich unterscheiden sich die einzelnen Modelle in der Qualität der Vorhersage. **Vergleicht man zunächst die Vorhersagegenauigkeit der einzelnen Brandrisikoindizes für den angegebenen Zeitraum Juli bis August 2022, so liefert das australische FFDi-Modell bessere Ergebnisse (Abbildung 64).** Der durchschnittliche Fehler über alle fünf numerischen Vorhersagemodelle bis zu neun Tage im Voraus war für das australische Modell um 12,5 % geringer als für das kanadische FWi. **Die größten Unterschiede gibt es vor allem an den ersten Tagen der Vorhersage, an denen der Fehler des FWi-Modells bis zur Hälfte höher war als der des FFDi.** Die Unterschiede nehmen mit der Länge der Vorhersage ab.

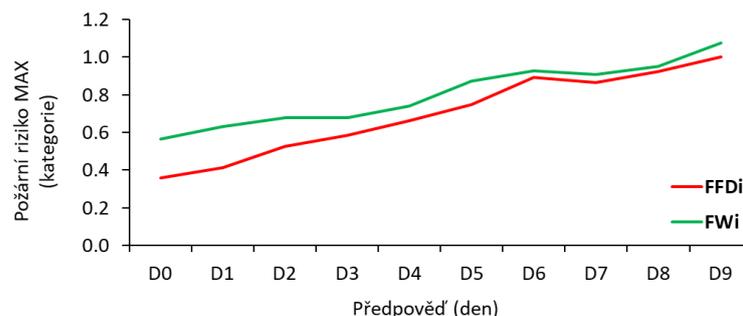


Abb. 64 Absoluter Fehler (MAE) der Vorhersage des maximalen Brandrisikos von zwei Brandindizes auf der Grundlage von fünf numerischen Vorhersagemodellen für einen bestimmten Tag (D0) bis 9 Tage im

Voraus (D9) für das Untersuchungsgebiet im Zeitraum vom 1. Juli bis 31. August 2022.

Die Qualität der einzelnen numerischen Vorhersagemodelle muss langfristig bewertet werden. In diesem Fall geht es jedoch um die Analyse der Genauigkeit der einzelnen Modelle über den Zeitraum, der die Entstehung und Ausbreitung des Brandes beeinflusst hat (Juli-August 2022). **Für beide Brandindizes FFDi- und auch FWi, weist nur das GFS-Modell eine höhere Unzuverlässigkeit auf, welches einen deutlich höheren Fehler als die anderen Modelle (Abb. 65) hat.** Andererseits hat das Modell das Risiko stärker überschätzt, als es die berechnete Realität gezeigt hat, was im Falle eines Warnsystems nicht schadet. Andere Modelle zeigten im Fall von FFDi ähnliche Ergebnisse. **Die Modelle GUM und CMC wiesen in diesem Zeitraum den geringsten absoluten Fehler auf, neigten aber im Gegensatz zu den anderen Modellen dazu, das Risiko leicht zu unterschätzen (vor allem im Fall des FFDi-Index).** Da man davon ausgeht, dass die berechnete Realität selbst aufgrund der Windgeschwindigkeitsmessungen leicht unterschätzt wird (siehe Kapitel 2 Brandgefahr), sind Modelle, die das Risiko höher als die Realität einschätzen, für das Warnsystem besser geeignet. Es wird daher empfohlen, weiterhin hauptsächlich das ECMWF IFS-Modell zu verwenden und sich stärker auf die australische FFDi-Brandindexvorhersage zu stützen.

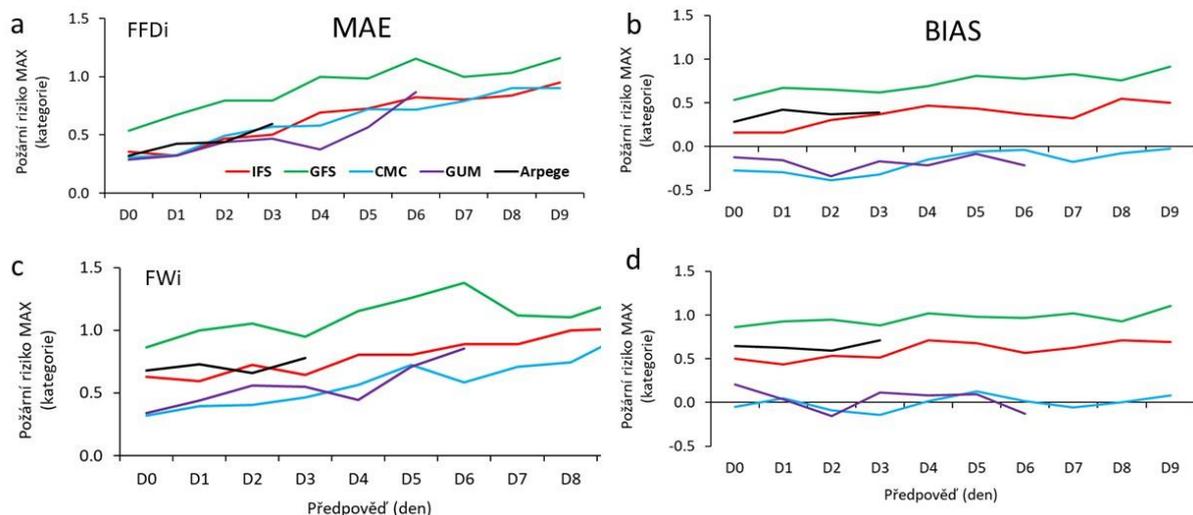


Abb. 65 Absoluter Fehler (MAE) und Abweichung (BIAS) der Vorhersage des maximalen Brandrisikos anhand von zwei Brandindizes und 5 numerischen Vorhersagemodellen für einen bestimmten Tag (D0) bis 9 Tage im Voraus (D9) für das Untersuchungsgebiet im Zeitraum vom 1. Juli bis 31. August 2022.

### Schlussfolgerungen des meteorologischen Teils

- Sieben Tage vor Ausbruch des Feuers begann eine Wärmeperiode mit Temperaturen von weit über 30 und 35 °C. Das sind Temperaturen, die bis zu 9°C höher sind als normal. Dies bedeutete ein mittelhohes Brandrisiko.
- Der Wind spielte eine große Rolle bei der schnellen Ausbreitung des Feuers. Obwohl die Böen zum Zeitpunkt des Brandes am 23. und 24. 7. 2022 eher durchschnittlich waren, kam es am 25. und insbesondere am 26. 7. 2022 zu einem Anstieg (3,2 m/s über dem Durchschnitt). Die erste Zunahme der Windgeschwindigkeit trat am 25. Juli 2022 in den Morgenstunden (8-10 Uhr) auf, und die stärkeren Winde hielten bis 17 Uhr an. Die zweite Folge begann am 26. Juli 2022 um 2 Uhr und dauerte bis 20 Uhr. Die dritte Folge begann dann am 27. Juli 2022 um 16 Uhr und dauerte nur drei Stunden. Die nächste Episode ereignete sich am 30.7.2022 (11-17 Uhr), als das Modell sie eher erwartete, aber es gab nur eine leichte Verstärkung an der Station. Einen Tag später zeigten die

Station und das Modell, dass es hauptsächlich zwischen 9 und 19 Uhr wehte. Die maximalen Windböen in diesen beschriebenen Episoden lagen ebenfalls zwischen 10-11 m/s (36-40 km/h) und bedeuten ein mäßiges Risiko für die Ausbreitung des Brandes.

- Der an den Stationen gemessene Wind wird in der Regel unterschätzt und die Windgeschwindigkeitswerte aus dem numerischen Vorhersagemodell ergeben eine realistischere Stärke. Selbst diese können stellenweise niedriger sein als in bestimmten Teilen des Nationalparks. Dies ist vor allem auf die komplizierte Geografie zurückzuführen, die weder das Modell noch die Stationsmessungen erfassen können.
- Die Feuchtigkeit des Brennstoffs oder des Bodens hatte einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung des Feuers und seine anschließende schnelle Ausbreitung. Die Brennstofffeuchte begann Mitte Juli zu sinken und ab dem 17. Juli 2022 bestand ein mittelhohes Risiko und vom 19. Juli bis 28. Juli 2022 sogar ein hohes Risiko, d. h. die relative Bodenfeuchte lag unter 10 % in 10 cm. Dies zeigt deutlich, dass die Zeit sehr trocken war. Schon lange vor dem Ausbruch des Feuers war klar, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffs gering und die Brandgefahr unter diesem Gesichtspunkt enorm war. **Die Situation ist jedoch im NP im Jahr 2022 einige Male vorgekommen und als grundsätzlich für die Entstehung des Feuers scheint die Weise, der Ort und der Zeitpunkt der Feuerentstehung zu sein.**

#### **Zusammenfassung des meteorologisch-klimatologischen Teils**

- Zur Verfügung steht ein Warnsystem für die Risiken zur Entstehung und Verbreitung von Waldbränden unter [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), das in Zusammenarbeit mit dem Institut für die Erforschung globaler Veränderungen der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik (CzechGlobe), dem tschechischen hydrometeorologischen Institut (CHMU) und dem Institut für Waldökosystemforschung (IFER) erstellt wurde. Dieses System ist öffentlich zugänglich und liefert Informationen über das aktuelle Risiko und Vorhersagen für die nächsten 7 Tage bis hin zur Katasterebene. Damit stehen der Nationalparkverwaltung, den Kommunen und dem integrierten Rettungswesen diese Informationen in vollem Umfang zur Verfügung, und sie sind auch für jeden zugänglich, der sich in der Landschaft bewegt.
- Die Risikoepisode dauerte also vom 15. Juli bis zum 18. August. An diesen 35 Tagen bestand ein mittleres Risiko, an 28 Tagen (in 80 % der Zeit) ein höheres Risiko.
- Das maximale Brandrisiko lag am Tag des Brandes in der mittleren Kategorie (Stufe 3 von 5) und stieg in den folgenden Tagen sogar auf die mittelhohe Stufe 4 von 5 an.
- Eine detaillierte stündliche Brandrisikoanalyse ergab, dass die kritischsten Tagesabschnitte vor dem Brand die Nachmittage des 19. Juli 2022 und des 20. Juli 2022 waren, als das Brandrisiko mittelhoch war. Zum Zeitpunkt des angenommenen Brandausbruchs war das Risiko vernachlässigbar, was jedoch auf die Nachtstunden zurückzuführen war, in denen das Feuer zwar hätte ausbrechen können, sich aber nicht wesentlich ausbreitete. Wichtig ist der Gesamtzustand vor dem Brand und die Bedingungen in den Stunden nach Ausbruch des Brandes. Im Laufe des 24.7.2022 verschlechterten sich diese erheblich, sodass sich das Feuer auszubreiten begann. In den Nachmittagsstunden herrschte ein mittleres Risiko und am 25.7.2022 gab es nach und nach auch mehrere Stunden mit mittelhohem Risiko, was auch am 26.7.2022 der Fall war. Die hohen Brandrisikowerte am 25. und 26. 7. 2022 entsprechen den Tagen, an denen sich das Feuer schnell ausbreitete.

- Für die Wettervorhersage und die Vorhersage der Brandgefahr werden auf [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) fünf numerische Vorhersagemodelle verwendet, die zu den besten der Welt gehören und eine ausreichende Vorhersagelänge haben.

Das durchschnittliche Ausmaß des Fehlers im Zeitraum Juli-August 2022 betrug im Untersuchungsgebiet 0,43 Kategorien, was heißt 8,6 %. Am neunten Tag lag der Fehler dann bei weniger als 1 Kategorie (z. B. anstatt eines mäßigen Risikos wurde ein geringes vorausgesagt). Insgesamt ist die Fehlerquote in den Sommermonaten aufgrund der weniger vorhersehbaren Niederschläge (Gewitter) im Jahresverlauf immer am höchsten.

- Für die ersten Tage der Brandperiode wies die Vorhersage des Brandrisikoindex (D0 bis D9) für ein bestimmtes Gebiet in den meisten Fällen einen Fehler innerhalb einer Kategorie auf, wobei das tatsächliche Risiko mäßig war und die Modelle häufig sogar ein mittelhohes Risiko vorhersagten. Für die ersten Tage mit einer größeren Brandausbreitung am 25. und 26. Juli 2022, trat ein mittelhohes Brandrisiko auf, was das Modell schon mehrere Tage im Voraus genau vorhersagte. Im Fall des 25.7.2022 hielt es diese Vorhersage sogar praktisch die gesamten 9 Tage aufrecht. Am 26.7.2022 wurde ganze 8 Tage im Voraus vor einem möglichen hohen Risiko gewarnt.
- Es kann festgestellt werden, dass die Vorhersagen für den gesamten Zeitraum Juli-August 2022 von sehr hoher Qualität waren und ausreichend vor einem erheblichen Brandrisiko warnten. Die gleiche Schlussfolgerung gilt auch für die ersten Tage des Brandes, als das Vorhersagesystem [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) mit hoher Genauigkeit eindeutig ein mäßiges oder mittelhohes Brandrisiko anzeigte.

## 6. 6. Bewertung von Bränden und ihrer Dynamik mit Hilfe des FlamMap-Modells

*Miroslav Trnka, Lucie Kudláčková, Markéta Poděbradská, Monika Bláhová, Pavel Zahradníček, Petr Štěpánek, Martin Možný, Jan Balek, Lucie Homolová, Jan Novotný, Jana Beranová, Emil Cienciala, Konsultation: Dana Verova, Mark Finney, Charles McHugh*

Das amerikanische FlamMap-Programm, das im Missoula Fire Sciences Laboratory, einem Teil des Forest Service U.S. Landwirtschaftsministeriums, entwickelt wurde, wird verwendet, um das Verhalten von Waldbränden in einem bestimmten Gebiet unter bestimmten Bedingungen zu kartieren und zu analysieren. Es dient der Analyse des Brandrisikos, wird aber auch zur Planung des kontrollierten Abbrennens in der Landschaft verwendet, um die Menge des Brennstoffs zu reduzieren. Die Anwendung dieses Modells ermöglicht es, die grundlegenden Merkmale eines Feuers zu bestimmen, einschließlich der Flammenlänge (Flame length), der Ausbreitungsgeschwindigkeit (Rate of spread) und der Intensität der Feuerlinie (Fireline intensity). Die Analyse dieser Risiken erleichtert die Entscheidung, ob ein Brand mit menschlicher Kraft eingedämmt werden kann oder ob schweres Gerät zur Brandbekämpfung eingesetzt werden muss. Das Programm ermöglicht die Simulation dieser Eigenschaften für definierte meteorologische und Umweltbedingungen. Die Analyse mit der Wettervorhersage ermöglicht spezifisches Brandverhalten, die anschließende Brandausbreitung und die Bedrohung für die Umgebung vorherzusagen. Das Programm ermöglicht die verschiedenen grundlegenden Merkmale eines Feuers anzuzeigen (siehe oben), potenzielle Brandstellen zu modellieren und darzustellen, wie sich ein Feuer ausbreiten kann und wohin es sich entwickelt.

In dieser Studie wurde mit dem FARSITE-Teil des FlamMap-Modells gearbeitet. FARSITE ermöglicht die Simulation der Brandentwicklung über längere Zeiträume unter heterogenen Bedingungen, die durch den vorhandenen Brennstoff, seinen Feuchtigkeitsgehalt und die Entwicklung des Wetters bestimmt werden. Für die Analyse und die entsprechende Simulation war es notwendig, räumliche Informationen über die Landnutzung und die Vegetationsbedeckung in dem betreffenden Gebiet zu erhalten. Es war notwendig, die räumliche Differenzierung der Landschaft zu bestimmen (z. B. Wiese, Kiefernwald mit niedrigem Unterholz, Fichtenwald, Wasserfläche, Bebauung usw.), die dem entsprechenden Brennstofftyp zugeordnet wurde, mit dem das Modell arbeitet und auf dessen Grundlage es die Brandparameter auswertet. Die Brennstoffarten wurden auf der Grundlage der von Scott und Burgan (2005) beschriebenen Methodik bestimmt. Das Programm enthält auch den Feuchtigkeitsgehalt der toten und lebenden Biomasse für jeden Brennstofftyp und die Baumkronenmerkmale des Waldbestandes. Eine weitere Eingabe, die erforderlich ist, sind Windgeschwindigkeit und -richtung oder andere meteorologische Daten (Temperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Bewölkung).

Der Eingabeneinstellung und die Kalibrierung der Eingabeschichten wurde in den Monaten 9 - 10/ 2022 direkt auf dem Gelände der Programmentwicklung beim US Forest Service in Missoula (USA) mit den Modellautoren Dr. Mark Finney und Charles McHugh durchgeführt.

Die folgenden acht spezifischen räumlichen Ebenen wurden verwendet, um die folgenden Ergebnisse zu verarbeiten, siehe Abb. 66.

Ein Beispiel für die Eingabeschicht des digitalen Gelände-, Neigungs- und Orientierungsmodells ist in Abb. 67-69 dargestellt.

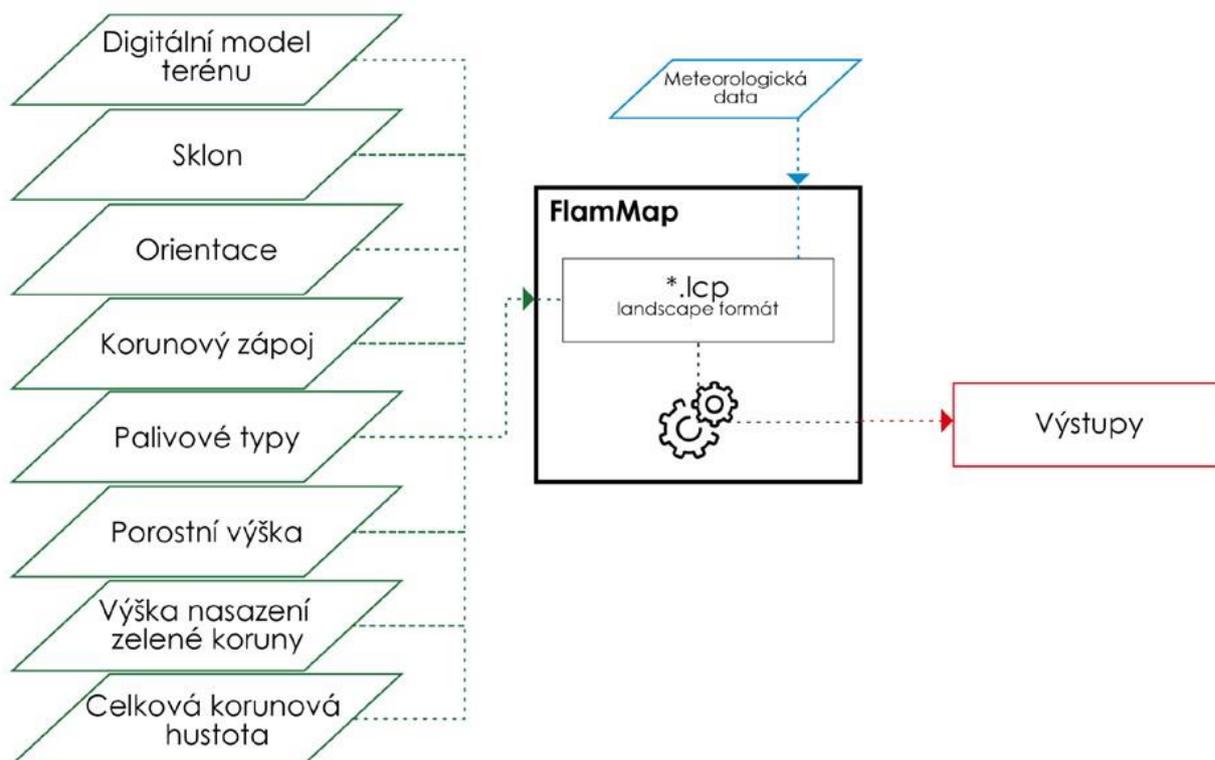


Abb. 66 Eingabeschichten für FlamMap bei einer Auflösung von 5 x 5 m

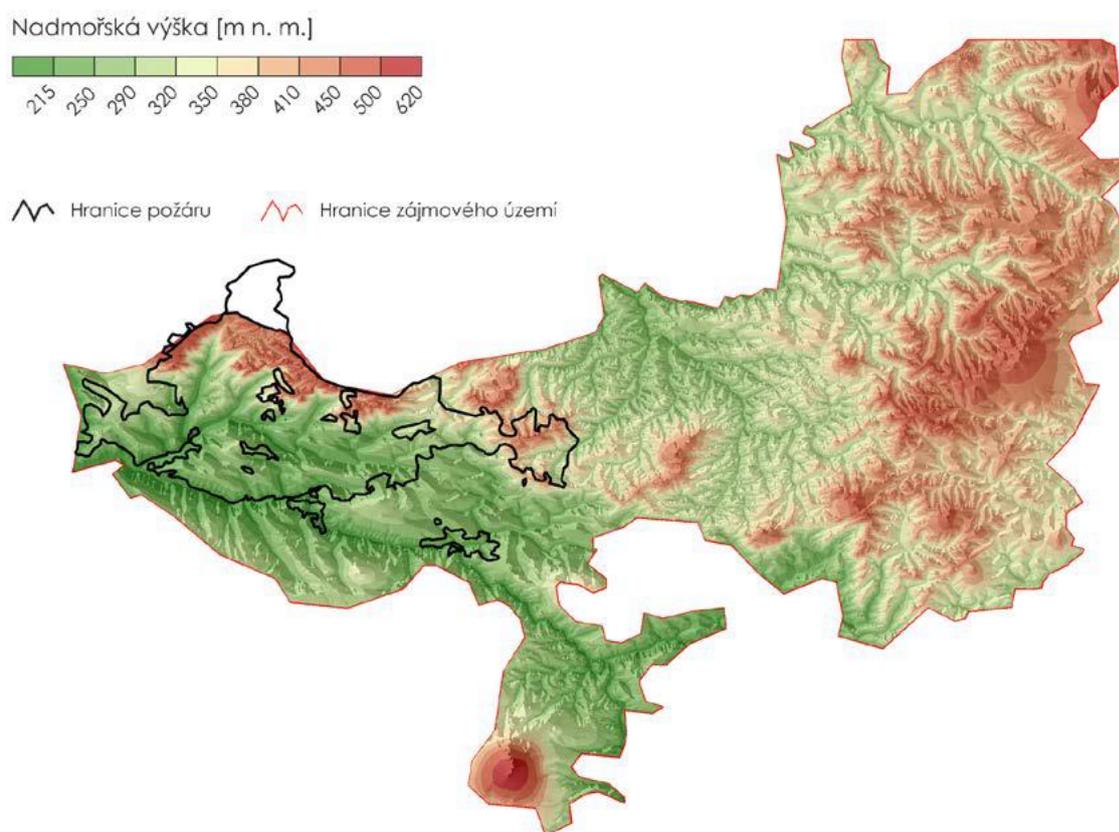


Abb. 67 FlamMap-Eingangsschicht in 5 x 5 m Auflösung, digitales Geländemodell

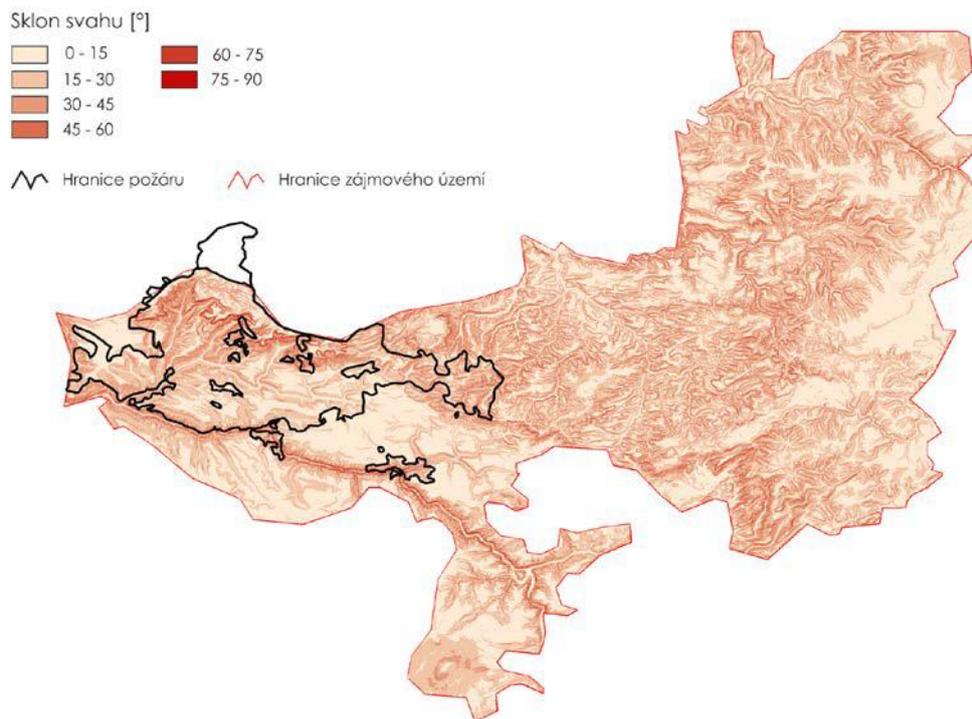


Abb. 68 FlamMap-Eingangsschicht mit 5 x 5 m Auflösung, Hangneigung

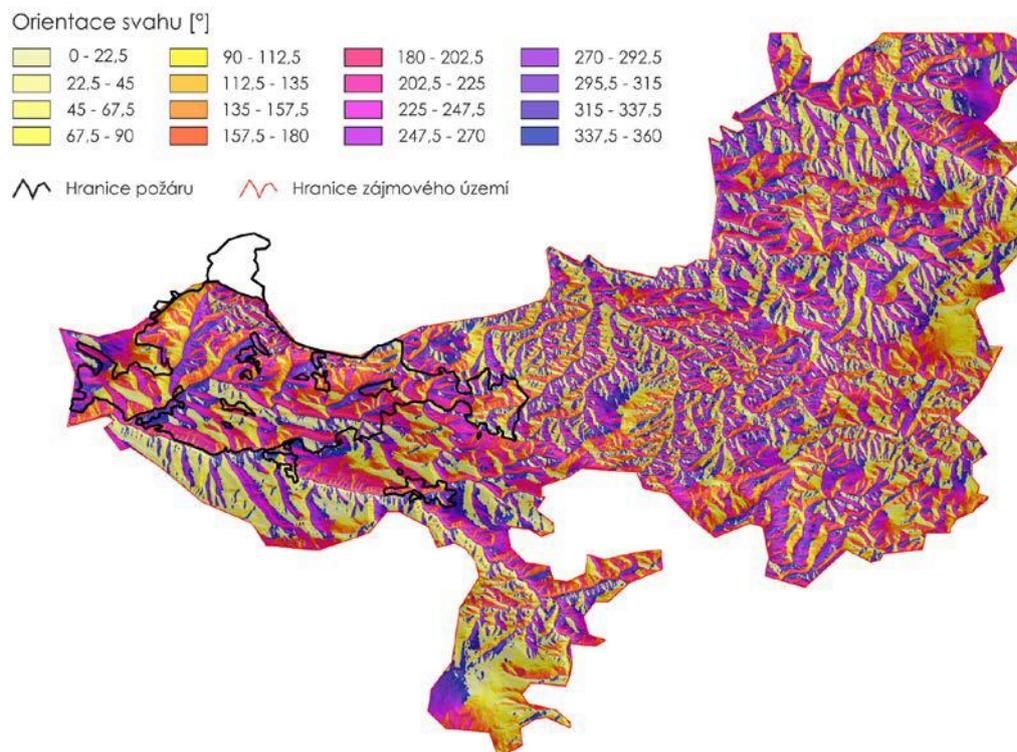


Abb. 69 Eingangsschicht zu FlamMap mit 5 x 5 m Auflösung, Hangorientierung

## Kurze Beschreibung der Schichten und ihres Erwerbs:

Als Quelle für das digitale Geländemodell diente die vom tschechischen Vermessungs- und Katasteramt (ČÚZK) verwaltete Datenbank DMR 4G. Aus dieser Quelle wurden mit Hilfe von GIS-Standardwerkzeugen weitere Schichten für die Neigung und die Hangausrichtung abgeleitet. Die Kronenbedeckung (der prozentuale Anteil der Fläche, der von der Baumkrone beschattet wird) und die Standhöhe wurden ebenfalls anhand von Daten ermittelt, die aus Luftaufnahmen aus dem Jahr 2021 (Quelle: Tschechische Universität für Landwirtschaft in Prag) und 2022 (Quelle: Czechglobe) gewonnen und verarbeitet wurden. Die Höhe des grünen Kronendachs und die Gesamtdichte des Kronendachs wurden auf der Grundlage von Vegetationsinformationen (z. B. Art, Beschattung, Alter) im Rahmen der in den Waldbewirtschaftungsplänen aufgeführten Bestandsgruppen ermittelt (Quelle: IFER und NP). Die wohl wichtigste Ebene sind die definierten Brennstoffarten. Scott und Burgan (2005) haben einen Leitfaden erstellt, in dem die einzelnen Brennstofftypen auf der Grundlage ihres Verhaltens im Rothermel-Modell für die Ausbreitung von Flächenbränden, das in FlamMap verwendet wird, kategorisiert sind. Die Brennstoffarten wurden auf der Grundlage verfügbarer Informationen aus den Waldbewirtschaftungsplänen des Nationalparks, dem öffentlichen Bodenregister (LPIS) und anderen öffentlich zugänglichen räumlichen Ebenen bestimmt. An der Erstellung der Schicht von Brennstofftypen haben sich Experten von CzechGlobe, IFER - Institute für die Erforschung von Waldökosystemen, Missoula Fire Sciences Laboratory und dem Nationalpark Böhmisches Schweiz intensiv beteiligt.

## Einführung in die Szenarien

Der folgende Abschnitt zeigt die Ergebnisse einer Reihe von Analysen, die wir mit dem FlamMap-Modell, bzw. FARSITE-Modell, durchgeführt haben, um die Brandausbreitung zu klären. Die erste Aufgabe des Teams war die Rekonstruktion des Brandverlaufs und kann als die wichtigste bezeichnet werden. Anhand dieses Szenarios wurde das Modell auf die spezifischen Bedingungen kalibriert, die während des Brandes im Nationalpark Böhmisches Schweiz herrschten. Die gewonnenen Informationen ermöglichen es dann, eventuelle Unklarheiten und Lücken zu schließen, insbesondere bei Fragen zur Art des Brandes (z. B. war es ein Kronenbrand?) oder der Ausbreitung (breitete sich das Feuer durch eine durchgehende "Front" aus oder wurde es auch durch die Bildung von Sekundärherden, so genannten "Spotting" usw. unterstützt). In den nächsten Schritten wurden die wichtigsten klimatischen Faktoren, die zur Ausbreitung des Feuers beitragen, anhand von Szenarien isoliert. Zuletzt haben wir versucht, das mögliche Verhalten eines Brandes in einer Situation zu demonstrieren, wenn an der Stelle des Brandes nach Borkenkäferbefall große Lichtungen bleiben würden, oder wie ein Brand in einem nicht vom Borkenkäfer geschädigten Fichtenwald verlaufen würde.

Angesichts der Tatsache, dass mit einem Modell gearbeitet wird, muss man sich darüber im Klaren sein, dass ein Modell niemals die Realität zu 100 % abbilden kann. Es gibt noch viele Informationen, die derzeit nicht verfügbar sind und nicht in die Modellierung einfließen (z. B. Brandbekämpfung und Löschung, genaue meteorologische Parameter vom Brandort).

### 1) Realitätsszenario

*Die Parameter für die Herstellung dieses Szenarios sind im Folgenden aufgeführt. In den folgenden Szenarien wurden diese Parameter übernommen und an die Bedürfnisse des jeweiligen Szenarios angepasst. Diese Änderungen werden in der Einleitung der jeweiligen Szenarien beschrieben.*

Anhand der verfügbaren Informationen der FireRisk-Station zur Überwachung der Brennstofffeuchte, die sich direkt im NP (Standort Mezní Louka (Rainwiese)) befand und während des Brandes abbrannte, wurde deutlich, dass die Feuchtigkeit des toten Brennstoffs niedrig war. Unmittelbar vor und während des Brandes lagen die 10-Stunden-Werte für den Brennstoff zwischen 6 und 11 % Feuchtigkeit. Die verfügbaren Messdaten erleichterten die Anpassung der Feuchte des toten Brennstoffes für die Brandsimulation. Die Werte für toten Brennstoff außerhalb des lebenden Waldes wurden auf die Werte

6, 7, 8% gesetzt, was den Standardeinstellungen von FlamMap entspricht. Der tote Brennstoff in lebenden Waldbeständen wurde auf 3, 4 und 5 % festgelegt. Dies ist auf die Beobachtung zurückzuführen, dass in lebenden, stehenden Wäldern vor dem Brand im Stationsnetz des Instituts für Botanik der Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik niedrigeren Bodenfeuchtigkeit gemessen wurde als in anderen Vegetationstypen, insbesondere in Trockengebieten. Die Feuchtigkeit des lebenden Brennstoffes für den krautigen Boden wurde auf 60 % festgelegt (für bestimmte Brennstoffarten wurde der Wert auf 90 % erhöht) und 90 % für die Baumschicht. Der Feuchtigkeitsgehalt des Laubes wurde auf 80 % festgelegt. Diese Werte beruhen auf Scott und Burgan (2005) und wurden mit Experten des Missoula Fire Sciences Laboratory abgestimmt.

Der Zeitraum für die Brandsimulation wurde von 1:00 Uhr am 24.07.2022, den die NP-Verwaltung als realistischen Ausbruchzeitpunkt festlegte, bis 22:00 Uhr am 26.07.2022, als sich das Feuer fast bis zu seiner endgültigen Ausdehnung ausgebreitet hatte, definiert. Die Brennstoffanpassung erfolgte 4 Stunden vor dem Brand. Die Simulationen wurden mit dem implementierten WindNinja-Modell durchgeführt, das auf der Eingabe von Stationsdaten für Windgeschwindigkeit und -richtung basiert und die genauesten Ergebnisse der Windbewegung im Terrain modelliert. Weitere Einzelheiten zum WindNinja-Modell finden Sie in der zertifizierten Methodik von Trnka et al. (2021).

Die räumliche Auflösung wurde bei jeder Simulation so hoch wie möglich gewählt (5 × 5 m), um die Ergebnisse so wenig wie möglich zu glätten. Der Fluss Kamenice (Kamnitz) wurde bei der Modellierung als Hindernis bezeichnet. Für die Simulation von Kronenbränden wurde das Scott/Reinhardt-Modell verwendet.

Für die Modellierung wurden meteorologische Daten der meteorologischen Station Tokáň verwendet, die sich im östlichen Teil des Nationalparks befindet und relativ weit vom eigentlichen Feuer entfernt ist. Es handelt sich um die nächstgelegene Wetterstation, die vom NP betrieben wird. Aus der Datenanalyse geht hervor, dass diese Station im Verhältnis zu den umliegenden verfügbaren Stationen des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts (Entfernung, Höhe, Gelände) am besten geeignet ist. Um das korrekte Ausmaß dieses Brandes zu erfassen, der sich im Laufe von drei Tagen im Wesentlichen bis zu seiner endgültigen Ausdehnung ausbreitete, ist es notwendig, die gemessenen Werte der Böen künstlich zu erhöhen. Dieses Verfahren wird auch am Entwicklungsstandort Missoula angewandt, denn es ist klar, dass die fern gelegene Wetterstation nicht die tatsächlichen Winde am Brandort erfassen kann. Aus den im meteorologisch-klimatologischen Teil vorgestellten Analysen, aber auch aus den Ergebnissen des FlamMap-Modells selbst geht hervor, dass die gemessenen Werte der Windgeschwindigkeit an den meteorologischen Stationen leider deutlich unterschätzt (unter dem tatsächlichen Wert) werden. Nicht zuletzt ist zu bedenken, dass ein Feuer dieser Größenordnung die Luftströmung beeinflusst, die durch das besondere Gelände des Nationalparks (Schluchten, Felsformationen) erheblich verstärkt wurde. Dies wird auch durch die gesammelten Zeugenaussagen der Mitarbeiter des Nationalparks und des AOPK (Agentur des Natur- und Landschaftsschutzes) bestätigt.

## Palivové typy

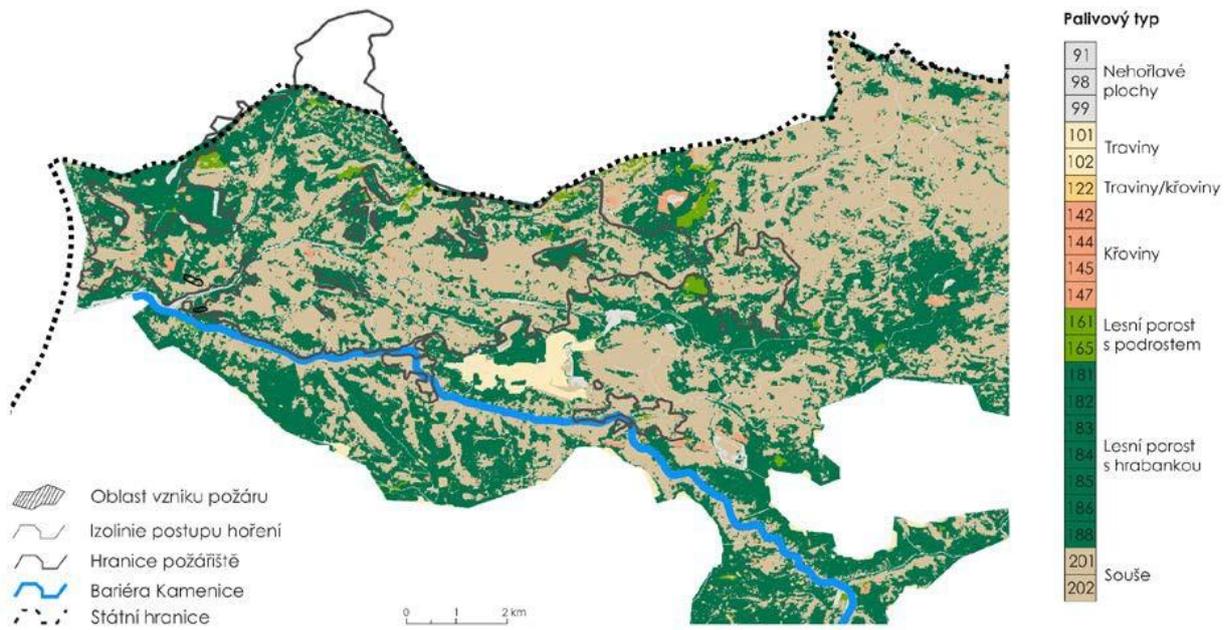


Abb. 70 Eingabeschicht für FlamMap mit einer Auflösung von 5 x 5 m, Brennstoffarten für Szenario 1

Postup hoření [min]

Míra šíření [m/min]

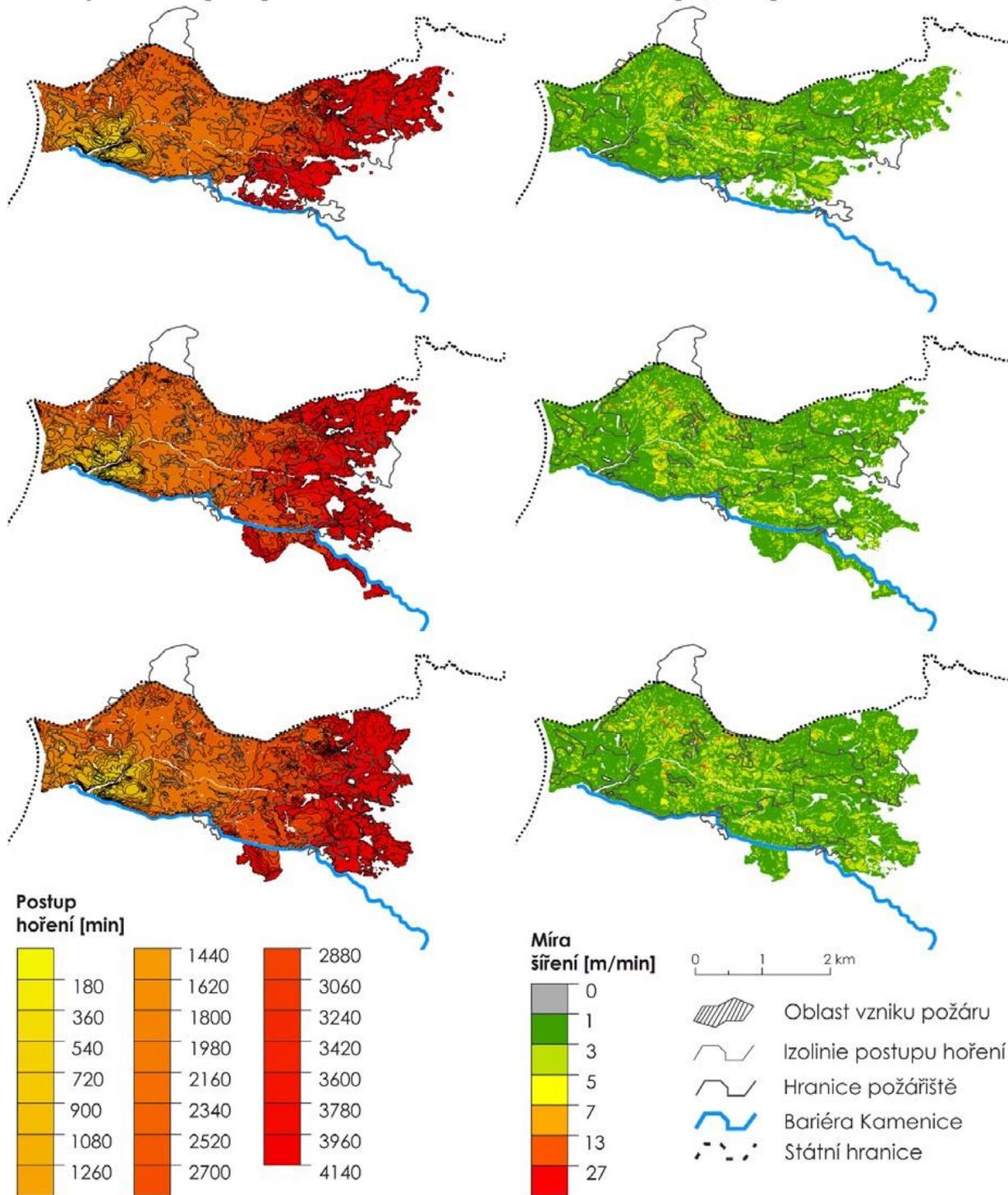


Abb. 71 Beispiel für drei Simulationen, die den realen Brandverlauf mit den derzeit verfügbaren Informationen widerspiegeln, am Beispiel der Brandmerkmale Brandverlauf und Ausbreitungsgeschwindigkeit

Délka plamene [m]

Intenzita požáru [kW/m]

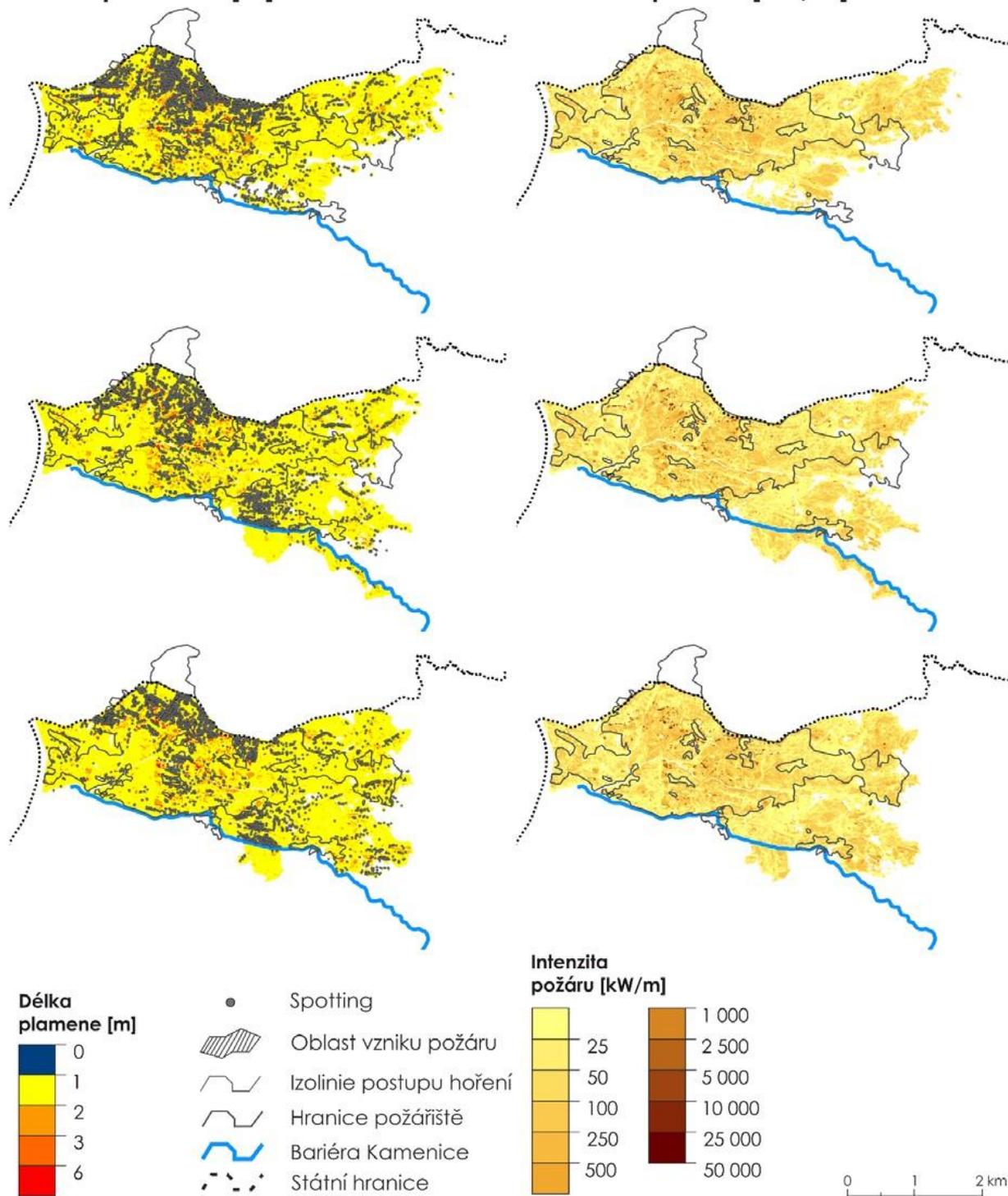


Abb. 72 Beispiel für drei Simulationen, die den realen Brandverlauf mit den derzeit verfügbaren Informationen widerspiegeln, am Beispiel der Brandmerkmale Flammenlänge und Brandintensität

## 2) Szenario der gemessenen durchschnittlichen Windgeschwindigkeit und Böen

Im zweiten Szenario wurden zwei verschiedene Modelle simuliert, wobei in Teil A) die gemessene durchschnittliche Windgeschwindigkeit und in Teil B) die gemessenen Werte der Windböen an der Tokaň-Station verwendet wurden. Dieses Szenario arbeitet daher mit niedrigeren Windwerten als Szenario 1.

Aus den beiden folgenden Abbildungen (Abb. 73 und 74) ist ersichtlich, dass die geringere Windgeschwindigkeit eine kleinere Brandfläche verursacht, so dass sich das Feuer in Szenario 2 nicht in der Form ausbreitet, wie es in der realen Situation der Fall war. Dies bestätigt auch die obige Aussage, dass die Wetterstation das meteorologische Element - den Wind - unterschätzt. Außerdem können am Standort der Wetterstation andere Wetterbedingungen geherrscht haben.

## 2A) STÜNDLICHE DURCHSCHNITTLICHE WINDGESCHWINDIGKEIT

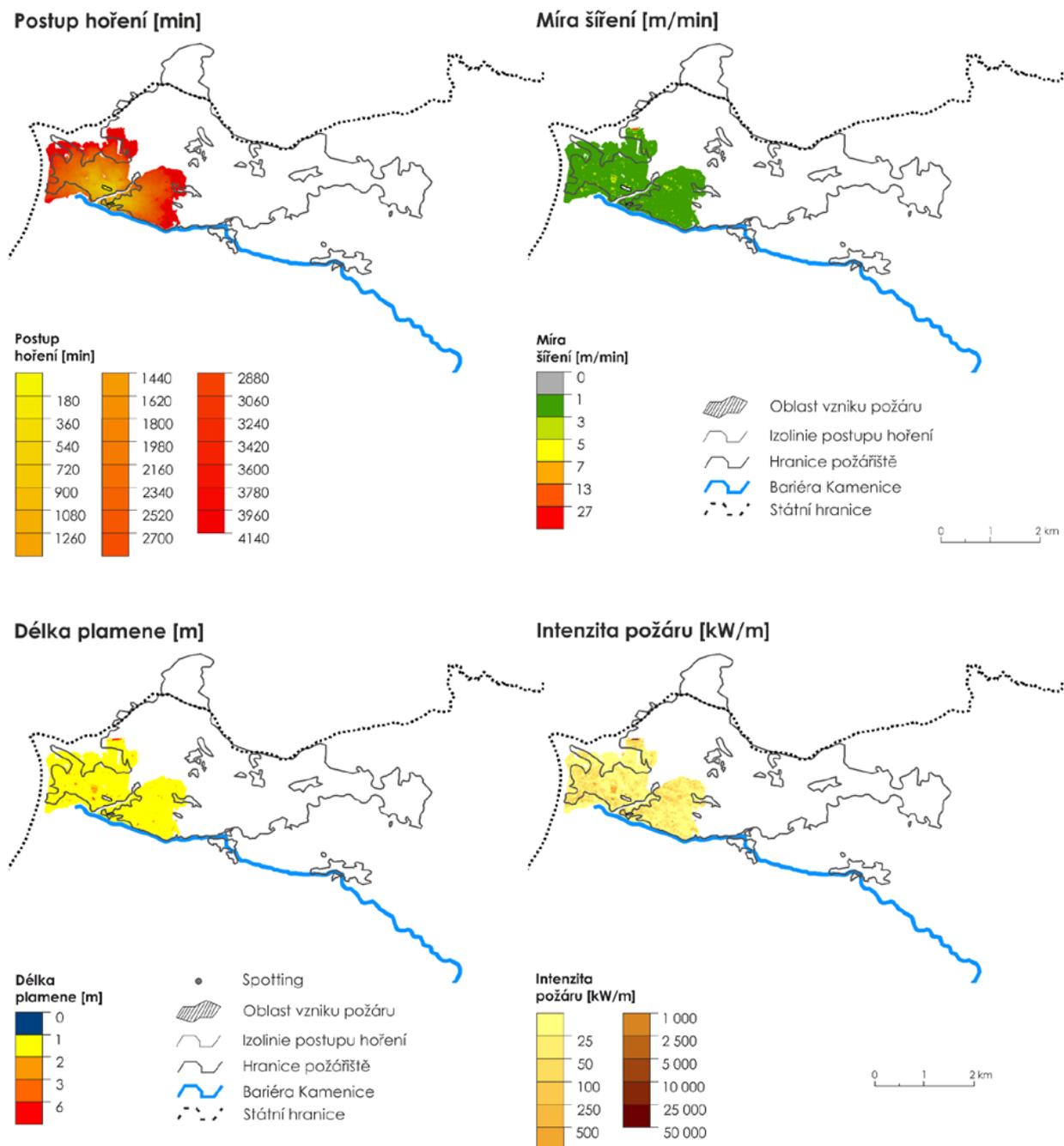
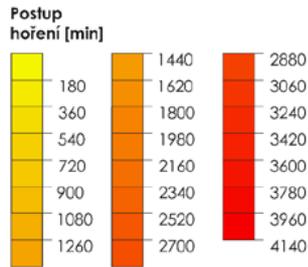
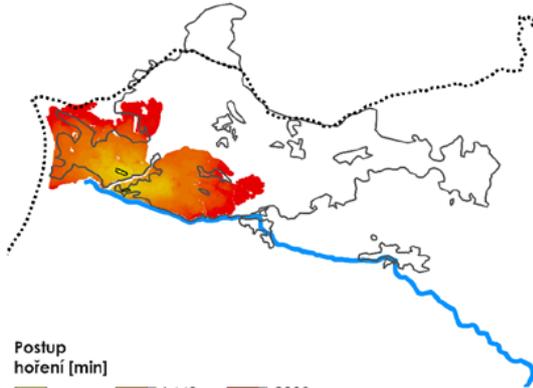


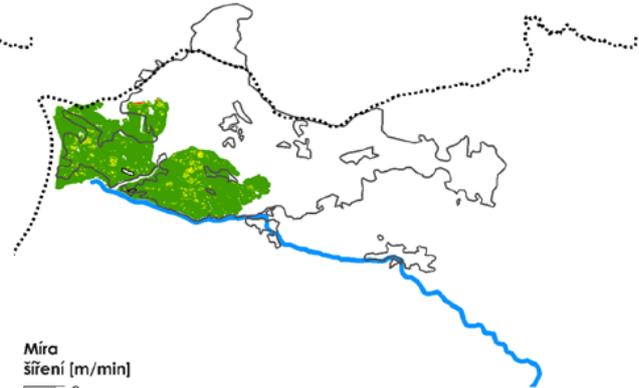
Abb. 73 Verbrennungsfortschritt und Ausbreitungsrate unter veränderten Windbedingungen (durchschnittliche Geschwindigkeit und Richtung an der meteorologischen Station Tokaň)

## 2B) STÜNDLICHE WINDBÖEN UND ENTSPRECHENDE WINDRICHTUNG

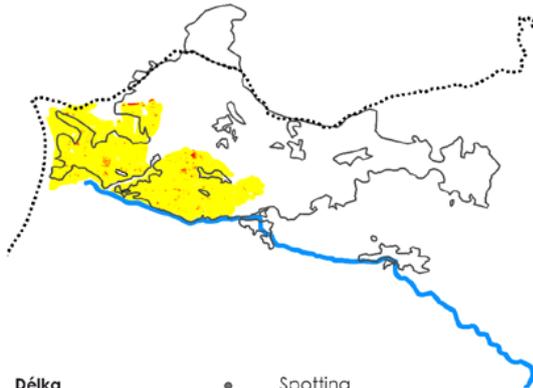
Postup hoření [min]



Míra šíření [m/min]



Délka plamene [m]



Intenzita požáru [kW/m]

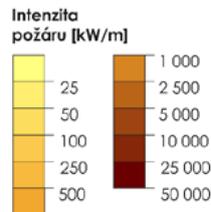
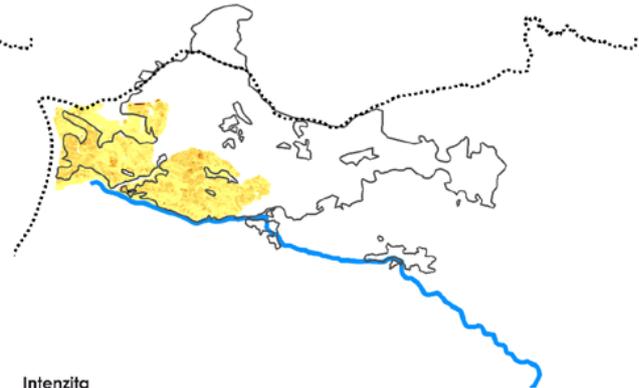
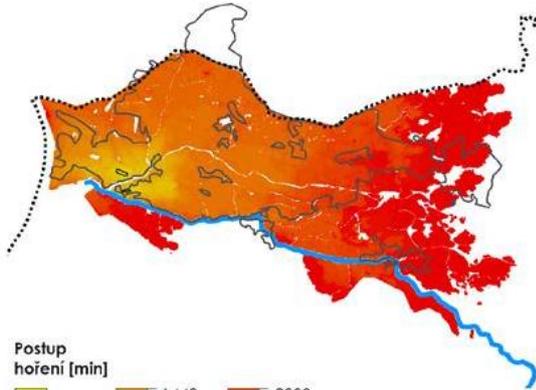


Abb. 74 Verbrennungsfortschritt und Ausbreitungsmaß unter veränderten Windbedingungen (gemessene Windböen und entsprechende Richtung an der meteorologischen Station Tokáň)

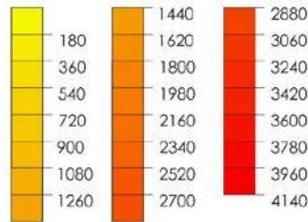
### 3) Szenario zur Temperatursenkung

In Szenario 3 wurden Simulationen durchgeführt, bei denen die Temperatur um 20 % und dann um 50 % im Vergleich zur gemessenen Temperatur an der Tokáň-Station reduziert wurde. Die anderen Eingangsparameter wurden auf den gleichen Einstellungen wie in Szenario 1 belassen. Die Ergebnisse der Verläufe sind in Abb. 75 und Abb. 76 zu sehen.

Postup hoření [min]



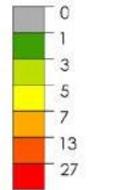
Postup hoření [min]



Míra šíření [m/min]



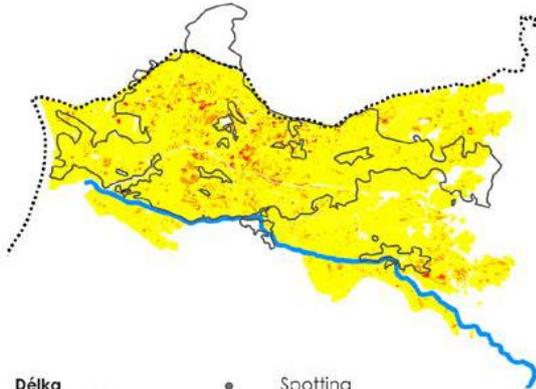
Míra šíření [m/min]



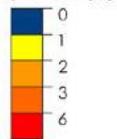
- Oblast vzniku požáru
- Izolinie postupu hoření
- Hranice požářiště
- Bariéra Kamenice
- Státní hranice



Délka plamene [m]

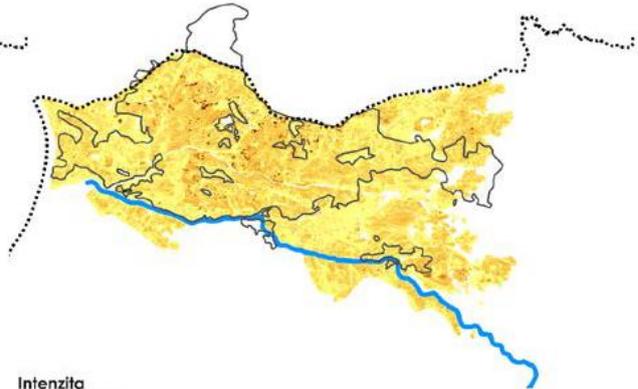


Délka plamene [m]



- Spotting
- Oblast vzniku požáru
- Izolinie postupu hoření
- Hranice požářiště
- Bariéra Kamenice
- Státní hranice

Intenzita požáru [kW/m]



Intenzita požáru [kW/m]

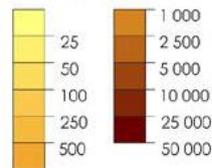
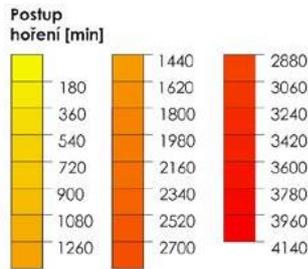
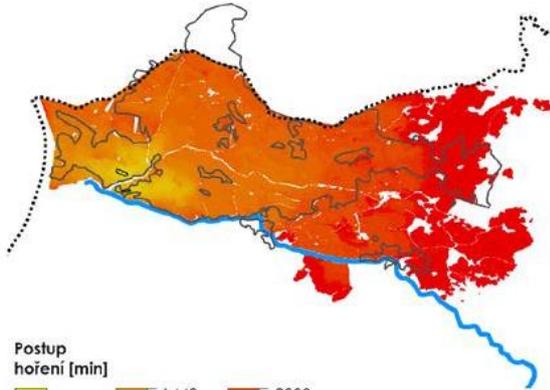
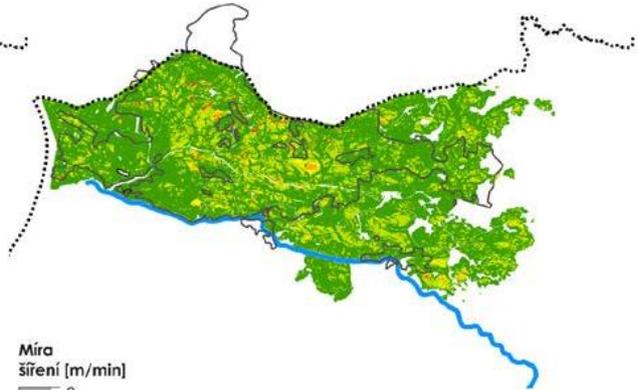


Abb. 75 Simulation eines Brandes mit einem Temperaturrückgang von 20 % im Vergleich zur gemessenen Temperatur an der meteorologischen Station Tokáň, alle anderen Parameter blieben gleich wie in Szenario 1.

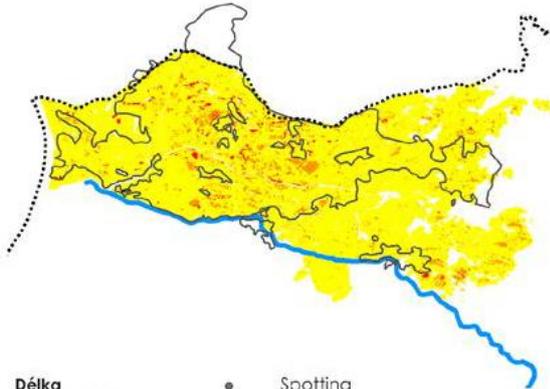
Postup hoření [min]



Míra šíření [m/min]



Délka plamene [m]



Intenzita požáru [kW/m]

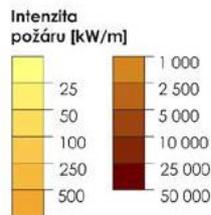
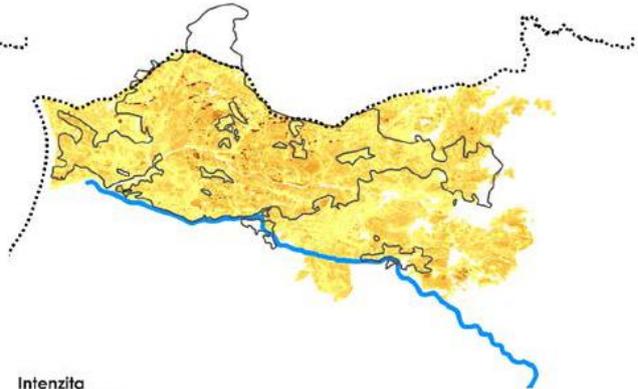
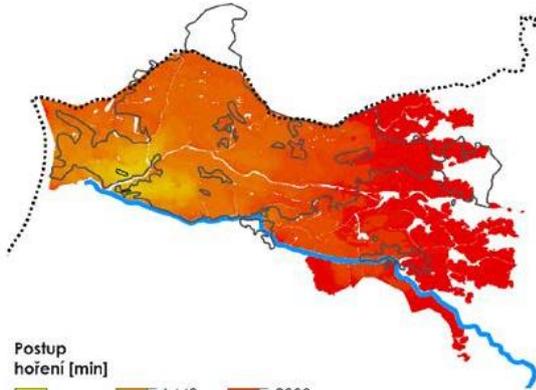


Abb. 76 Simulation eines Brandes, bei dem die Temperatur im Vergleich zur gemessenen Temperatur an der meteorologischen Station Tokaň um 50 % reduziert wurde, alle anderen Parameter blieben gleich wie in Szenario 1.

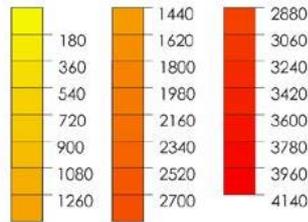
#### 4) Szenario ohne Dürre

In Szenario 4, das eine Situation ohne Trockenheit simuliert, wurde die höhere Feuchtigkeit des toten und lebenden Brennstoffs im Modell entsprechend den in Scott und Burgan (2005) vorgestellten Szenarien verwendet. Alle anderen Parameter wurden wie in Szenario 1 beibehalten.

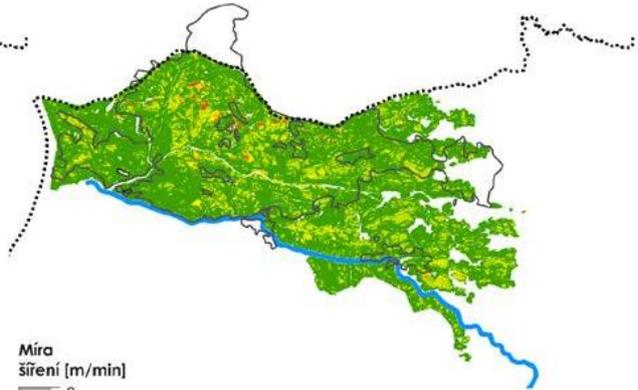
Postup hoření [min]



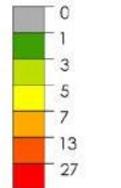
Postup hoření [min]



Míra šíření [m/min]



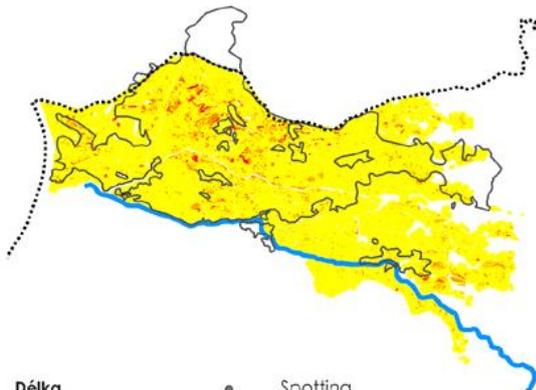
Míra šíření [m/min]



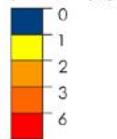
- Oblast vzniku požáru
- Izolinie postupu hoření
- Hranice požářiště
- Bariéra Kamenice
- Státní hranice



Délka plamene [m]

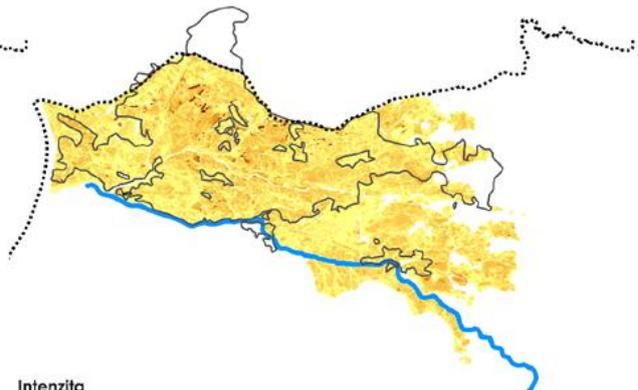


Délka plamene [m]

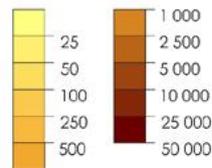


- Spotting
- Oblast vzniku požáru
- Izolinie postupu hoření
- Hranice požářiště
- Bariéra Kamenice
- Státní hranice

Intenzita požáru [kW/m]

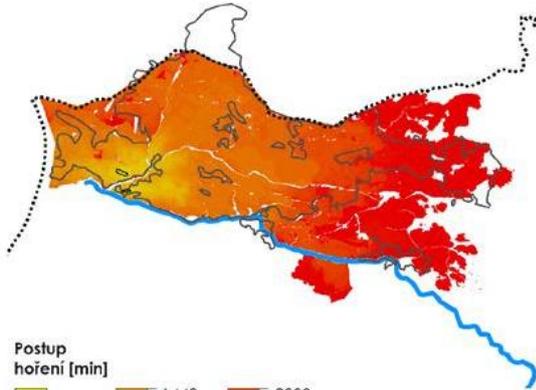


Intenzita požáru [kW/m]

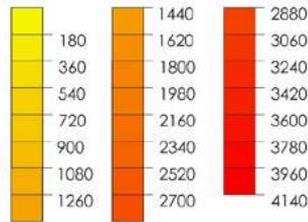


In Abb. 77 wurde für den toten Brennstoff das Szenario Moderate (D3) verwendet, das Werte von 9, 10 und 11 % erreichte und für den lebenden Brennstoff wurde ebenfalls das Szenario Moderate (L3) verwendet, das Werte von 90 und 120 % darstellt.

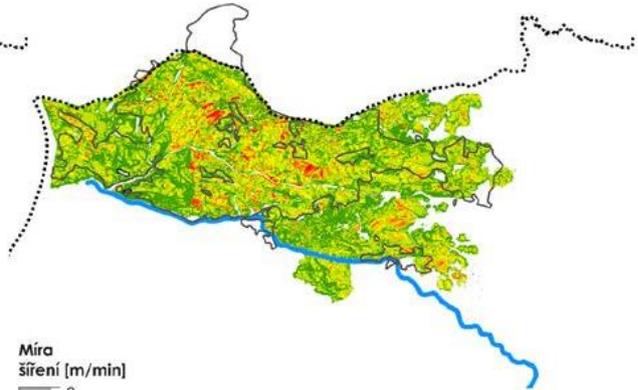
Postup hoření [min]



Postup hoření [min]



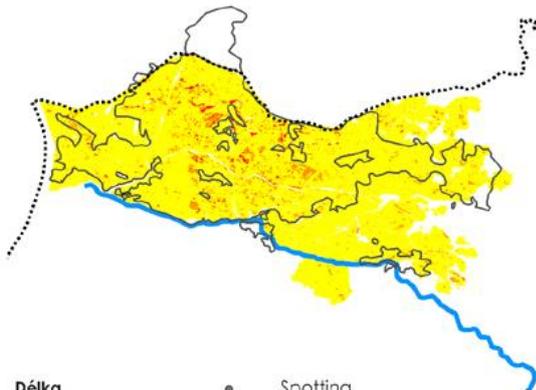
Míra šíření [m/min]



Míra šíření [m/min]



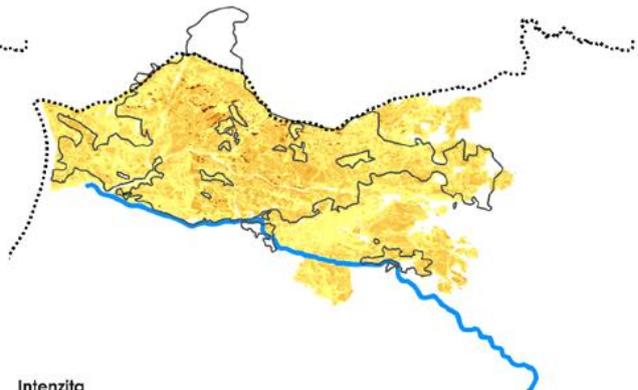
Délka plamene [m]



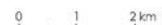
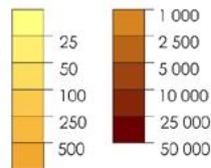
Délka plamene [m]



Intenzita požáru [kW/m]



Intenzita požáru [kW/m]



In Abb. 78 wurde das höchste gemeldete Szenario für hohe Feuchtigkeit (high, D4) mit Werten von 12, 13 und 14 % verwendet und für lebenden Brennstoff wurden die Werte auf 120 und 150 % gesetzt, was vollständig grüner, nicht ausgehärteter Vegetation entspricht (fully green, uncured).

### 5) Szenario stehender gesunder Fichtenwald

Szenario 5 simulierte das Brandverhalten in einem gesunden Fichtenwald, der in dem Gebiet vor 2018 vorhanden war, als eine großflächige Borkenkäferkatastrophe im NP-Gebiet begann. In diesem Fall wurde die Art des Brennstoffs geändert, um den Fichtenbestand widerzuspiegeln und anschließend wurden auch die Ebenen in Bezug auf die Merkmale des Kronendachs und die Kronenbedeckung geändert.

In diesem Fall wurde die Feuchtigkeit des toten Brennstoﬀs unter der Waldbewuchs auf 3, 4, 5 % reduziert, während sie im Rest der Landschaft auf 6, 7, 8 % festgelegt wurde. Die Feuchtigkeit des lebenden Brennstoﬀs im Unterholz und in den Bäumen wurde auf 60 und 90 % festgelegt.

### Palivové typy

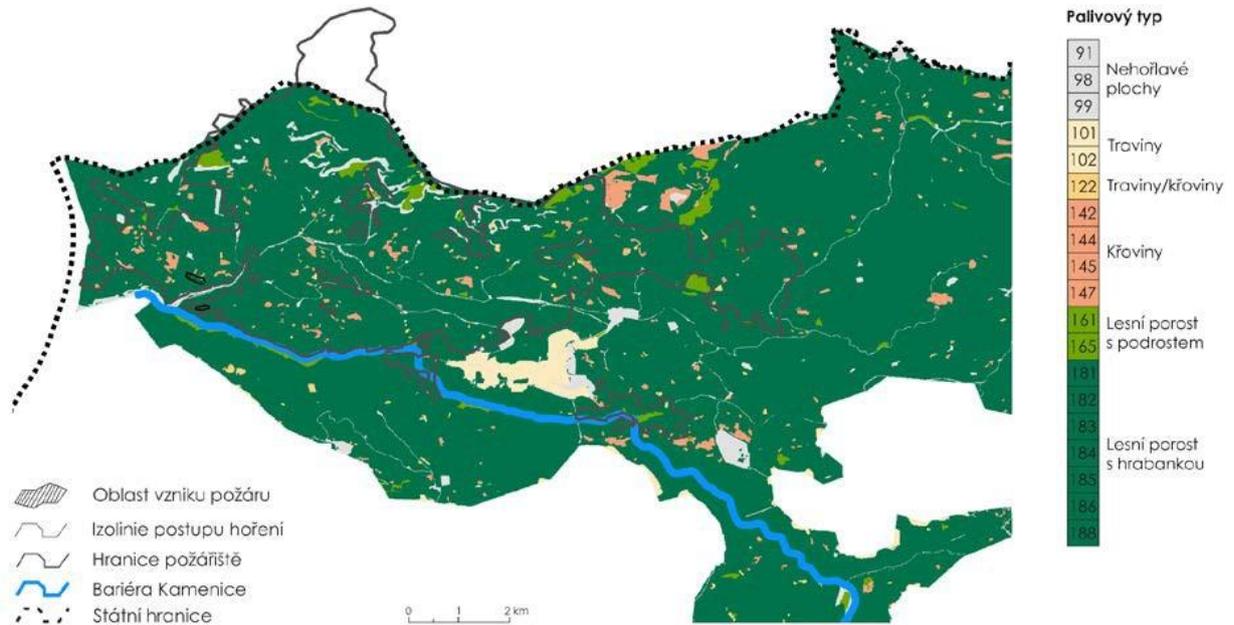


Abb. 79 Eingabeschicht für das Programm FlamMap mit einer Auflösung von 5 × 5 m, Brennstoﬀarten für Szenario 5

Postup hoření [min]

Míra šíření [m/min]

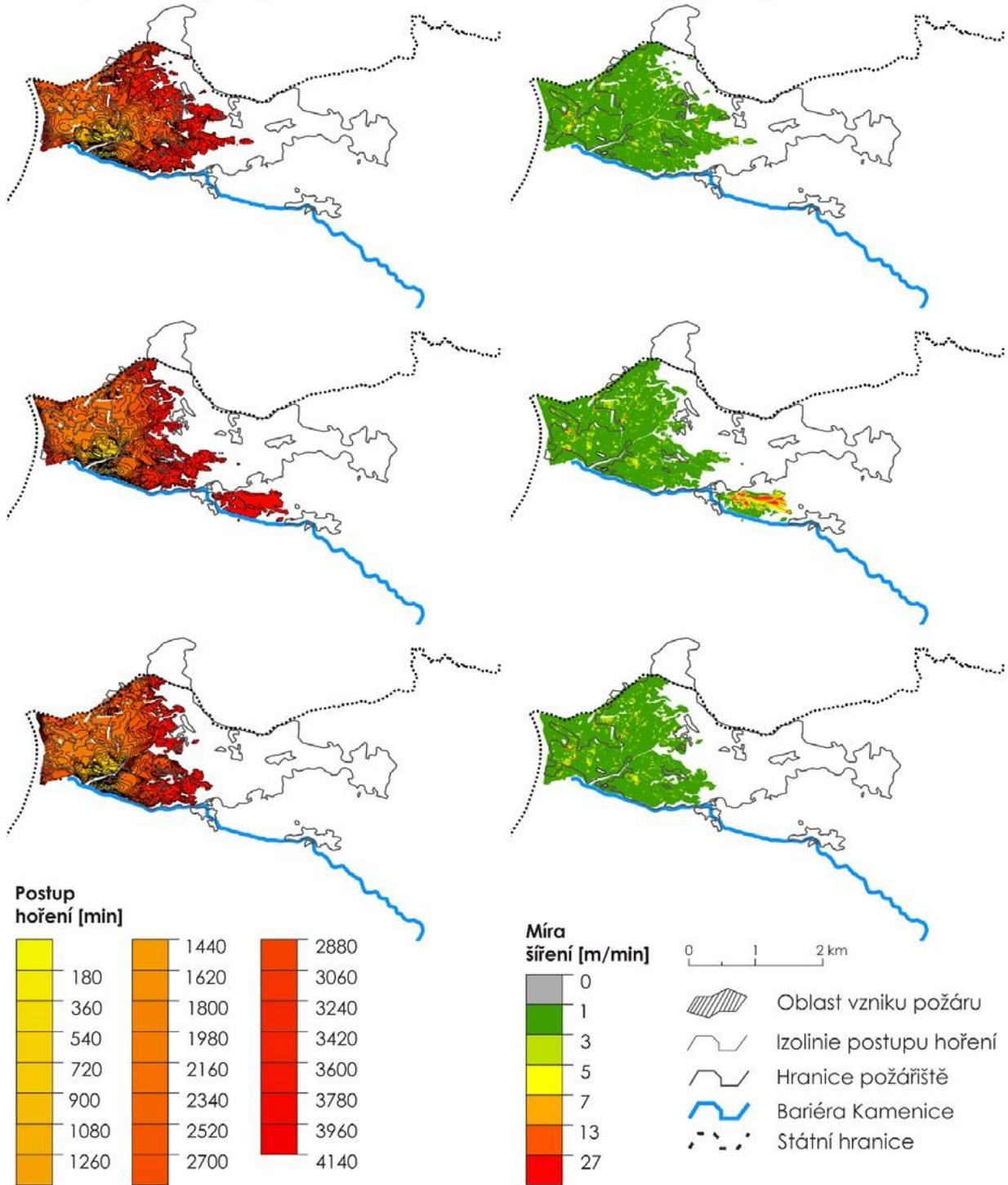


Abb. 80 Beispiel für drei Simulationen, die einen Brand in einem gesunden Fichtenwald darstellen

**Délka plamene [m]**

**Intenzita požáru [kW/m]**

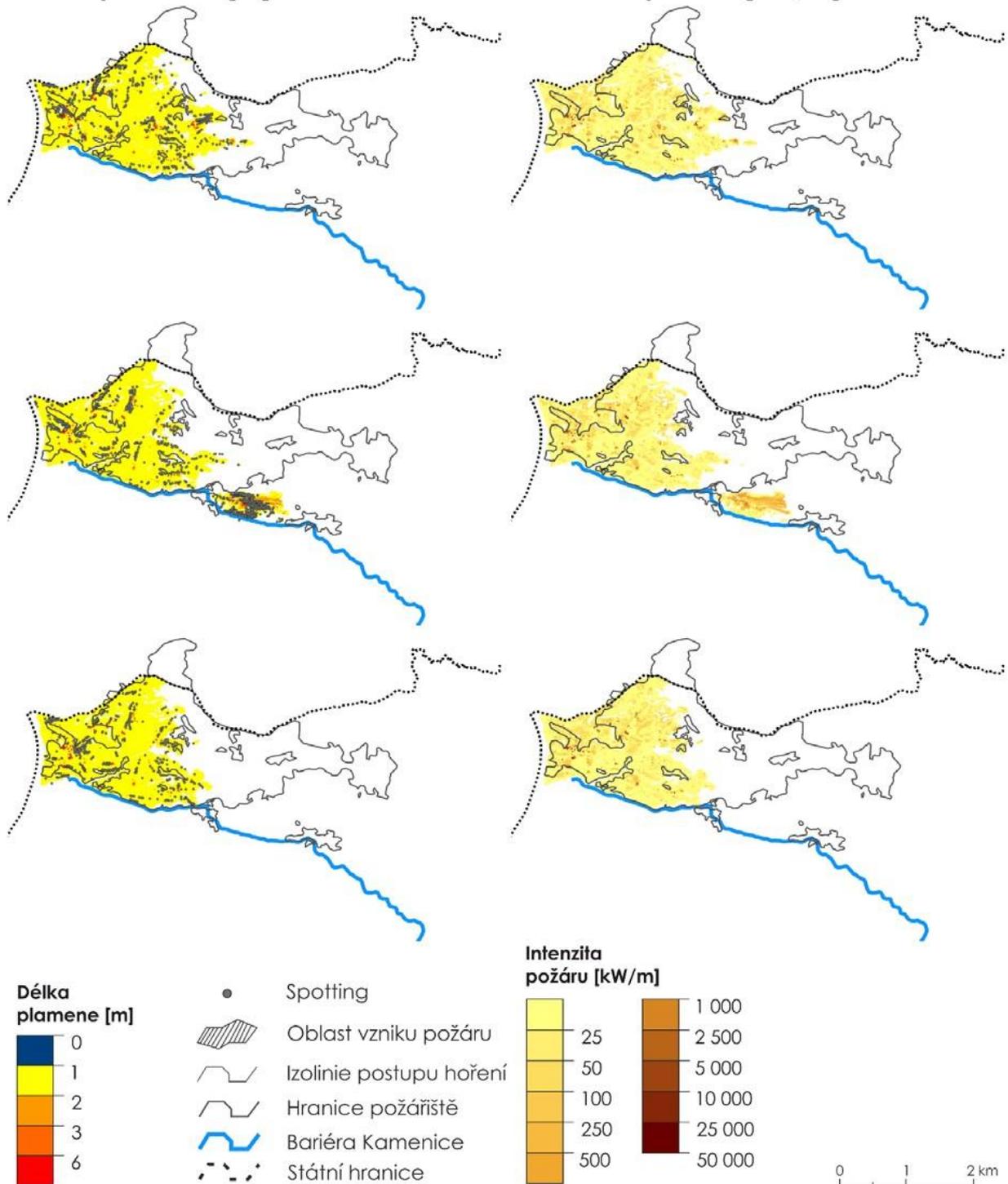


Abb. 81 Beispiel für drei Simulationen, die einen Brand in einem gesunden Fichtenwald darstellen

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass sich das Feuer im Falle eines Brandes in einem gesunden Fichtenwald während der simulierten Zeit nicht in dem Maße ausbreiten könnte, wie dies beim realen Brand der Fall war. Die Frage der Entstehung eines großen Kronenbrandes bleibt jedoch vorhanden. In Anbetracht der fehlenden Zeit für die Verarbeitung oder Rekonstruktion der Kronencharakteristik des Waldes, ist das Forschungsteam der Ansicht, dass dieser Aspekt erheblich unterschätzt wird und wohl zu einer erhöhten Brandintensität als auch zu einer schnelleren Ausbreitung führen würde. Wir erwarten daher in der nächsten Version des Berichts wesentliche Änderungen für dieses Szenario.

## 6) Lichtungsszenario

Im sechsten Szenario wurde der Brennstofftyp in den Trockengebieten so geändert, dass er die natürliche Sukzession widerspiegelt, nachdem die Bäume und die gesamte tote hölzerne Biomasse vollständig entfernt wurden. Gebieten, die von der Borkenkäferkalamität in den Jahren 2018 und 2019 betroffen waren, wurde ein Gras-Strauch-Brennstofftyp zugeordnet, und Gebieten, die in den Jahren 2020 und 2021 betroffen waren, wurde ein Gras-Brennstofftyp zugeordnet.

### Palivové typy

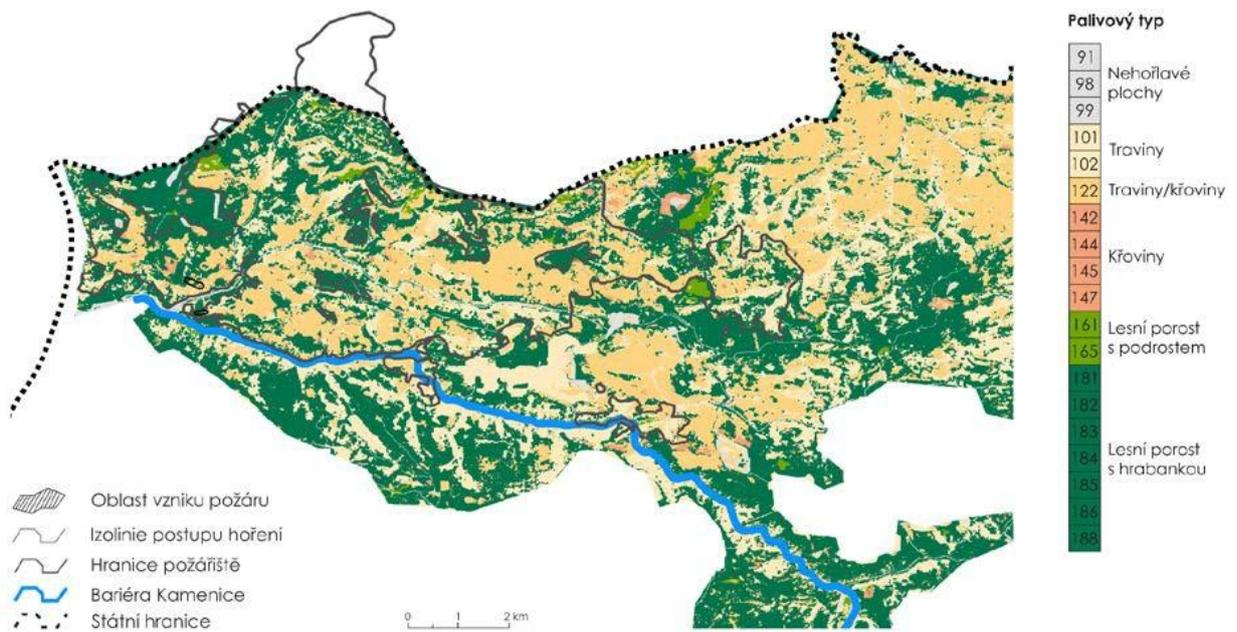


Abb. 82 Eingabeschicht für das Programm FlamMap mit 5 x 5 m Auflösung, Brennstofftypen für Szenario 6

Postup hoření [min]

Míra šíření [m/min]

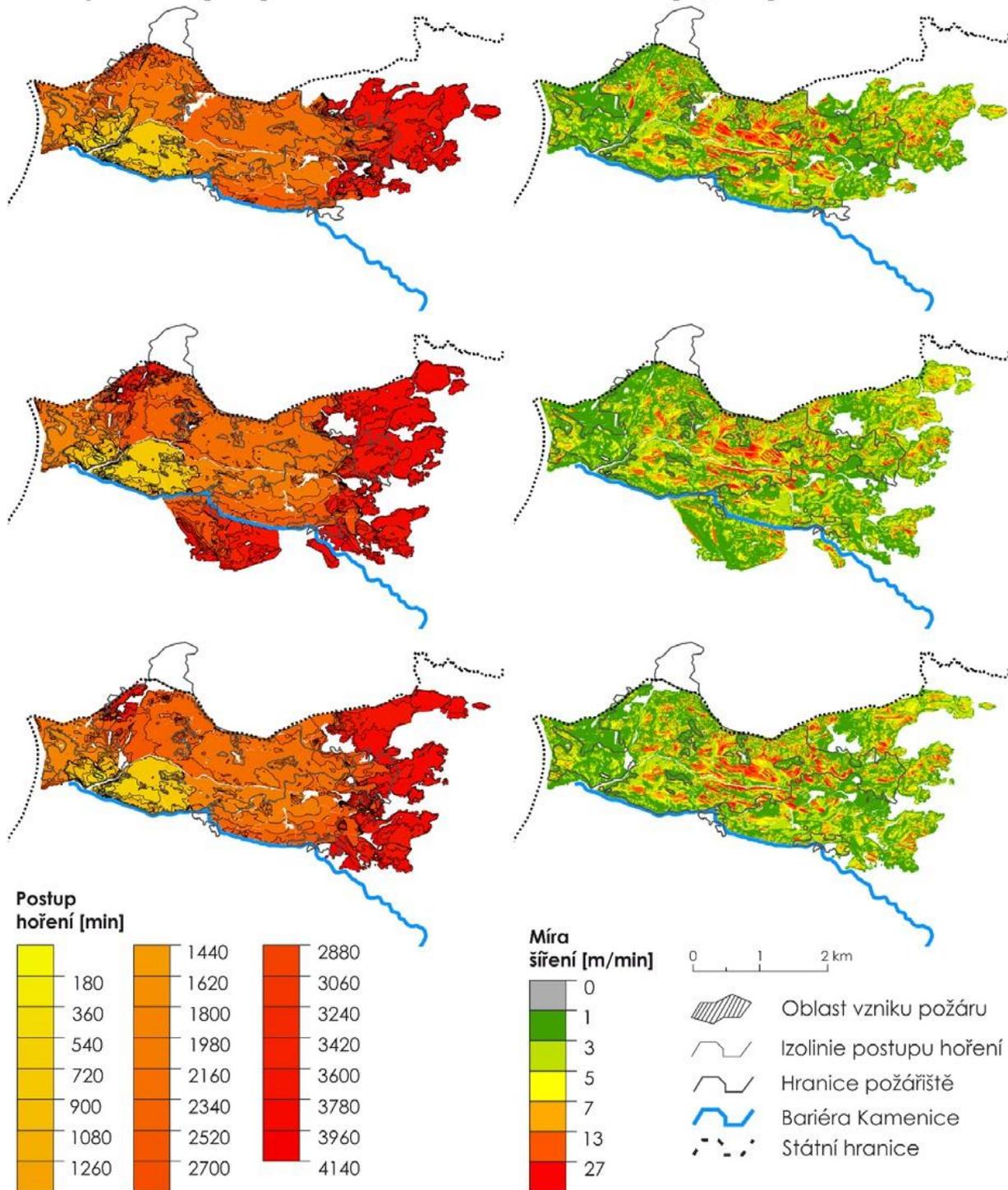


Abb. 83 Beispiel für drei Simulationen, die einen Brand auf den Lichtungen, den Brandverlauf und das Maß der Ausbreitung darstellen

**Délka plamene [m]**

**Intenzita požáru [kW/m]**

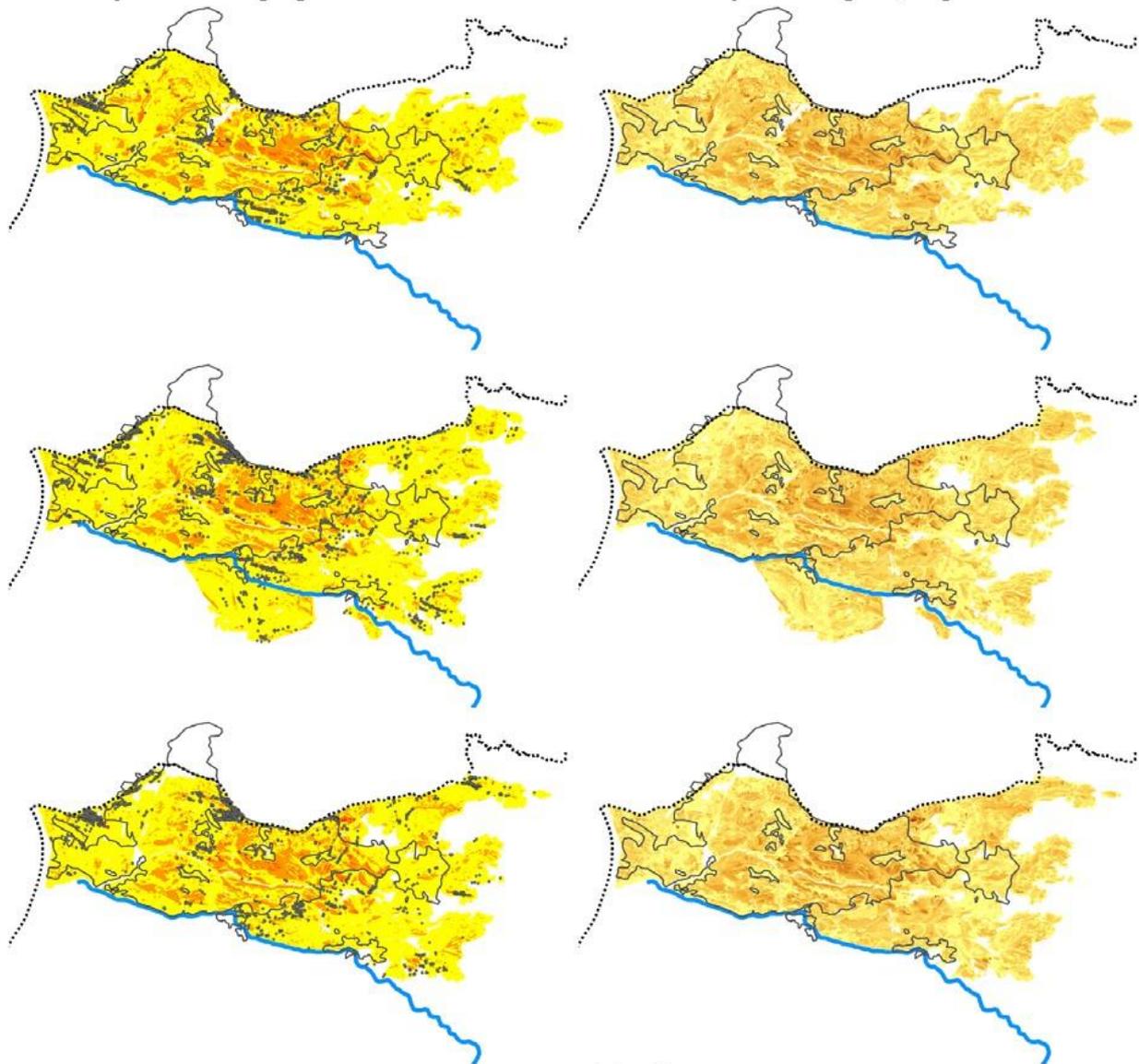


Abb.84 Beispiel für drei Simulationen, die einen Brand in den Lichtungen darstellen, Flammenlänge und Feuerintensität

Aus den Simulationsergebnissen geht klar hervor, dass sich das Feuer in einem solchen Szenario über sein reelles Ausmaß hinaus ausbreiten würde. Gleichzeitig ist klar, dass das Feuer auf den Lichtungen mit viel höherer Geschwindigkeit und Intensität verlaufen würde und es ist fraglich, inwieweit ein solches Feuer unter Kontrolle gebracht werden könnte. Gleichzeitig ist jedoch klar, dass das Feuer aufgrund des geringeren Brennstoffvorrats innerhalb des begrenzten Bereichs nicht so lange gedauert hätte.

## Zusammenfassung der Modelle

Die intensive Arbeit an der Rekonstruktion des Brandes im NP Böhmisches Schiefergebirge erfolgte unter Nutzung der Erfahrungen des weltweiten führenden Instituts in den USA und ermöglichte eine sehr schnelle Bearbeitung der Ergebnisse. Diese zeigen, dass die Hauptursache für die rasche und in den ersten Tagen unkontrollierbare Ausbreitung des Feuers die außergewöhnlich begünstigenden Bedingungen waren, insbesondere hohe Windgeschwindigkeiten verbunden mit sehr niedriger Feuchtigkeit des Brennstoffes, der Luft und des Bodens und auch hohe Temperaturen. Der Ort, die Zeit und wahrscheinlich auch die Art der Zündung scheinen am wichtigsten zu sein. Da es sich wahrscheinlich um eine Entzündung mit höherer Intensität handelte, kam es zu einer schnellen Verbreitung des Feuers. Dies führte zum Stand der frühen Morgenstunden am 24.7. als das Feuer bereits ein relativ großes Gebiet erfasst hatte, von dem aus es sich schnell weiter ausbreiten konnte. Das Modell wurde auch verwendet, um die Art der Brandausbreitung im Falle der Beseitigung von trockenen Böden, d. h. in mit Gras und Gestrüpp bewachsenem Gelände, abzuschätzen, obwohl ein solcher Eingriff in den Charakter des Gebiets den geltenden Rechtsvorschriften widersprechen würde. Die Modellergebnisse zeigen deutlich, dass in einem solchen Fall die Art des Brandes unter bestimmten Gesichtspunkten noch gefährlicher sein könnte.

Die Autoren weisen auf die folgenden Aspekte der vorgestellten Modellanalyse hin:

- Brandattacken und Brandbekämpfung sind in den Simulationen nicht enthalten.
- Die Windrichtung und -geschwindigkeit stammen von der meteorologischen Station Tokaň (Balzhütte) im NP Böhmisches Schiefergebirge, die sich östlich des Feuers befindet; obwohl dies die besten verfügbaren Daten aus der Umgebung sind, ist der Wind ein sehr variabler Parameter im Rahmen des konkreten Geländes.
- Das Gelände des NP Böhmisches Schiefergebirge ist sehr zerklüftet - obwohl die Simulationen mit der bestmöglichen Auflösung von 5 × 5 m durchgeführt wurden, können atypische Felsformationen wie Felstürme, Mauern und andere Sandsteinformen nicht modelliert werden
- Das Modell berücksichtigt nicht das so genannte "backing"- und "flanking"-Feuer
- Das Modell enthält stochastische Prozesse und einige Zufallsphänomene, wie z. B. "Spotting" (Entdeckung neuer Brandherde), welche nur durch Wahrscheinlichkeitsanalyse gelöst werden können.
- Die modellierte Brandausbreitung selbst wird von der Qualität und dem Umfang der verfügbaren Daten beeinflusst. Leider lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts noch keine Daten aus dem deutschen Teil des Parks und dem weiteren Gebiet des NP auf tschechischer Seite vor. Ohne diese Daten können einige Simulationen nicht mit einem ausreichenden Grad an Haltbarkeit durchgeführt werden.

Die Modellanalyse bestätigte, dass die Ausbreitung des Brandes unter den gegebenen Bedingungen nicht ohne weiteres verhindert werden konnte. Obwohl die Modellergebnisse noch weiter verfeinert werden können, zeigt die vorliegende Studie die Eignung des kalibrierten FlamMap-Analysetools für Bedingungen der Brandverbreitung unter lokalen Gegebenheiten. Besonders wertvoll ist die Möglichkeit von Szenarioanalysen für einen definierten Bereich von Eingangsbedingungen und die Möglichkeit, die Bedeutung einzelner Faktoren zu analysieren.

Für die nächste Stufe der Brandauswertung ist erforderlich:

- die Ausweitung der Eingabedatensätze auf das weitere Gebiet des Parks und auch auf den deutschen Teil des Parks;
- Die Verarbeitung detaillierter Lidar-Beobachtungsdaten für die Auswertung von Datenschichten;
- Informationen über den Umfang und den Zeitpunkt des Eingreifens der Feuerwehr und des

Rettungsdienstes;

- die Ergebnisse der Ermittlungen der Polizei der Tschechischen Republik und der Feuerwehr, die den genauen Ort und die Art der Zündung belegen.

## Literatur

Scott, Joe H.; Burgan, Robert E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p

Trnka, M., Kudláčková, L., Možný, M.; Beranová, J., Štěpánek, P., Vizina, A., Hanel, M., Čermák, M. Vyhodnocení rizika a předpověď přírodních požárů v bezprostředním okolí povrchových zdrojů pitné vody. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v.i.; 2021. Certifikovaná metodika MZP/2022/020/68. Dostupné z: [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz)

Trnka, M. et al. (2020): Doporučená adaptační a mitigační opatření v rizikových oblastech výskytu přírodních požárů s přihlédnutím k měnícímu se klimatu. Certifikovaná metodika. Věstník Ministerstva životního prostředí 6/2022, Praha, 76 stran, [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

Trnka, M. et al. (2020): Systém indikátorů rizik přírodních požárů (ověření různých postupů stanovení rizika vzniku přírodních požárů) včetně návodu na použití integrovaného předpovědního systému. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí. Praha, Věstník Ministerstva životního prostředí 6/2022, 85 stran, [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

Beranová, J. et al. (2021): Prevence vzniku a šíření přírodních požárů v bezprostředním okolí povrchových zdrojů pitné vody včetně metod pro odhad důsledků případného výskytu. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí, Věstník Ministerstva životního prostředí 7/2022. Praha, 70 stran, [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

Trnka, M. et al. (2022): Vyhodnocení rizika a předpověď přírodních požárů v bezprostředním okolí povrchových zdrojů pitné vody. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí. Věstník Ministerstva životního prostředí 7/2022 Praha, 131 stran, [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz), [www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)

## 7. Wiederholte Messung der Bestandsflächen nach dem Brand zur Bestimmung der Intensität der Holzverbrennung

*Jiří Zahradníček*

### Ziel der Studie

Die Studie basiert auf der Neuvermessung von Waldinventurflächen (IL), die kurz vor dem Brand auf der Fläche von 2022 angelegt und vermessen wurden. Ziel war es, den ungefähren relativen (prozentualen) Verlust an Holzmasse bei unterschiedlichen Verbrennungsintensitäten zu ermitteln.

### Methodisches Vorgehen

Für die Messungen im Brandgebiet 2022 wurden insgesamt 12 Bestandsflächen ausgewählt, die vor den Bränden 2021 und 2022 gemessen wurden und vier definierte Arten von Brandintensität ("Brandschwere") repräsentieren. Für jeden Brenntyp wurden drei repräsentative Bestandsflächen im Terrain lokalisiert und nach derselben Methodik wie bei der ersten Ermittlung 2021-2022 neu vermessen.

Die methodische Weise des Verfahrens der Bestandsflächenerhebung wurde um Elemente zur Bewertung der Brandintensität (Brandschwere) und der Intensität der Brandschäden an einzelnen Bäumen erweitert.

ID	Brandintensität (Brennkraft)
100	Unbeschädigt
200	Mild - angebrannt
300	niedrig - Einzelfeuer
400	Mittel
500	Intensiv

ID	Brandschaden an einem Baum
100	Lebendig und unversehrt
200	Lebendig verbrannt
300	Tot und verbrannt
400	Verbrannte Oberfläche
500	Verbrannt bis zu 1/4 des Volumens
600	Verbrannt bis zu 1/2 des Volumens
700	Verbrannt über 1/2 des Volumens
800	Abgebrannt (total)

Die Ergebnisse der Bewertung der Brandschäden an einzelnen Bäumen in den Bestandsflächen wurden gemäß der nachstehenden Tabelle quantifiziert (Reduktionsfaktor) und entsprechend ihrer Position im Bestandskreis auf 1 ha umgerechnet. Das Volumen der stehenden und liegenden Bäume vor dem Brand wurde mit dem Volumen der stehenden und liegenden Bäume nach dem Brand verglichen. Die Gesamthektar-Differenz zwischen dem Baumbestand vor und nach dem Brand wurde als Prozentsatz ausgedrückt, als relativer Verlust gegenüber dem ursprünglichen Baumbestand vor dem Brand. Das Ergebnis ist eine Übersicht über den relativen (prozentualen) Verlust des gesamten Baumvolumens in den einzelnen Gebieten in Abhängigkeit von der Brandintensität (Brandschwere). Für jedes bewertete Inventargebiet wurde auch der ursprüngliche Anteil lebender und trockener Bäume ermittelt, einschließlich des Anteils trocken stehender und trocken liegender Bäume.

ID	Brandschaden an einem Baum	Reduktionsfaktor
100	Lebendig und unversehrt	1
200	Lebendig verbrannt	1
300	Tot und verbrannt	1
400	Verbrannte Oberfläche	0,9
500	Verbrannt bis zu 1/4 des Volumens	0,825
600	Verbrannt bis zu 1/2 des Volumens	0,625
700	Verbrannt über 1/2 des Volumens	0,375
800	Abgebrannt (total)	0

## Ergebnisse

### Auswahl der Bestandsgebiete

Aus den 84 Bestandsflächen, die zwischen 2021 und 2022 auf der Brandfläche von 2022 bearbeitet wurden, wurden 12 Bestandsflächen ausgewählt, die die festgelegten Brandintensitäten (Brandschweregrade) repräsentieren. Für eine der vier Brandintensitäten wurden jeweils drei inventarisierte Bestandsflächen ausgewählt.

ID	X_m	Y_m	Brandintensität Brennkraft)
2006	-743184	-953808	200
2010	-742989	-953590	200
4038	-740977	-954601	200
4022	-741782	-953802	300
4059	-740188	-955010	300
4081	-739000	-954984	300
2048	-741163	-954609	400

2119	-738966	-955201	400
2123	-738775	-955005	400
2038	-741599	-953371	500
4037	-740989	-954995	500
4068	-739781	-955010	500

### Merkmale der Bestandsgebiete vor dem Brand

Fläche	Art der Feuerstelle	In m3/ha davor	In m3/ha lebende str.	%	% Durchschnitt
2006	200	332,67	175,87	52,87	39,28
2010	200	194,60	0,00	0,00	
4038	200	139,42	90,58	64,97	
4022	300	370,33	155,73	42,05	42,22
4059	300	390,90	77,40	19,80	
4081	300	499,04	323,44	64,81	
2048	400	203,74	108,61	53,31	28,64
2119	400	402,20	0,00	0,00	
2123	400	255,24	83,24	32,61	
2038	500	420,39	0,00	0,00	0,00
4068	500	332,67	0,00	0,00	
4037	500	519,46	0,00	0,00	

Fläche	Art der Feuerstelle	In m3/ha trocken	%	% Durchschnitt	In m3/ha liegend	%	% Durchschnitt
2006	200	156,80	47,13	60,72	0,00	0,00	0,00
2010	200	194,60	100,00		0,00	0,00	
4038	200	48,83	35,03		0,00	0,00	
4022	300	214,60	57,95	49,10	0,00	0,00	8,68
4059	300	313,50	80,20		0,00	0,00	
4081	300	45,60	9,14		130,00	26,05	
2048	400	95,13	46,69	56,04	0,00	0,00	15,32
2119	400	217,40	54,05		184,80	45,95	

2123	400	172,00	67,39		0,00	0,00	
2038	500	188,60	44,86	57,79	231,79	55,14	42,21
4068	500	144,49	43,43		188,18	56,57	
4037	500	441,86	85,06		77,60	14,94	

Fläche	Art der Feuerstelle	In m3/ha davor	In m3/ha Blätter	%	% Durchschnitt
2006	200	332,67	60,14	18,08	27,68
2010	200	194,60	0,00	0,00	
4038	200	139,42	90,58	64,97	
4022	300	370,33	56,13	15,16	5,05
4059	300	390,90	0,00	0,00	
4081	300	499,04	0,00	0,00	
2048	400	203,74	108,61	53,31	28,64
2119	400	402,20	0,00	0,00	
2123	400	255,24	83,24	32,61	
2038	500	420,39	0,00	0,00	0,00
4068	500	332,67	0,00	0,00	
4037	500	519,46	0,00	0,00	

Fläche	Art der Feuerstelle	In m3/ha Nadeln.	%	% Durchschnitt	in m3/ha SM	%	% Durchschnitt
2006	200	272,53	81,92	72,32	46,24	13,90	49,64
2010	200	194,60	100,00		194,60	100,00	
4038	200	48,83	35,03		48,83	35,03	
4022	300	314,20	84,84	94,95	314,20	84,84	53,47
4059	300	390,90	100,00		193,50	49,50	
4081	300	499,04	100,00		130,00	26,05	
2048	400	95,13	46,69	71,36	95,13	46,69	64,86
2119	400	402,20	100,00		402,20	100,00	
2123	400	172,00	67,39		122,20	47,88	

2038	500	420,39	100,00	100,00	420,39	100,00	100,00
4068	500	332,67	100,00		332,67	100,00	
4037	500	519,46	100,00		519,46	100,00	

**Anhang: Fotodokumentation der Bestandsflächen**

**IP 2006 (Brandstellentyp 200)**



IP 2010 (Brandstellentyp200)



IP 4038 (Brandstellentyp 200)



**IP 4022 (Brandstellentyp 300)**



**IP 4059 (Brandstellentyp 300)**



**IP 4081 (Brandstellentyp 300)**



**IP 2048 (Brandstellentyp 400)**



**IP 2119 (Brandstellentyp 400)**



**IP 2123 (Brandstellentyp 400)**



**IP 2038 (Brandstellentyp 500)**



**IP 4068 (Brandstellentyp 500)**



**IP 4037 (Brandstellentyp 500)**



**Relativer (prozentualer) Holzmassenverlust bei verschiedenen Verbrennungsintensitäten**

Fläche	In m3/ha davor	in m3/ha nach	Red. m3/ha	Red. %.	Art der Feuerstelle	Durchschnittl. % RÜCKGANG
2006	332,67	324,30	8,37	2,52	<b>200</b>	<b>4,33</b>
2010	194,60	184,36	10,24	5,26		
4038	139,42	132,15	7,27	5,21		
4022	370,33	318,24	52,09	14,07	<b>300</b>	<b>12,26</b>
4059	390,90	330,56	60,34	15,44		
4081	499,04	462,76	36,28	7,27		
2048	203,74	186,60	17,14	8,41	<b>400</b>	<b>11,88</b>
2119	402,20	344,76	57,44	14,28		
2123	255,24	222,23	33,01	12,93		
2038	420,39	310,40	109,99	26,16	<b>500</b>	<b>32,57</b>
4068	332,67	223,01	109,66	32,96		
4037	519,46	318,97	200,48	38,59		

## Schlussfolgerung

Bei der Bewertung des relativen Verlustes an Holzmasse bei unterschiedlichen Brandintensitäten ist zu berücksichtigen, dass die Auswahl der repräsentativen Flächen für die einzelnen Brandstellentypen subjektiv getroffen wurde. Es war relativ einfach, repräsentative Gebiete für den milden Brandtyp - Versengung - und für den intensiven Brandtyp zu finden. Die Ergebnisse bestätigen die unscharfe Grenze zwischen der niedrigen Feuerstufe - Einzelfeuer und der mittleren Feuerstufe.

Als Ergebnis dieser Untersuchung wird empfohlen, mit drei Brandtypen zu arbeiten, nämlich mit dem milden Brandtyp - Versengung, bei dem es zu einem durchschnittlichen relativen (prozentualen) Holzverlust von 4,33 % kam, mit einem mittleren Brandtyp mit einem durchschnittlichen relativen Holzverlust von 12,07 % und mit intensiven Brandtyp, bei dem der durchschnittliche relative Verlust an Holzmasse 32,57 % betrug.

Betrachtet man die Merkmale der einzelnen Gebiete nach den Brandintensitätstypen, so lässt sich feststellen, dass der milde Brandtyp in Gebieten auftrat, in denen vor dem Brand 40 % lebende Bäume vorhanden waren, von denen 28 % Laubbäume waren und es keine liegenden trockenen Bäume gab.

Zu dem mittleren Brandtyp kam es auf den Bestandsflächen, wo der Anteil der lebenden Bäume 35 % betrug, davon 21 % Laubbäume, der Anteil der trockenstehenden Bäume betrug 53 % und der Anteil der trocken liegenden Bäume 12 %.

Der intensive Brandtyp trat in Bestandsflächen auf, in denen keine lebenden Bäume vorhanden waren, der Anteil der stehenden trockenen Bäume betrug 58 % und der Anteil der liegenden trockenen Bäume 42 %. Die ursprüngliche Vegetation bestand zu 100 % aus Fichten.

Bei der Bewertung des relativen (prozentualen) Verlusts an Holzmasse bei unterschiedlichen Brandintensitäten muss man beachten, dass Einfluss auf die Brandintensität auch weitere Umstände hatte, wie Geländere relief, Luftströmung und zweifellos auch die Brandbekämpfung.

## 8. Interpretation und Fehlinterpretation des Brandes aus der Perspektive kognitiver Prozesse

*Jan Krajhanzl*

Die Gefahr ist zwar real, aber die Risikowahrnehmung ist immer sozial konstruiert, wie einer der Klassiker der Risikobewertungspsychologie, Paul Slovic (1999: 689), feststellt. Ähnlich verhält es sich mit Katastrophen: Während wirtschaftliche Schäden oder Verletzungen immer real sind, ist ihre Interpretation, ebenso wie die Interpretation der Ursachen der Katastrophe, die Identifizierung der Schuldigen oder umgekehrt der Helden, immer sozial konstruiert.

Die Spannung zwischen der gesellschaftlich konstruierten Version von Ereignissen einerseits und den Ereignissen selbst andererseits schafft also einen Raum, mit dem sich die psychologische Forschung beschäftigt (Winter, Koger, 2010). Diese zeigen, dass es eine Reihe von Risiken gibt, bei denen Öffentlichkeit die Tendenz hat, im Vergleich zu den Einschätzungen der Experten, diese systematisch zu unterschätzen, während sie andere überschätzt. Wie Statistiken zeigen, überschätzt die Öffentlichkeit z.B. die Gefahr vom Flugzeugfliegen, Terroranschlägen oder Vermüllung im Umweltbereich und unterschätzt im Gegensatz die Gefahr von Autounfällen, Umweltgiften oder der Verringerung der Biodiversität. Die Forschung zu dieser systematischen Verzerrung der Wahrnehmung der Gefährlichkeit verschiedener Aktivitäten zeigt, dass diese Verzerrungen mit kognitiven Prozessen verbunden sind, also damit, wie Menschen Informationen über die Welt sammeln und verarbeiten, was zur Vorhersagbarkeit der menschlichen Wahrnehmung in diesem Bereich führt (ebenda).

Unter den zeitlichen und finanziellen Rahmenbedingungen soll diese Kommission Daten zur Verfügung stellen, die die oben genannte Problematik im Falle eines Brandes im Nationalpark Böhmisches Schiefergebirge empirisch belegen. Ausgehend von den Erkenntnissen der kognitiven Psychologie lassen sich auf jeden Fall mehrere Prozesse identifizieren, die die Wahrnehmung des Brandes zum Zeitpunkt der Katastrophe, aber auch unmittelbar danach, begleiteten.

### Gefällte Stämme als Brennholz

Wie der deutsche Soziologe Max Weber feststellte, ist die Welt um uns herum voll von "Black Boxes" für die menschliche Psyche (Lassman et al., 1989). Gegenwärtig haben die meisten von uns nur eine vage Vorstellung davon, wie das geologische Grundgestein in ihrem Wohnort, entstanden ist, wie Düsentriebwerke in Flugzeugen funktionieren oder wie genau die Struktur des Staatshaushaltes aussieht - für uns ist es wichtig, wie die Dinge "benutzermäßig" funktionieren, wir versuchen nicht, die Prozesse im Inneren der "Black Box" in der Tiefe zu verstehen (ebd.).

Für die Mehrheit der Bevölkerung, die sich nicht mit der Ausbreitung von Waldbränden professionell beschäftigt, ist eben auch die Dynamik der Brandausbreitung im Ökosystem Wald eine ähnliche Blackbox. Da die Öffentlichkeit nicht über Fachwissen in diesem Bereich verfügt, wird sie durch ihren gesunden Menschenverstand (vgl. Rawat, 2021), einschließlich zahlreicher Heuristiken geleitet, was und wie brennbar ist, wie schnell und auf welche Weise. Es gibt mehrere Arten von kognitiven Fehlern, die während dieses Prozesses auftreten.

Bei der Risikobewertung werden wir maßgeblich von visuellen Faktoren beeinflusst; in diesem Zusammenhang wird von der so genannten visuellen Abhängigkeit gesprochen (Orenstein und Ehrlich, 2000). Im Fall des Nationalparks Böhmisches Schiefergebirge sah sich die Verwaltung durch Umstände gezwungen,

nach der Ausbreitung des Fichtenborkenkäfers, ausgetrocknete Stämme zu fällen, z.B. aus Gründen der Verkehrssicherheit. Im Wald, oft in der Nähe von Straßen, lagen *Stämme*, die viele Einheimische und Touristen an Brennholz erinnerten - typische Anzeichen für Brennholz (Entrindung, Weißheit der Stämme, horizontale Lage) implizierten die Annahme, dass die Stämme im Wald auch Brennholzeigenschaften haben und als Brennholz verbrannt werden könnten. Dies ist ein klassischer Fall der Repräsentativitätsheuristik (Medin et al., 2001). Gleichzeitig ruft die visuell beunruhigende Szene der abgestorbenen Fichten eine unterbewusste Abneigung hervor, wie sie in der Theorie des Terrormanagements beschrieben wird (Solomon et al., 2004). Dies in Verbindung mit dem Misstrauen in die tschechische öffentliche Verwaltung führte zu folgenden Zweifeln: "Wenn es wie Brennholz aussieht, warum lassen sie es hier liegen, warum fahren sie es nicht weg und warum schneiden sie es nicht wie Brennholz?" Dieses Narrativ hat sich durch den steilen Anstieg der Energiepreise noch verstärkt, viele Haushalte sind mit steigenden Heizkosten konfrontiert und stehen unter wirtschaftlichem Druck - und dabei, aus Sicht des gesunden Menschenverstandes, schien es, dass im Wald Holz rumliegt, welches aus Perspektive der Öffentlichkeit wie Brennholz aussieht.

In diesem Zusammenhang brach Ende Juli 2022 das Feuer aus. Eine typische "Black Box" für praktisch jeden, in der nur wenige Menschen - einschließlich der Akteure, die die Ereignisse im öffentlichen Raum kommentieren - einen so komplexen systemischen Prozess, wie die Dynamik der Brandausbreitung im Ökosystem Wald, verstehen. Wo es an Fachwissen mangelt, kommt der gesunde Menschenverstand zum Einsatz. Wie Rawat et al. betonen (2021): *"Das Verlassen auf Erfahrung, Urteilsvermögen, Logik, Gedächtnis oder gesunden Menschenverstand kann zu Vorurteilen führen, die auf (1) selektiver Verwendung von leicht verfügbaren Informationen aus dem Gedächtnis oder Erklärungen, mit denen man vertraut ist, beruhen (Verfügbarkeitsheuristik), dies führt zu (...) Status-quo-Verzerrung, (2) Beurteilung von Ereignissen und Prozessen anhand ihrer Ähnlichkeit mit früheren Ereignissen und Prozessen (Repräsentativitätsheuristik) und (3) Verankerung von Überlegungen in Bezug auf aktuelle Meinung und Interpretationen von Beweisen, die mit vorher gebildeten Vorstellungen darüber, wie die Welt funktioniert, verbunden sind (Verankerung und Anpassung), was zu Bestätigungsfehlern führt."*

In diesem Fall haben diese Prozesse zu einer Überzeugung geführt: Die Nationalparkverwaltung hat Stämme, die wie Brennholz aussehen, im Wald liegen lassen. Wenn es gebrannt hat, was soll dann da wohl gebrannt haben - und warum sollte man die Meinung akademischer Experten einholen, wenn wir alle wissen, wie Brennholz brennt?

Dieses Narrativ wurde von einer Reihe von Akteuren im öffentlichen Raum propagiert und die Tatsache, dass wir als menschliche Wesen dazu neigen, die Risiken von Ereignissen, die wir mit Animosität wahrnehmen, zu überschätzen - ein Phänomen, das als Affektheuristik bezeichnet wird (Slovic et al., 2002). Eine einfache Erklärung war auch für einen Teil der Medien attraktiv, die nach einer Möglichkeit suchten, ihren Zuschauern, Zuhörern und Lesern schnell eine Interpretation eines so komplizierten und für die Öffentlichkeit nicht nachvollziehbaren Prozesses anzubieten, wie ein Brand in einem Waldökosystem ist.

Es war die visuelle Ausdruckskraft des "Brennholzes", kombiniert mit gesundem Menschenverstand und Affektheuristik, die eine andere, sachlich relevantere Interpretation de facto aus der medialen und gesellschaftlichen Debatte verdrängte: nämlich, dass die Wahrscheinlichkeit eines Großbrandes in einem Schutzgebiet wie dem Nationalpark Böhmisches Schiefergebirge nicht nur im Zusammenhang mit dem Klimawandel, sondern auch mit der Zunahme des Tourismus seit Jahren stieg. Der Tourismus wurde also nicht nur durch die Auswirkungen des Brandes geschädigt, sondern war in Form von übermäßigem Tourismus auch eine der wesentlichen Ursachen des Brandes.

Diese Kausalität steht jedoch im Widerspruch zu den persönlichen, politischen und wirtschaftlichen Interessen vieler Akteure in der regionalen Debatte. Dem entsprach in dieser Atmosphäre auch die Suche nach den Schuldigen, die so genannte Sündenbocksuche (vgl. Rothschild, 2012), als einige lokale Meinungsmacher - ohne wissenschaftlich bestätigte Untersuchungsergebnisse abzuwarten - es vorzogen die Verwaltung des Nationalparks Böhmisches Schweiz für den Brand verantwortlich zu machen und deren Vertrauen bei der Bevölkerung weiter zu untergraben, statt die Arbeit der Ranger zu unterstützen (was für die Beseitigung der Brandgefahr in den kommenden Jahren von entscheidender Bedeutung ist) und eine sachliche Debatte über die mit dem Übertourismus verbundenen Belastungen und Risiken zu führen.

So verbreitete sich in den letzten Monaten in der Region ein gesellschaftlich konstruiertes Narrativ, das die Nationalparkverwaltung für die entstandenen Schäden verantwortlich macht, unterstützt durch erwähnte visuelle Abhängigkeit, die falsche Vorstellung, dass das, was typischerweise wie Brennholz aussieht, auch wie Brennholz brennt (Repräsentationsheuristik) durch Angst (Terror-Management-Theorie) und durch die Erhöhung des wahrgenommenen Risikos von Phänomenen, über die wir eine Abneigung haben (Affektheuristik). Umso notwendiger wird es sein, in den kommenden Monaten eine sachliche und faire Diskussion über die Brandursachen zu führen.

Wenn mehr Zeit für die Arbeit einer unabhängigen Gruppe zur Untersuchung des Brandes in der Böhmisches Schweiz zur Verfügung stehen würde, wäre es sinnvoll, detaillierter empirisch die Debatte zu erfassen, welche über den Brand medial verlaufen ist (Diskursanalyse und die Art und Weise, wie die Katastrophe von bestimmten öffentlichen Akteuren dargestellt wurde). Es wäre vorteilhaft, qualitative Interviews oder quantitativen Fragebogenerhebungen durchzuführen und zu erfassen, welche sachlichen und fachlich relevanten Informationen an die breite Öffentlichkeit gingen, worin eher Fehleinschätzungen und Fehlinformationen überwiegen und was die Nationalparkverwaltung Böhmisches Schweiz in den kommenden Monaten tun könnte, um die Kommunikation zu verbessern.

## Literatur

Bostrom, A. a Fischhoff, B. (2001). Communicating health risks of global climate change. *Research in Social Problems and Public Policy*, 9, 31–56.

Koger, S., DuNann Winter, D. (2010). *The Psychology of Environmental Problems: Psychology for Sustainability*. Psychology Press.

Lassman, P., I. Velody & H. Martins (eds.). 1989. *Max Weber's „Science as a Vocation“*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Medin, D. L., Ross, B. H. a Markman, A. B. (2001). *Cognitive psychology* (3. vyd.). Fort Worth, TX: Harcourt College.

Orenstein, R. a Ehrlich, P. (2000). *New world, new mind: Moving toward conscious evolution*. Cambridge, MA: Malor Books, ISHK.

Rawat, P., Yusuf, J. E., Covi, M. (2021) Cognitive bias in decision making about development permits for living shorelines: The case of wetlands boards in Virginia localities. *Ecological Engineering*, 173.

Rothschild, Z. K., Landau, M. J., Sullivan, D., & Keefer, L. A. (2012). A dual-motive model of scapegoating: Displacing blame to reduce guilt or increase control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 102(6), 1148–1163. <https://doi.org/10.1037/a0027413>

Slovic, P. (1999). Trust, emotion, sex, politics, and science: Surveying the risk-assessment battle field. *Risk Analysis*, 19, 689–701.

Slovic, P., Finucane, M., Peters, E., MacGregor, D. G. (2002). The affect heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin and D. Kahneman (Eds.), *Heuristic and biases: The psychology of intuitive judgment* (397–420). New York: Cambridge University Press.

Solomon, S., Greenberg, J., & Pyszczynski, T. (2004). The Cultural Animal: Twenty Years of Terror Management Theory and Research. In J. Greenberg, S. L. Koole, & T. Pyszczynski (Eds.), *Handbook of Experimental Existential Psychology* (pp. 13–34). The Guilford Press.

## 9. Schlussfolgerungen

1. Waldbrände in Europa betrafen im Jahr 2022 rund 860.000 Hektar Waldfläche. Dutzende bis wenige Hundert von ihnen waren auch im Vereinigten Königreich oder in Skandinavien. In Mitteleuropa, genauer gesagt in Deutschland, in der Nähe von Nürnberg, brannten im Sommer 2022 etwa 1000 ha Nadelwälder in einem Militärgelände. Der Brand im Nationalpark Böhmisches Schiefergebirge steht nicht im Widerspruch zur diesjährigen Situation in Europa. Es sei daran erinnert, dass der Westen der Tschechischen Republik Teil einer ungewöhnlich intensiven Trockenperiode war, die den größten Teil Deutschlands und Ostfrankreichs betraf.
2. Das Gebiet des NP Böhmisches Schiefergebirge, wie auch die gesamte Region Mitteleuropa, hat eine reiche Geschichte von Waldbränden. Zahlreiche paläoökologische Belege zeigen, dass Feuer das Funktionieren von Ökosystemen während des gesamten Holozäns (d. h. der letzten 11 500 Jahre) beeinflusst hat. Brände sind in allen Vegetationstypen aufgetreten, aber ihre Häufigkeit variiert je nach Artenzusammensetzung, Klimacharakter und anthropogenem Druck erheblich. Ihre übliche Häufigkeit lag im Bereich von zehn bis niedrigen Hunderten von Jahren. Es sind auch längere Perioden ohne Brände bekannt. Aufgrund der kontinuierlichen Anwesenheit des Menschen in Sandsteingebieten, die seit dem frühen Paläolithikum archäologisch dokumentiert ist, kann kein "natürliches Feuerregime" definiert werden. Brände treten häufiger in Ökosystemen auf, die von Nadelbäumen dominiert werden (Fichten- und Kiefernwälder), während Brände in Laubwäldern (Buchenwälder) deutlich seltener oder fast gar nicht vorkommen. Brände sind in den von Kiefern dominierten Bereichen im NP am häufigsten, wie die Artenzusammensetzung der Holzkohle in den Bodenprofilen beweist. Die heutigen Fichtenbestände kulturellen Ursprungs entsprechen in Bezug auf den Brennstoffcharakter den Fichtenwäldern des mittleren Holozäns, die zwar durch einen langen Feuerzyklus (~450 Jahre) gekennzeichnet waren, aber eine extrem hohe Intensität erreichten. Aus den vorhandenen forstwirtschaftlichen Aufzeichnungen geht hervor, dass es im Zeitraum von 1982 bis 2014 insgesamt 86 Brände auf dem Gebiet des Nationalparks gab, welche meist schnell gelöscht wurden und somit nur ein geringes Ausmaß erreichten (insgesamt brannte es auf 35,6 ha Wald, durchschnittlich 0,5 ha pro Brand). Wenn eine riskante Kombination von Faktoren auftritt, wie z. B. günstige Wetterbedingungen (Trockenheit, Wind), schwierige Zugänglichkeit des Geländes für Löscharbeiten, das Vorhandensein einer brandgefährdeten Vegetationsart, breitet sich das Feuer über eine große Fläche aus. Davon zeugen der Großbrand auf der Havraní skála (Rabensteine) im Jahr 2006 (Fläche 17,9 ha) und der Brand auf dem Felsplateau oberhalb der Pravčická brána (Prebischtor) im Jahr 1842 (180 ha).
3. Die Feldanalyse der Art und Weise der Verbrennung zeigt, dass **die Lichtungen trotz ihrer "Säuberung", d. h. des Fehlens von stehenden und liegenden Stämmen und Holzabfällen, überraschend stark vom Feuer betroffen waren.** Das Feuer breitete sich schnell durch die Grasvegetation und über die Oberfläche der Waldstreu aus. Das Feuer war in der Lage, alle vorhandenen Vegetationstypen zu überwinden, nicht nur den durch den Fichtenborkenkäfer abgestorbenen Fichtenwald, sondern auch die lebenden Kiefernwälder, Buchenwälder unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Dichte, junge Laub- und Nadelwälder, Lichtungen mit entfernter Dendromasse, Steingärten mit Latschenkiefern und Feuchtgebiete. Der Vegetationstyp war wahrscheinlich nicht der entscheidende Faktor dafür, wo sich das Feuer ausbreitet, aber sie war sicherlich einer der Schlüsselfaktoren für die lokale Brandstärke. Natürliche Hindernisse für die Ausbreitung von Feuer gab es zwar, aber sie waren wahrscheinlich von untergeordneter Bedeutung. An einigen Stellen verläuft der Rand des Brandgebiets durch abgestorbene Fichtenbestände, ohne

dass eine klare Unterscheidung zwischen stark verbrannten und nicht betroffenen Teilen des Waldes möglich ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass an diesen Orten die Rolle der Feuerwehrleute bei der Verhinderung der Ausbreitung des Brandes entscheidend war. Die Geländespuren des Brandes zeigen deutlich, dass die Verbrennung in den Waldbeständen räumlich extrem variabel war. Selbst in den Gebieten mit der höchsten Brandschwere, in denen die Verbrennungstemperatur offenbar lange Zeit sehr hoch war, blieb immer ein deutlicher Teil des Ökosystems vom Feuer verschont. Typischerweise waren dies Horizonte der Humusaufgabe, lokale Geländesenkungen usw. Dies wird sich sicherlich positiv auf die Geschwindigkeit der Erholung des Ökosystems auswirken. Es ist sehr wahrscheinlich, dass ein Teil der Samenbank für die spätere Regeneration des Waldes erhalten geblieben ist. **Neben der Entwicklung von Kräutern und Gräsern ist in den kommenden Jahren mit einer raschen Verjüngung des Waldes zu rechnen, insbesondere mit Birke, Espe, Weide und Waldkiefer.**

4. **Aus klimatischer und meteorologischer Sicht nimmt die Anfälligkeit ganz Mitteleuropas für Brände seit langem zu.** Auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schiefer und seiner näheren Umgebung sind die durchschnittlichen Jahrestemperaturen im Zeitraum 1991-2021 im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 um 1,0-1,2 °C gestiegen. Die Niederschlagssummen haben im Durchschnitt nicht abgenommen, sind aber seit 2015 sichtbar (aber statistisch unbedeutend) niedriger. Langfristige Trockenheit wurde anhand der Indizes SPEI-6 und SPI-24 bewertet. Diesem Index zufolge herrscht auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schiefer seit Mai 2018 eine anhaltende Trockenheit. **Gemäß dem SPI-6-Index bDie Dürre in der Region im August 2022 war die stärkste seit 60 Jahren.** Die Ausbreitung des Feuers wurde auch durch relativ starken Wind begünstigt, der zu Beginn des Feuers 10-12m/s erreichte, was ein mittelhohes Brandrisiko darstellt. Die Brennstofffeuchtigkeit (insbesondere der Stämme, Äste und Streu auf der Bodenoberfläche) und die Bodenfeuchtigkeit hatten einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung des Feuers und seine anschließende schnelle Ausbreitung. Diese Werte wurden von zwei Stationen des FireRisk-Alarmsystems überwacht. Die Brennstofffeuchte begann bereits Mitte Juli zu sinken, und seit dem 17.7.2022 bestand ein mittelhohes Risiko und ab dem 19.7. bis 28.7.2022 bestand sogar ein hohes Risiko, d. h. die relative Bodenfeuchte lag in 10 cm Tiefe unter 10 %. Dies zeigt deutlich, dass dieser Zeitraum extrem trocken war. Etwa eine Woche vor dem Ausbruch des Brandes war bereits klar, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffs gering und die Brandgefahr unter diesem Gesichtspunkt enorm war. Diese Situation trat jedoch im Jahr 2022 mehrmals im NP auf. Die Art, der Ort und der Zeitpunkt der Entstehung des Brandes sowie die Witterung in den ersten drei Tagen scheinen für die Entstehung und das endgültige Ausmaß des Brandes entscheidend gewesen zu sein. Der FAPAR-Satellitenindex, der den Trockenheitszustand der Vegetation anzeigt, zeigte ebenfalls eine hohe Brandgefahr an. Dieser war zum 20.7.2022 auf dem Gebiet des NP Böhmisches Schiefer deutlich unter dem Normalwert - die Vegetation war also sehr trocken. Unter [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz) steht ein Warnsystem für die Gefahr der Entstehung und Ausbreitung von Waldbränden zur Verfügung. Dieses System ist öffentlich zugänglich und liefert Informationen über das aktuelle Risiko und Vorhersagen für die nächsten 7 Tage bis hin zur Katasterebene. Die Brandrisikovorhersagen für den gesamten Zeitraum Juli-August 2022 waren von sehr hoher Qualität und warnten ausreichend vor einem erheblichen Brandrisiko. Damit stehen der Nationalparkverwaltung, den Kommunen und dem integrierten Rettungswesen diese Informationen in vollem Umfang zur Verfügung, und sie sind auch für jeden zugänglich, der sich in der Landschaft bewegt. Die Risikoepisode dauerte vom 15. Juli bis zum 18. August. An diesen 35 Tagen bestand ein mittleres Risiko, an 28 Tagen (in 80 % der Zeit) ein höheres Risiko.
5. Die Modellrekonstruktion des Brandes wurde mit Hilfe des vom US Forest Service entwickelten und vom CzechGlobe- und IFER-Team für das Gebiet des NP Böhmisches Schiefer adaptierten Tool

FlamMap durchgeführt. **Modellanalysen zeigen, dass die Ausbreitung des Brandes unter den gegebenen Bedingungen nicht ohne weiteres verhindert werden konnte. Die Hauptursache für die rasche und in den ersten Tagen unkontrollierbare Ausbreitung des Feuers waren die äußerst günstigen Bedingungen, nämlich hohe Windgeschwindigkeiten, sehr geringe Brennstoff-, Luft- und Bodenfeuchtigkeit sowie hohe Temperaturen während der ersten drei Tage des Brandes.** Auch der Ort, die Zeit und wahrscheinlich die Art der Zündung scheinen wichtig zu sein. Da es sich wahrscheinlich um eine Entzündung höherer Intensität handelte, die lange vor der Entdeckung des Feuers stattfand, breitete sich das Feuer bereits am 24. Juli auf relativ großen Flächen aus. Im Hinblick auf die Ausbreitung des Feuers konnten die idealen Bedingungen am 25. und 26.7. also voll zum Tragen kommen. Bei der Modellierung wurde eine Reihe von Szenarien ausgewertet, darunter auch solche, die das Verhalten des Feuers bei unterschiedlicher Bewirtschaftung beurteilen. Entscheidend ist das Simulationsergebnis, bei dem nach dem Borkenkäferbefall Trockengebiete durch Lichtungen ersetzt werden, die entstanden wären, wenn alles Holz gerodet worden wäre und das Gebiet eine Gras- und Strauchvegetation aufgewiesen hätte. Dies ist auch das einzige realistische Szenario, mit dem die Verwaltung des NP Böhmisches Schweiz in der Vergangenheit konfrontiert wurde, denn den lebenden Fichtenwald konnte man nicht retten. **Der Brand würde auf einer Lichtung mit viel höheren Geschwindigkeit und Intensität verlaufen und es ist fraglich, wie man ein solches Feuer überhaupt unter Kontrolle bekommen könnte.** Das Feuer hätte sich wahrscheinlich über eine größere Fläche ausgebreitet, als es sich letztendlich verbreitet hat. Aber es würde wahrscheinlich kürzer dauern. Es gibt auch ein völlig hypothetisches Szenario, in dem die stehenden Trockenbäume im Modell durch einen gesunden Fichtenwald ersetzt wurden. Bei dieser Simulation würde sich das Feuer nicht auf die gesamte Fläche des tatsächlichen Brandortes ausbreiten. Dies ist auf die deutlich geringere Windgeschwindigkeit unter dem betroffenen Fichtenbestand und die geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit des Feuers am Boden zurückzuführen. Das Modell konnte bis jetzt aber noch nicht das hohe Risiko eines Kronenbrandes berücksichtigen, der unverhältnismäßig zerstörerischer und schneller wäre als der tatsächliche Brand in diesem Sommer. In der begrenzten Zeit, die für die Erstellung dieses Berichts zur Verfügung stand, war es jedoch nicht möglich, ältere LIDAR- und andere Daten auszuwerten, die für die Simulation von Kronenbränden erforderlich sind und Gegenstand weiterer Analysen in Zusammenarbeit mit dem NP und dem Umweltministerium sein werden.

6. Aus Sicht der kognitiven Prozesse der Wahrnehmung der Brandursachen, ist offensichtlich, dass die sozial konstruierten Versionen der Ereignisse in den Medien und im öffentlichen Raum **gegenüber wissenschaftlich fundierten Fakten die Oberhand gewonnen haben.** So hat sich in den letzten Monaten in der Region und auch in den nationalen Medien ein gesellschaftlich konstruiertes Narrativ verbreitet, welches der Nationalparkverwaltung die Schuld an den verursachten Schäden gibt. Dieses ist unterstützt durch die visuelle Abhängigkeit, die falsche Vorstellung, dass trockenes Holz, welches wie typisches Brennholz aussieht, die Ursache des Feuers sein könnte (Repräsentationsheuristik). Umso notwendiger wird es sein, in den kommenden Monaten eine sachliche und korrekte Diskussion über die Brandursachen zu führen, die wissenschaftliche Forschung fortzusetzen und alle Ergebnisse in die Grundsätze des NP-Managements umzusetzen.

## 10. Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus klimatischer und meteorologischer Sicht nimmt die Anfälligkeit ganz Mitteleuropas für Brände seit langem zu. Waldbrände in Europa betrafen im Jahr 2022 rund 860.000 Hektar Waldfläche. Gemäß dem Trockenheitsindex (SPI-6) war die Trockenheit im August 2022 in der Region Böhmisches Schiefergebirge die intensivste der letzten 60 Jahre. Messungen direkt im Brandgebiet zeigen, dass die extrem niedrige Bodenfeuchtigkeit auf den Lichtungen die Ausbreitung des Feuers begünstigte.

Modellanalysen zeigen, dass die Ausbreitung des Brandes im NP Böhmisches Schiefergebirge unter den gegebenen Bedingungen nicht ohne weiteres verhindert werden konnte. Die Hauptursache für die rasche und in den ersten Tagen unkontrollierbare Ausbreitung des Brandes waren die außergewöhnlich günstigen Bedingungen. Insbesondere hohe Windgeschwindigkeit, sehr niedrige Feuchtigkeit des Holzes und der Waldstreu, der Luft und des Bodens sowie hohe Lufttemperaturen während der ersten drei Tage des Brandes waren hierbei die wichtigsten Faktoren. Entscheidend ist das Simulationsergebnis, bei dem nach dem Borkenkäferbefall Trockengebiete durch Lichtungen ersetzt werden, die entstanden wären, wenn alles Holz gerodet worden wäre und das Gebiet eine Gras- und Strauchvegetation aufgewiesen hätte. Der Brand würde auf einer Lichtung mit viel höheren Geschwindigkeit und Intensität verlaufen und es ist fraglich, wie man ein solches Feuer überhaupt unter Kontrolle bekommen könnte. Das Feuer hätte sich wahrscheinlich über eine größere Fläche ausgebreitet, als es sich letztendlich verbreitete.

Die Feldanalyse der Art und Weise der Verbrennung zeigt, dass die Lichtungen überraschend stark vom Feuer betroffen waren, trotz ihrer "Säuberung", d. h. dem Fehlen stehender und liegender Stämme und auch von Holzabfällen in Form von Ästen usw. Das Feuer hat es auch geschafft, alle Waldtypen zu überwinden. Selbst an Orten mit der höchsten Brandintensität ist ein bedeutender Teil des Ökosystems immer vom Feuer verschont geblieben, wo die Samenbank wahrscheinlich erhalten geblieben ist. Kurzfristig ist mit einer raschen Entwicklung von Kräutern und Gräsern zu rechnen, gefolgt von einem Wald aus Birken, Espen, Weiden und Waldkiefern. Die Nutzung der natürlichen Erneuerung als wichtigstes Verfahren zur Regeneration des vom Brand betroffenen Waldes ist wissenschaftlich gerechtfertigt und steht im Einklang mit der grundlegenden Aufgabe des Nationalparks.

Die paläoökologische Analyse zeigt, dass es im ganzen Gebiet seit dem Ende der letzten Eiszeit regelmäßig zu Bränden gekommen ist. Brände treten häufiger in Wäldern auf, die von Nadelbaumarten (Kiefern und Fichten) dominiert werden und die wenigsten Brände gab es in Zeiten, in denen Laubwälder (Buchenwälder) dominierten.

Falls die Brandursache, wie bisher bekannt, auf menschliches Handeln zurückzuführen ist und dies wahrscheinlich mit Verstößen gegen die Besuchsvorschriften zusammenhängt, ist es in den kommenden Jahren unerlässlich, sich im Rahmen der Brandprävention der Personalkapazität des Wachdienstes für den Einsatz im Terrain zu widmen sowie den Brandrisiken, die mit dem übermäßigen Tourismus an einigen Orten verbunden sind.