



Studierapport

Afwegingskader voor het gebruik van machines bij beheerwerken bij verhoogd natuurbrandgevaar



In opdracht van **AGENTSCHAP
NATUUR & BOS**

COLOFON

Titel	Afwegingskader voor het gebruik van machines bij beheerwerken bij verhoogd natuurbrandgevaar
Datum	30/04/2026 (rev. 08/07/2026, ANB)
Opdrachtgevers	Agentschap Natuur en Bos
Uitgevoerd door	Landmax bv - Part of United Experts Group Biezeweg 15a 9230 Wetteren
Projectleider	Jakob Derks ¹⁾
Projectmedewerkers	Jonas Lequeu ¹⁾ Quinten Stienlet ¹⁾ Maarten Decoene ¹⁾ Alexander Held ²⁾ Lindon Pronto ²⁾ Tom Heylen ³⁾
	¹⁾ Landmax ²⁾ European Forest Institute ³⁾ Heylen bvba
Illustraties	Jodie Watt

INHOUD

1 Natuurbranden begrijpen.....	7
1.1 De vuurdriehoek en ontstaan brand	7
1.1.1 Hitte	7
1.1.2 Zuurstof	8
1.1.3 Brandstof.....	8
1.2 Omgevingsfactoren en brandgedrag	8
1.2.1 Brandstof.....	8
1.2.2 Meteorologie en weersomstandigheden.....	8
1.2.3 Topografie	10
1.2.4 Brandgedragdriehoek.....	11
2 Machinale werken als brandoorzaak	12
2.1 Hitteproductie motor.....	15
2.1.1 Verbrandingsmotoren	15
2.1.2 Elektromotoren	18
2.2 Hitteproductie werktuigen	20
2.2.1 Aandrijfsysteem.....	20
2.2.2 Werktuig.....	21
2.3 Elektronische defecten	23
2.4 Vonken door steenslag/metaalslag	24
2.5 Brandstof.....	25
2.5.1 Fossiele brandstof.....	25
2.5.2 Componenten	26
2.5.3 Biomassa	26
2.6 Beheerresten	27
2.7 Samenvatting.....	28
3 Afwegingskader	29
3.1 Weerclassificatie	29
3.2 Brandbaarheid vegetaties.....	30
3.3 Ontstekingsrisico machines	35
3.4 Samenvattend afwegingskader	38
4 Werken bij een verhoogd brandrisico	39
5 Referenties	44

OVERZICHT VAN TABELLEN

TABEL 1: SAMENVATTENDE TABEL BRANDSTOFFEN	26
TABEL 2: BRANDGEVAARCODES BRANDGEVAAR	30
TABEL 3: DE VERSCHILLENDE GEHANTEERDE BRANDBAARHEIDSKLASSEN PER VEGETATIETYPE	33
TABEL 4: DE VERSCHILLENDE GEHANTEERDE BRANDGEVOELIGHEIDSKLASSEN PER VEGETATIETYPE	34
TABEL 5: ONTSTEKINGSRISICO MACHINES PER KLASSE.....	35
TABEL 6: NIET-EXHAUSTIEVE OVERZICHTSTABEL VAN MEEST GEBRUIKTE MACHINES PER LANDSCHAPSTYPE VOOR HET UITVOEREN VAN BEHEERWERKEN	36
TABEL 7: AFWEGINGSKADER GEBRUIK MACHINES	38

SAMENVATTING

De toename van extreme weersomstandigheden veroorzaakt door klimaatverandering, baart ook in Vlaanderen natuurbeheerders steeds meer kopzorgen. Zowel periodes van intense neerslag, als langere periodes van droogte zijn uitingen hiervan. Droogteperiodes, al dan niet in combinatie met hittegolven, hebben een ernstige impact op de grondwatertafel, maar brengen ook een toenemend gevaar op natuurbranden met zich mee.

Vele factoren die het risico op een natuurbrand sturen, liggen buiten de invloedssfeer van het natuurbeheer. Toch speelt dat beheer een cruciale rol in het voorkomen of beperken van oncontroleerbare branden. In de eerste plaats kan via beheer de beschikbaarheid en de aard van de brandstof – de vegetatie – beïnvloed worden. Daarnaast vormt het beheer een potentiële bron van ontstekingen, met name bij het gebruik van machines. Een goede planning van beheerwerken kan ontstekingen vermijden en bijdragen aan een brandveiligere natuur in Vlaanderen.

Dit rapport focust zich op dat laatste aspect: het ontstekingsgevaar door machines. Om het thema overzichtelijk te maken is het rapport als volgt opgebouwd

- ✓ Een korte achtergrond van de dynamiek van natuurbranden en van de relevante omgevingsfactoren, met name het weer en de vegetatie (H1)
- ✓ Een toelichting van de verschillende manieren waarop machines hitte en een ontsteking kunnen veroorzaken (H2)
- ✓ Een afwegingskader voor de inzet van machines in natuurgebieden, gebaseerd op basis van de drie eerder toegelichte factoren: 1) weer, 2) vegetatie en 3) risico van de machine (H3)

Het rapport heeft tot doel beheerders bewust te maken van de risico's die gepaard gaan met machinegebruik in natuurgebieden, zodat het brandrisico kan worden beperkt.

Dankwoord

Dit rapport is de vrucht van het werk van vele mensen die hun schouders onder het project gezet hebben. Wij danken in de eerste plaats Jurgen Rombaut en Jeroen Panis van het ANB voor hun initiatief om het thema van natuurbranden in Vlaanderen op de kaart te zetten, net als voor hun cruciale inhoudelijke en organisatorische ondersteuning. Verder gaat onze dank uit naar de leden van de stuurgroep, die met hun inhoudelijke expertise het rapport mee hebben vormgegeven: Marijke Thoonen (INBO), Eline Roelandt (ANB) en Gui Winters (ANB). We zijn ook erg erkentelijk voor de inbreng van machine-expert Tom Heylen (Heylen bvba) en van Alexander Held en Lindon Pronto (European Forest Institute), die door hun praktische en internationale ervaring de nodige expertenkennis konden inbrengen. We willen ook iedereen bedanken die het afgelopen jaar heeft meegewerkt aan onze workshops en infosessies, zowel de deelnemers als de presentatoren die mee dit thema in praktijk en theorie uitdiepen in Vlaanderen; in het bijzonder Corina Cools (ANB), Jan Baetens (Ugent) en Koen Goffings (PXL). Ten slotte bedanken we Jodie Watt voor de vele illustraties die dit rapport rijk is.

1 Natuurbranden begrijpen

1.1 De vuurdriehoek en ontstaan brand

Vuur is in essentie een chemisch proces; een snelle oxidatiereactie waarbij licht en hitte vrijkomen. Om te kunnen oxideren is er zuurstof nodig. De snelle oxidatiereactie bij een brand behoeft daarbij een ontstekingsbron. Een natuurbrand kan alleen ontstaan als de drie elementen van de **vuurdriehoek** aanwezig zijn: hitte (ontstekingsenergie), zuurstof en brandstof (Figuur 1). Zodra één factor ontbreekt, kan er geen verbranding plaatsvinden.



Figuur 1 oxidatiereactie en vuurdriehoek

1.1.1 Hitte

Warmte is de energie die nodig is om brandbaar materiaal dampen of gassen te laten afgeven, die zich vermengen met de zuurstof in de lucht en een brand kunnen veroorzaken. Omdat in ons klimaat blikseminslag zelden voorkomt tezamen met droog weer, ontstaan de meeste branden, al dan niet bewust door menselijk toedoen. Natuurbranden ontstaan bijvoorbeeld door kampvuren, experimenteren met explosief materiaal, verbranding van snoeiresten in de land- en bosbouw dat gepaard gaat met rondvliegende vonken, maar ook opzettelijke brandstichting. Een andere mogelijkheid is zelfontbranding, bijvoorbeeld door het afbraakproces van organisch materiaal of door de vrijzetting van chemisch instabiele stoffen uit gecorrodeerde (historische) munitie. Naast de ontbranding van brandbaar materiaal bepaalt de warmte eveneens het verloop van het verbrandingsproces. Hoe warmer de vegetatie of het brandbare materiaal al is - bijvoorbeeld door langdurige blootstelling aan zonlicht op een zuidhelling - hoe minder extra warmte nodig is om ontbranding te veroorzaken. Daarnaast is de mate van opwarming bepalend voor het verloop van de brand. De hitte van een brandend object of brandend materiaal kan zich op drie manieren verspreiden en zo nieuw brandbaar materiaal doen ontbranden: via conductie (warmtegeleiding door direct contact binnen of tussen materialen), via convectie (stroming van stijgende warme lucht die omliggende materialen opwarmt) en radiatie (overdracht van warmte in de vorm

van warmtestraling naar nabijgelegen objecten). Hoe intenser en warmer een brand is, hoe gemakkelijker en sneller deze processen verlopen.

1.1.2 Zuurstof

Zuurstof is in de buitenlucht altijd overvloedig aanwezig. Een toename van de wind kan de zuurstoftoevoer verhogen, waardoor een brand verder wordt aangewakkerd. De snelheid waarmee vuur zich door brandbaar materiaal verspreidt, hangt samen met de dichtheid en structuur ervan. Fijn en luchtig materiaal, zoals gras en dunne takken, bevat relatief veel zuurstof en brandt daardoor snel. Zwaar en compact materiaal, zoals boomstammen of dikke takken, bevat minder zuurstof en brandt aanzienlijk trager.

1.1.3 Brandstof

Brandstof omvat in principe alles wat brandbaar is. In een natuurlijke omgeving bestaat dit meestal volledig uit plantaardig materiaal, met name de vegetatie en het organisch materiaal in de bodem. In het algemeen kan al het plantaardige materiaal, zowel levend als dood, als "brandstof" worden beschouwd. Van de drie elementen van de vuurdriehoek is brandstof de belangrijkste variabele die via natuurbeheer het meest kan worden beïnvloed.

1.2 Omgevingsfactoren en brandgedrag

Op een grotere ruimtelijke en temporele schaal bepalen andere omgevingsfactoren mee het brandgedrag. Het brandgedrag beschrijft de manier waarop brandbaar materiaal ontbrandt, er een vlam ontstaat en het vuur zich verspreidt. De brandomgeving bepaalt grotendeels het brandgedrag. De brandomgeving bestaat uit drie variabelen: brandstof, meteorologie en topografie.

1.2.1 Brandstof

De brandstof bepaalt de intensiteit, vlamlengte, brandduur en de snelheid van de verspreiding. Deze aspecten worden in detail behandeld in het rapport "Praktische richtlijnen voor de brandveilige inrichting van natuurgebieden".

1.2.2 Meteorologie en weersomstandigheden

Het weer heeft een invloed op elk aspect van een brand.

Er is een invloed van **de temperatuur**: hoe langer droog weer aanhoudt, hoe droger en warmer de vegetatie en ondergrond, hoe groter de kans dat een brand ontstaat.

De wind heeft, afhankelijk van de snelheid en richting, dan weer een grote invloed op de verspreiding ervan. Bij een **windsnelheid** hoger dan 5m/sec (3 tot 4 beaufort) hellen de vlammen over en drogen ze de vegetatie uit aan de lijszijde, weg van de wind. Vanaf ongeveer 10m/sec (5 tot 6 beaufort) liggen de vlammen quasi horizontaal en worden ze rechtsreeks richting de omliggende vegetatie geblazen (Smits et al., 2020). De windsnelheid en dus winderige omstandigheden beïnvloeden de uitdroging van en zuurstoftoevoer naar de vegetatie.

Afhankelijk van **de windrichting** wordt het uitdrogende effect van de wind versterkt: continentale wind uit oostelijke richting heeft een lager vochtgehalte dan maritieme wind uit het westen waardoor verdamping en afvoer van vocht wordt bevorderd (Figuur).

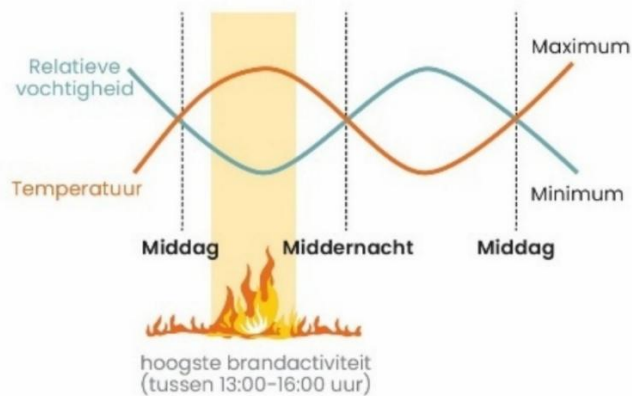
Ten slotte is nog **de luchtvochtigheid** van belang. Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid doorheen de dag is omgekeerd evenredig aan het verloop van de luchttemperatuur (Figuur 3). Hoge luchttemperaturen worden geassocieerd met een lage relatieve luchtvochtigheid en bijgevolg een hoger brandrisico. Een gekende vuistregel is de 30-30-30-regel: er kan een extreem hoog brandgevaar zijn als de luchtvochtigheid onder de 30% daalt, als de temperatuur boven de 30°C stijgt en als de windsnelheid 30 km/u overschrijdt.



Figuur 2: De wind tijdens deze brand in de Clingse bossen kwam uit het zuidoosten (rechts op de foto) (foto: Jakob Derks)

De luchttemperatuur alleen is geen betrouwbare graadmeter voor brandgevaar. Er wordt namelijk een toenemend aantal branden waargenomen bij een lagere temperatuur in de winter of het vroege voorjaar, voor het uitlopen van de bladeren (Stoof et al., 2024). Zo bevatten planten in de winter bijvoorbeeld minder vocht, ligt er doorgaans veel droog strooisel op de bodem ten gevolge van bladval en lagere microbiële activiteiten en kan de relatieve luchtvochtigheidsgraad lage waarden

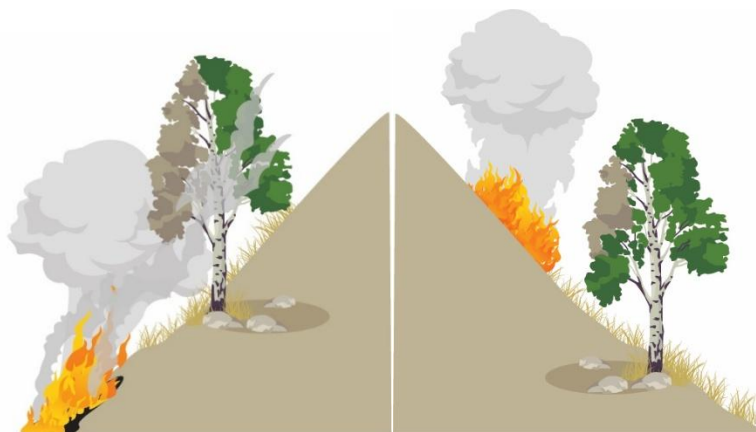
aannemen in specifieke omstandigheden: droge oostenwind en vriestemperaturen.



Figuur 3: Schommeling in brandgevaar gedurende de dag

1.2.3 Topografie

De exacte invloed van het **reliëf en de hellingsgraad** op een brand is complex. Van nature heeft een brand de neiging om zich naar boven uit te breiden en zal zich veel sneller bergop dan bergaf verspreiden. Een hellingsgraad van 10% verdubbelt de snelheid, een van 20% verviervoudigt die (Forestry Commission, 2014). Vegetatie hoger op de helling wordt via stralingswarmte voorverwarmd en uitgedroogd.



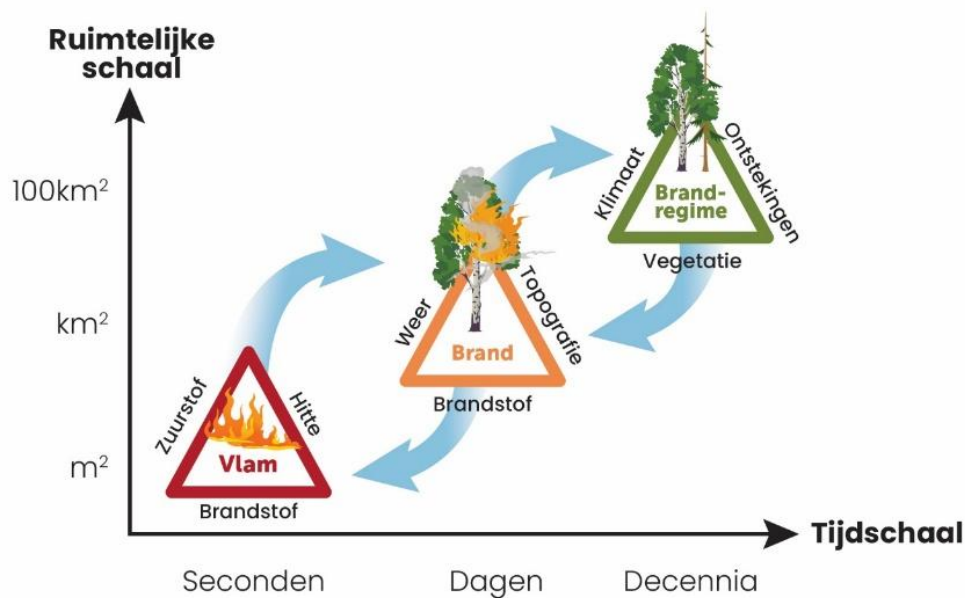
Figuur 4: Effect van expositie van helling op brand

De expositie, de blootstelling aan de zonnestraling, van een helling is evenzeer belangrijk: flanken die op het zuiden gericht zijn warmen sneller op, drogen sneller uit en zijn daardoor brandgevaarlijker dan noordflanken. Gelijklopend zijn vegetaties die voor een groot deel van de dag in de schaduw staan van andere vegetaties, minder geëxposeerd en minder brandgevaarlijk (Figuur 4).

Topografie kan een invloed hebben op **de windwerking** in valleien. Valleien kunnen een schoorsteeneffect veroorzaken dat, onafhankelijk van de windrichting, de brand drastisch kan doen versnellen en verhevigen. De hete lucht die door het vuur wordt geproduceerd, stijgt snel op langs de helling. Daardoor ontstaat er een sterke opwaartse luchtstroom die als het ware werkt als een schoorsteen. Onderaan wordt continu extra, koelere lucht aangezogen volgens de oriëntatie van de vallei, wat de zuurstoftoevoer vergroot, het vuur verder aanwakkert en de uitbreidingssnelheid van de vuurfronten doet toenemen.

1.2.4 Brandgedragdriehoek

Brandstof, weer en topografie beïnvloeden de snelheid, richting en intensiteit van een natuurbrand. Vanuit dit principe is de **brandgedragdriehoek** afgeleid (Figuur 5). De gemeenschappelijke factor tussen de vuurdriehoek en de brandgedragdriehoek is de vegetatie zelf: zij vormt de **brandstof**. Vegetatie kan tijdens een brand actief worden verwijderd om verdere verspreiding te beperken, maar vooral preventief kan men door beheer ingrijpen in de soortensamenstelling, hoeveelheid, structuur en ruimtelijke configuratie van biotopen en natuurtypes. Zo kunnen de intensiteit en de verspreiding van een potentiële brand ingeperkt worden. Het rapport "Praktische richtlijnen voor de brandveilige inrichting van natuurgebieden" gaat dieper in op de aspecten die hierbij van belang zijn en hoe de vegetatie het gedrag van een brand kan beïnvloeden.



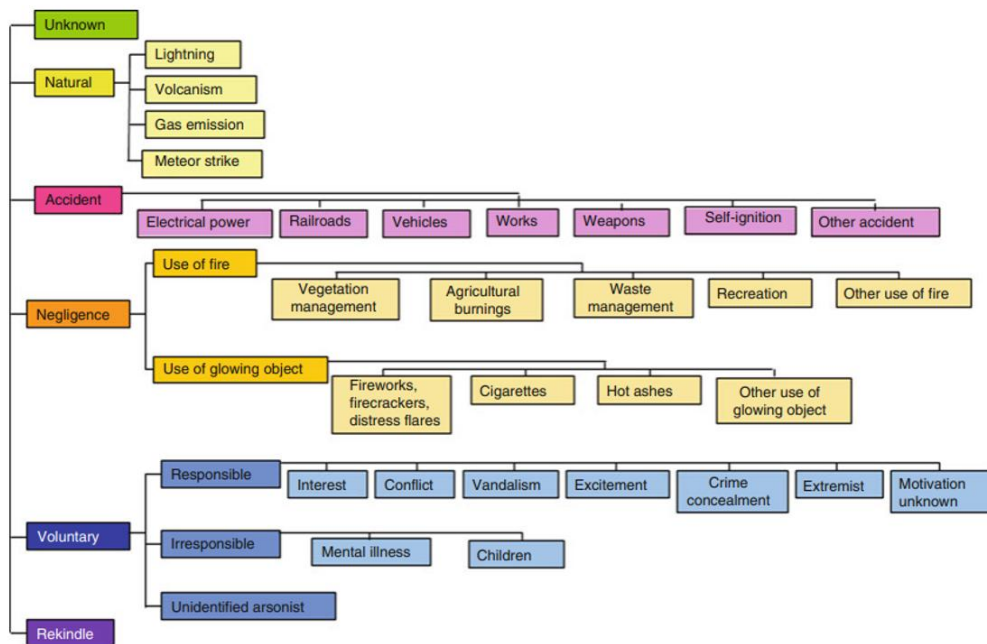
Figuur 5: de brandgedragdriehoek

2 Machinale werken als brandoorzaak

Er is verrassend weinig bekend over de aantallen en oppervlaktes van branden die veroorzaakt worden door het gebruik van machines. Het accidenteel veroorzaken van brand tijdens de uitvoering van werken is nochtans een reëel gevaar, dat vaak onderschat wordt.

In 2013 publiceerde het Joint Research Centre van de Europese Commissie een geharmoniseerd classificatiesysteem voor de oorzaken van natuurbranden, dat ook gebruikt wordt voor de EFFIS-databank (Camia et al., 2013)(Figuur 6). Het gebruik van machines bij beheerwerken valt onder de subcategorie "works" binnen de hoofdcategorie "accidents" (zie Camia et al., 2013). In het rapport wordt deze oorzaak gedefinieerd als:

Wildfire caused by sparks emitted by engines and machinery (such as chainsaw) in industry, forestry and agriculture or people at work (explosions, welding, grinding, smouldering) or by ignition of flammables and vapours during works in industrial activities.

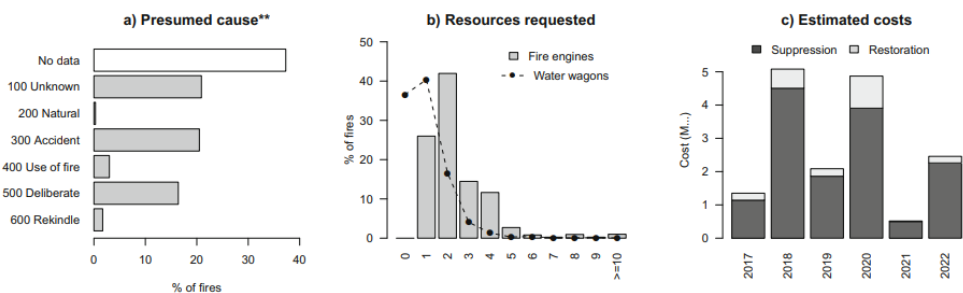


Figuur 6: Europees classificatiesysteem van brandoorzaken (Camia et al., 2013)

Dit classificatiesysteem werd in een meta-studie door Ganteaume & Syphard, 2018 gebruikt om de oorzaken van branden te kwantificeren. De resultaten tonen aan dat onopzettelijke brandstichting (*accident - negligence*) in Europa, Canada, de VS, Australië en Nieuw-Zeeland aan de oorsprong ligt van de meeste branden. Hun

onderzoek spreekt zich wel niet specifiek uit over het gebruik van machines bij beheerwerken.

De schaarse beschikbare studies wijzen er echter op dat beheermaatregelen in het buitengebied een significant deel van alle natuurbranden veroorzaken. Een studie in Zuid-Frankrijk toonde aan dat branden in het buitengebied tussen 1973 en 2013 vooral door arbeidsongevallen veroorzaakt werden, met name in de herfst, winter en lente (Curt et al., 2007). Ook in een Nederlandse studie bleken ongelukken de voornaamste oorzaak van natuurbranden te zijn (Stoof et al., 2024)(Figuur 7).



Figuur 7: Overzicht van de brandoorzaken en de nodige repressiemiddelen in Nederland in de afgelopen decennia (Stoof et al., 2024).

Zweeds onderzoek toonde voor een periode van 18 jaar aan dat bosbouwwerkzaamheden de oorzaak waren van 2,2% van alle bosbranden waarvoor brandweerinzet nodig was. Dit relatief lage getal correspondeerde echter met 40% van de verbrande oppervlakte (Sjöström et al., 2019). De grootste Zweedse bosbrand in decennia, de Västmanlandbrand van 2014, werd veroorzaakt door een vonk die ontstond tijdens een terreinvoorbereiding met een bosploeg, snel draaiende schijven die gebruikt worden om een terrein plantklaar te maken (Figuur 8). De brand legde 15.000 hectare in de as.

Dit hoofdstuk focust op het ontstaan van brand bij het gebruik van machines bij natuurbeheer. Er dient echter opgemerkt te worden dat de kans op het ontstaan van machine gerelateerde branden evengoed bestaat buiten die gebieden. Met name op aangrenzende landbouwpercelen is er in droge omstandigheden een reëel ontstekingsgevaar, dat hier verder buiten beschouwing gelaten wordt, maar waarvoor een aantal conclusies van dit rapport van toepassing zijn.



Figuur 8: Bosploeg (disc trencher) op een stenig terrein in Zweden, gevaar voor vonkslag (foto: Bracke Forest AB)

Brand kan op verschillende manieren ontstaan in en rond een machine. De meeste machines bevatten meerdere mogelijke ontstekingsbronnen. In de volgende paragrafen worden de belangrijkste oorzaken toegelicht.

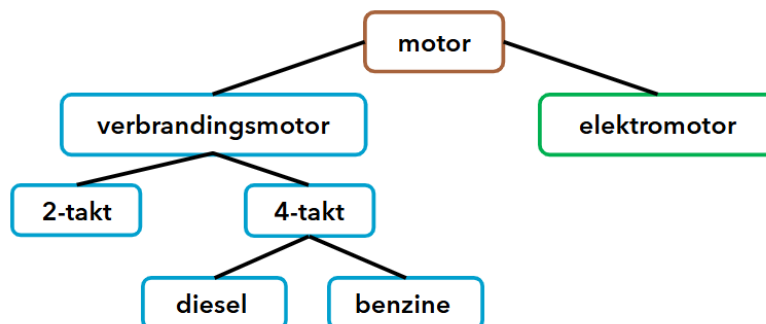
Regelmatig, vakkundig en grondig onderhoud van machines is cruciaal om brandrisico's te beperken. Gebrekkig onderhoud op zichzelf veroorzaakt geen branden, maar kan ontsteking in de hand werken. De autobrandstatistieken van de Amerikaanse Fire Administration van 2018 geven een beeld van de brandoorzaken. Bij 45% van de geregistreerde autobranden lag een mechanisch defect, zoals een lekkende leiding aan de basis. Elektronische defecten waren goed voor 21% van de ontstekingen, gelekte of gemorste vloeistoffen en gassen voor 13%. Bijna 80% van de autobranden kon dus vermeden worden door gedegen onderhoud. Regelmatig, vakkundig en grondig onderhoud van machines is cruciaal om brandrisico's te beperken.

2.1 Hitteproductie motor

De eerste plaats waar hitte in een machine kan ontstaan is in het motorcompartiment. Motoren bestaan uit bewegende delen, en beweging wekt hitte op. Uit cijfers uit de VS bleek dat 62,2% van de geregistreerde autobranden in 2018 ontstaan was in of rond het motorcompartiment (Fire Administration & Fire Data Center, 2018), waarbij hitteproductie van de motor op zich instond voor 39% van het totaal. De kans dat een voertuig met een verbrandingsmotor in brand schiet is globaal genomen erg klein, naar schatting 0,1%.

Belangrijk bij alle types motoren is dat die hitte voldoende kan ontsnappen door koeling en ventilatie. Bij defecte of vervuilde luchtroosters, ventilatoren of koellichamen kan de warmte niet ontsnappen en bestaat het gevaar op oververhitting van de motor. De vuildeeltjes zelf kunnen bovendien fungeren als brandstof, zeker wanneer ze bestaan uit fijn organisch materiaal met een lage zelfontbrandingstemperatuur. Dit aspect wordt in een ander hoofdstuk uitvoerig besproken (zie 2.5).

Bij motoren moeten we een onderscheid maken tussen twee belangrijke categorieën: verbrandingsmotoren en elektromotoren. Verbrandingsmotoren staan nog steeds in voor het leeuwendeel van de aandrijving in het machinepark van natuurbeheerders, maar het aandeel van elektrische machines neemt zienderogen toe. Aangezien de karakteristieken en de risico's voor de twee categorieën heel anders zijn, worden ze hieronder afzonderlijk besproken. Binnen de verbrandingsmotoren wordt verder kort ingegaan op de verschillen tussen tweetakt- en viertaktmotoren en tussen diesel en benzine als brandstof (Figuur 9).



Figuur 9: Typologie van werktuigmotoren

2.1.1 Verbrandingsmotoren

Verbrandingsmotoren worden aangedreven door benzine of diesel en werken volgens het tweetakt of viertakt principe.

Tweetaktmotoren zijn in de praktijk steeds kleine benzinemotoren die gebruikt worden op lichte, motormanuele toestellen. Tweetaktdieselmotoren bestaan, maar zijn binnen de sector van natuurbeheer irrelevant. Bij tweetaktmotoren is er enkel een in- en een uitlaatfase. Door de nood aan mengsmering wordt in de

verbrandingskamer een mengsel van brandstof en olie verbrand. Hierdoor veroorzaken ze veel schadelijke emissies. **Viertaktmotoren** zijn zuiniger en veroorzaken minder emissies, maar zijn relatief zwaarder en dienen in principe steeds in dezelfde stand gebruikt te worden (met de onderkant naar beneden) om te voorkomen dat de brandstof de aan- en afvoerleidingen verstopt en omdat de smering via het oliecarter verloopt. Ze worden gebruikt in alle zwaardere machines, en in bepaalde motormanuele toestellen zoals sommige bosmaaiers.

Door de aanwezigheid van olie in de brandstof, de snellere opeenvolging van verbrandingsslagen en de iets hogere uitlaattemperatuur zijn tweetaktmotoren iets brandgevaarlijker dan viertaktmotoren.



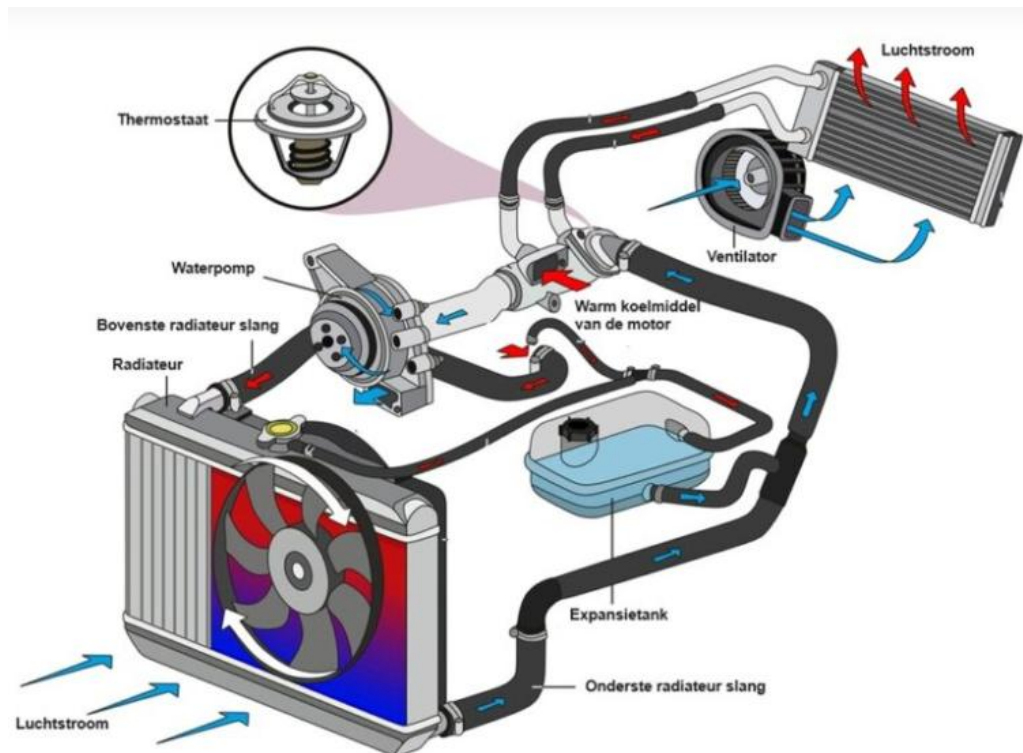
Figuur 10: links: Vervuilde motorradiator van een kraan (foto: Jonas Lequeu); rechts: Kettingzagen beschikken meestal nog steeds over een tweetakt-benzinemotor. Voor lichter werk zijn accumachines in opmars. (foto: Tom Heylen)

Door de interne verbranding en de daarbij gegenereerde hitte is er bij verbrandingsmotoren een **inherent ontstekingsrisico**. Bij een goed functionerende machine is vooral het uitlaatsysteem en dan met name de katalysator, waar schadelijke stoffen uit de uitlaatgassen gefilterd worden, een kritiek punt. Wanneer de aanvoer van brandstof niet goed ingesteld is, kan overtollige brandstof in de katalysator terecht komen en intense hitte veroorzaken. Bij een normale werking lopen de temperaturen in de katalysator al gemakkelijk op tot 800°C of meer.

Voor bij kleinere voertuigen vormt de katalysator een reëel gevaar doordat deze laag gepositioneerd is, dicht nadert bij het maaiveld, en daardoor gemakkelijk in contact kan komen met brandgevoelige vegetatie zoals hoog opschietend gras (Baxter, 2004). Bij grotere voertuigen zoals tractoren of harvesters is de afstand tussen hete motor- en uitlaatonderdelen en de strooisel- of kruidlaag groter en het risico daarom beperkter (Sjöström et al., 2019). Biomassa die zich onder de motorkap opstapelt, zoals dorre bladeren en twijgjes, kan, ver van de grond binnen het motorcompartiment, als brandstof fungeren.

De uitlaatgassen zelf behalen gemakkelijk een temperatuur van 400°C of meer en kunnen zo de aangrenzende vegetatie verder doen uitdrogen of - bij biomassa met een lage zelfontbrandingstemperatuur - zelfs een brand veroorzaken.

Een motor geraakt oververhit wanneer hij langdurig aan hoge toerentallen draait of wanneer het koelsysteem niet goed werkt, door bijvoorbeeld een te laag koelvloeistofniveau, een defecte pomp of een verstopping van de luchttoevoer naar de radiator (Figuur 11).



Figuur 11: Schematische afbeelding van een koelsysteem (bron: autodoc.nl)

Een andere mogelijke oorzaak is een versleten cilinderkoppakking. Dit kan leiden tot verschillende secundaire effecten. Zo kunnen uitlaatgassen in het koelsysteem terechtkomen, waardoor dit niet meer naar behoren werkt en oververhitting in de hand werkt. Bij een te hoge druk op de koelvloeistoftank door te hoge temperaturen, schieten de klemmen van de koelvloeistofleidingen los en komt de koelvloeistof terecht op hete motoronderdelen. Wanneer motorolie in het koelsysteem terecht komt blokkeert dit de leidingen. Ten slotte kan lekkende brandstof of olie terechtkomen op hete onderdelen zoals het spruitstuk, waar ze kunnen ontbranden.

Als de locatie van de oververhitting aangepakt wordt, kan een motorbrand in principe geblust worden. Het is daarom belangrijk om bij de eerste signalen van brand, zoals rookontwikkeling, onmiddellijk de motor stil te leggen. Het blussen

zelf is in de praktijk in natuurgebieden niet altijd evident bij gebrek aan blusmiddelen.

Preventie van oververhitting bestaat vooral uit een regelmatig onderhoud en reiniging van de machine. Soms zijn er technische ingrepen mogelijk die het risico verkleinen, zoals vonkenvangers bij kettingzagen.

Samenvatting verbrandingsmotoren

Verbrandingsmotoren veroorzaken bij regulier gebruik hoge temperaturen, die nog veel hoger kunnen oplopen indien er door vervuiling of schade onvoldoende koeling is. Die hitte kan in verschillende brandstoffen een ontsteking veroorzaken: 1) benzine, diesel of smeerolie en 2) biomassa in het motorcompartiment of buiten de machine. Een goed onderhoud is bijgevolg essentieel. Het is belangrijk om tijdens de werken alert te blijven voor de eerste signalen van rookontwikkeling.

2.1.2 Elektromotoren

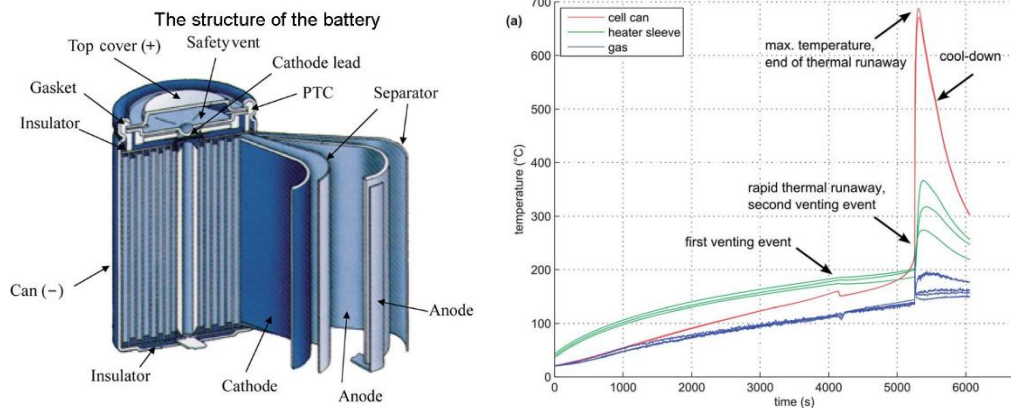
Elektromotoren zijn een relatief recent maar snel opkomend fenomeen binnen het natuurbeheer. Bij een elektromotor zorgen stroomkabels ervoor dat er een roterend magnetisch veld ontstaat in de stator, dat vervolgens de rotor in beweging brengt. De stroom die hiervoor nodig is wordt opgeslagen in batterijen, meestal lithium-ion-batterijen.

De voordelen van elektromotoren zijn legio: geen plaatselijke emissies, minder geluidsoverlast en geen startproblemen. Op het vlak van brandgevaar zijn de voordelen echter minder uitgesproken.

Net zoals bij de verbrandingsmotoren hebben de voornaamste databronnen betrekking op voertuigen, waaruit slecht deels conclusies geëxtrapoleerd kunnen worden naar andere machines. Er zijn bovendien erg weinig betrouwbare cijfers over het aantal branden in elektrische voertuigen (EV's) versus voertuigen met een verbrandingsmotor.

Een Zweedse studie uit 2020 raamde de kans op een brand in een elektrische wagen op een twintigste, maar het totale aandeel ten opzichte van de totale vloot was erg laag en bovendien waren alle EV's recente auto's. Een studie uit Zuid-Korea, waar de elektrische vloot al wat ouder is, toonde een verschil met een factor 4 aan ten voordele van EV's. In Noorwegen, het land met het hoogste aandeel EV's ter wereld, werden gelijkaardige verschillen (4-5x minder branden) gevonden.

Het is te vroeg om definitieve uitspraken te doen, maar we kunnen concluderen dat de kans op branden in EV's lager ligt en dat zowel bij elektrische machines als bij verbrandingsmotoren leeftijd en een nalatig onderhoud positief gecorreleerd zijn met het brandgevaar. Bij machines waarbij de batterij meer blootgesteld wordt aan weer en wind, zoals elektrische kettingzagen of bosmaaiers, is het risico op beschadiging van de batterij wellicht veel groter dan bij wagens.



Figuur 12: links: Opbouw van een batterijcel (bron: tycorun.com); rechts: Het proces van thermal runaway (Golubkov et al., 2014)

De grootste uitdaging is het totaal andere en onvoorspelbaardere brandgedrag. Branden in elektromotoren zijn zo complex en er zijn zoveel chemische reacties bij betrokken dat nog niet elke stap in het proces volledig ontsloten is door de wetenschap.

Een typische lithiumbatterij bestaat uit honderden of duizenden cellen. Binnen een cel vloeien lithiumionen via het circuit van collectoren van de anode naar de kathode als de batterij in gebruik is, en in de omgekeerde richting wanneer de batterij opgeladen wordt. De anode en kathode worden gescheiden door een poreus kunststof vlies om de ongecontroleerde uitwisseling van elektronen te voorkomen. Een beschadiging van die begrenzer leidt tot interne kortsluiting binnen de cel. Dit kan veroorzaakt worden door tal van factoren: mechanische (zoals fabricagefouten of vervorming door beschadiging), elektrische (overladen of te verre ontlading van de batterij) of thermische oorzaken (oververhitting). Bij een temperatuur van 130°C smelt de begrenzer. Een interne kortsluiting leidt tot hoge temperaturen en een opbouw van gassen in de cel. Wanneer de overdrukklep het begeeft door een te hoge gasdruk kan de celwand scheuren en explodeert de cel. De temperaturen lopen hierbij op tot boven de 1000°C; hoger dan de zelfontbrandingstemperatuur van koper, die 1085°C bedraagt. De defecte batterijcel tast de naburige cellen aan, in een kettingreactie die bekend staat als **thermal runaway** (Figuur 12). De vrijgekomen gassen kunnen moeilijk weg uit de afgesloten behuizing. De opgebouwde druk kan leiden tot een explosie van de batterij, die gepaard gaat met een steekvlam en giftige rook. De aanwezige metaaloxides in de lithiumbatterij produceren bij verhitting boven de 300°C zuurstof, wat leidt tot de verbranding van de componenten zonder de nood aan zuurstof van buitenaf. Dit soort explosieve verbrandingen, die zichzelf in stand kunnen houden zonder externe zuurstoftoevoer, noemt men deflagratie.

Eens een elektromotor ontbrandt, is hij praktisch niet te blussen, zowel door de interne zuurstofproductie als door het feit dat de interne componenten volledig verzegeld zitten in een beschermende behuizing. De belangrijkste functie van

bluswater is de reactiesnelheid vertragen door voor afkoeling te zorgen. Het enige wat men verder nog kan doen is proberen te voorkomen dat het vuur overslaat op de omgeving.

Voor de preventie van batterijbranden is het van belang om de batterijen niet bovenmatig op te laden en niet te werken met een bijna lege batterij. Ze moeten gestockeerd worden bij gematigde temperaturen en fysieke schade, bijvoorbeeld door ze te laten vallen, moet absoluut vermeden worden.

Samenvatting elektromotoren

Elektrische gereedschappen produceren bij regulier gebruik minder hitte dan verbrandingsmotoren en vormen in principe een minder groot risico op natuurbranden. Bovendien is er geen risico op het morsen van brandstof bij het opladen. Indien ze door oneigenlijk gebruik of een defect toch oververhit geraken, zijn de risico's echter groter dan bij verbrandingsmotoren. Door de explosieve aard van de ontbranding en de interne productie van zuurstof zijn brandende elektrische machines eigenlijk niet te blussen en verloopt een brand erg onvoorspelbaar.

2.2 Hitteproductie werktuigen

Buiten het motorcompartiment spelen in machines processen die een - weliswaar beperkt - brandgevaar kunnen opleveren. Er zijn verschillende systemen die middels kracht van de motor andere werktuigen kunnen aandrijven. Er zijn twee grote klassen: mechanisch en hydraulisch. Elektrische en pneumatische aandrijvingen zijn in de context van het natuurbeheer minder relevant en worden niet specifiek behandeld. Elektronische defecten in het algemeen worden besproken onder 2.3 en pneumatische processen, die gestuurd worden door de compressie van lucht, vormen in de praktijk weinig gevaar en komen niet vaak voor in beheerwerktuigen.

2.2.1 Aandrijfsysteem

Mechanische aandrijvingen (krachtafnemer of Power Take-Off (PTO) genoemd) werken met spievertanding die de beweging van een roterende as overbrengt op een andere as. Het standaard systeem op tractoren is de aftakas, een cardanaandrijving waarop tal van werktuigen aangesloten kunnen worden. De as draait aan een vast toerental, meestal 540 tpm. Bij een gebrek aan smering kan een cardanas oververhit geraken en in extreme gevallen vonken veroorzaken.



Figuur 13: links: Klepelmaaier (foto: Tom Heylen); rechts: Bosfree (foto: Tom Heylen)

Hydraulische aandrijvingen worden aangestuurd met een pomp op aandrijfolie en zijn geschikt voor precieze bewegingsoverdracht. Lekkende olie kan, wanneer ze in contact komt met hete motoronderdelen, in brand schieten. Bij beschadigde leidingen kan lekkende hydraulische olie onder hoge druk vernevelen of wegsprengen en in contact met hete motoronderdelen vlam vatten.



Figuur 14: links: Een kraanarm met grijper vormt op zich een gering brandrisico (foto: Tom Heylen); rechts: Opgehoopte twijgen tussen de hydraulische leidingen van een kraan (foto: Jonas Lequeu)

2.2.2 Werktuig

Veel belangrijker dan het type aandrijving is echter het aangedreven werktuig zelf. Tot op zekere hoogte is dit gelinkt aan het aandrijftype.



Figuur 15: Eén machine zoals deze kraan met stronkenfrees kan verschillende risico's herbergen; in dit geval een verbrandingsmotor, elektronica, hydraulische leidingen en een snel draaiend aangedreven werktuig (foto: Tom Heylen)

Met een mechanische aandrijving kunnen hogere vermogens gegenereerd worden. Typische toestellen die vaak op een aftakas gemonteerd worden zijn maaibalken, frezen en klepelmaaiers. Vooral die laatste twee – snel roterende werktuigen – zijn potentieel gevaarlijk door de vonkenvorming (zie 2.4) en het feit dat ze veel vermogen en een hoog toerental van de motor vragen met het bijbehorende risico op oververhitting (zie 2.1.1)

Kraanarmen van graafmachines of harvesters worden hydraulisch aangedreven. Veel werktuigen op kraanarmen draaien traag en vragen relatief weinig vermogen van de machinemotor, zoals grijpers of graafbakken. Frezen of klepelmaaiers op een kraanarm daarentegen vormen in sé dezelfde risico's als op een cardanas, met die bedenking dat ze vaak iets minder vermogen hebben.

Net als bij andere machineonderdelen is een regelmatig onderhoud essentieel, met bijzondere aandacht voor de smering bij draaiende werktuigen.

Samenvatting gekoppelde werktuigen

Het brandrisico veroorzaakt door gekoppelde werktuigen is beperkt. Pneumatische werktuigen vormen een heel klein risico en zijn weinig relevant in de natuursector. Elektrische werktuigen komen steeds meer voor, maar zijn nog relatief zeldzaam. De risico's hiervan schuilen vooral in mogelijke elektronische defecten (zie 2.3). Hydraulische werktuigen vormen bij voldoende smering weinig gevaar. Mechanische werktuigen, die vaak aan hoge snelheden draaien, vormen vooral een risico door de kans op vonken door steen- of metaalslag (zie 2.4).

2.3 Elektronische defecten

Uit het Zweedse onderzoek van Sjöström et al., (2019) bleken elektronische defecten slechts verantwoordelijk te zijn voor 3% van de geregistreerde branden. De eerder aangehaalde statistieken van autobranden in de VS wijzen 21% van de ontstekingen toe aan een elektrische kortsluiting (Fire Administration & Fire Data Center, 2018). De beschikbare cijfers lopen duidelijk ver uiteen.

Stroomkabelisolatie kan op verschillende manieren beschadigd geraken. De mantel kan gekneld raken, verduren, of doorgeknaagd worden door dieren (bv. steenmarters). Een ander mogelijkheid is oververhitting, bv. door een onaangepaste kabelsectie. Beschadigde isolatie rond kabels kan lekstromen en kortsluitingen veroorzaken. Bij een kortsluiting vloeit veel stroom richting een object met een lage weerstand (een stroomdraad, water of een oxidatielaag), wat leidt tot warmteontwikkeling en eventueel brand. Vooral kabels in de buurt van brandbare elementen zoals tapijten en zetelbekleding vormen een groot risico (zie 2.5).



Figuur 16: Brand in een rupsgraafmachine in een vochtig grasland ten gevolge van een elektronisch defect (foto: Tom Heylen)

De evolutie van een gloeiende stroomdraad naar een ernstige brand is relatief langzaam en wordt vaak tijdig opgemerkt.

Om elektronische defecten te voorkomen is het in de eerste plaats belangrijk om geen elektronische aanpassingen of opties in te bouwen in de machine. Elke aanpassing dient door de producent gekeurd te worden.

Samenvatting elektronische defecten

Elektronische defecten vormen een reëel risico op brand maar er is vaak voldoende tijd om ze te detecteren voor de brand echt uitbreidt. Beschadigde isolatie of onaangepaste kabelsecties zijn belangrijke aandachtspunten die vaak hun oorsprong vinden in aanpassingen die niet door de producent uitgevoerd en gekeurd werden. De aanwezigheid van brandbare materialen rond de kabels verhoogt het brandrisico aanzienlijk.

2.4 Vonken door steenslag/metaalslag

De vonken die ontstaan wanneer draaiende (metalen) machineonderdelen steen of metaal in de bodem raken, lijkt een van de belangrijkste oorzaken van natuurbranden bij machinegebruik te zijn. In Zweden toonde een grootschalig onderzoek een ruimtelijke link aan tussen het voorkomen van bosbranden en de abundantie van grote stenen in de bodem op basis van de Boulder Index (Sjöström et al., 2019).

De impact van metaal op steen kan op twee manieren een brand veroorzaken. Ten eerste kunnen hete metalen deeltjes afgescheurd en weggeslingerd worden. Hoe kleiner het partikel, hoe hoger de temperatuur moet zijn om de ontbranding van een vegetatie te kunnen veroorzaken. Uit Brits onderzoek bleek dat een partikel van 2,4 mm doorsnede een temperatuur van 1200°C nodig heeft om een brand te veroorzaken; bij een stuk van 19,1 mm is dit maar 650°C (Hadden et al., 2011).

Een tweede mogelijkheid is het ontstaan van vonken bij de inslag door een snelle oppervlakkige oxidatie van het metaal.



Figuur 17: links: Stronkenfrees in actie (foto: Tom Heylen); rechts choppermachine of klepelmaaier met uitworp in trailer (foto: Tom Heylen)

De voornaamste bronnen van dit risico in de Vlaamse natuur zijn sneldraaiend aangedreven werktuigen zoals stronkenfreesen, bosfreesen en klepelmaaiers, die zowel mechanisch als hydraulisch aangedreven kunnen zijn.

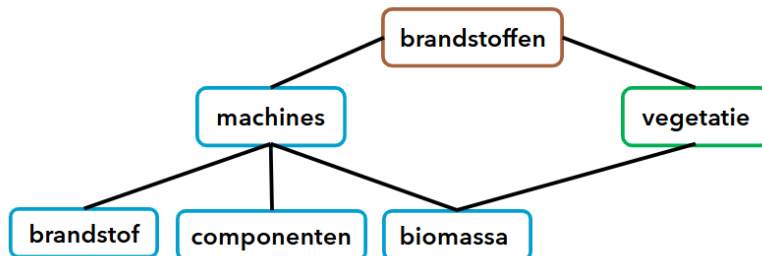
Een goede kennis van de bodem waarop men werkt kan het risico op branden door vonken vermijden.

Samenvatting vonkvorming

Vonkvorming kan in bepaalde gebieden een belangrijke bijdrage leveren aan het brandrisico. Dit is vooral het geval op terreinen waar harde stenen of metaalafval in de bodem te verwachten is.

2.5 Brandstof

Afgezien van de brandstof die gevormd wordt door de omliggende vegetatie, bevatten en verzamelen machines zelf ook brandstof. Ten eerste zijn er de componenten waaruit de machines bestaan, ten tweede de letterlijke brandstof die een machine verbruikt. Ten slotte is een niet te veronachtzamen aspect de ophoping van fijn organisch materiaal zoals takjes, twijgen, bladeren en naalden in verschillende compartimenten van de machine. Het is cruciaal om de brandbaarheid van verschillende materialen te kunnen inschatten en de aanwezigheid van brandbaar materiaal in de buurt van hittebronnen zo veel mogelijk te beperken.



Figuur 18: Overzicht van de verschillende types brandstof in en rond een machine

2.5.1 Fossiele brandstof

Wat de brandstof betreft; dit gaat meestal over diesel of benzine. Hoewel ze een gelijkaardige zelfontbrandingstemperatuur hebben is benzine veel brandgevaarlijker dan diesel door het lagere vlampunt. De **zelfontbrandingstemperatuur** is de drempel waarbij een stof spontaan ontbrandt, zonder hulp van een externe ontstekingsbron. Het **vlampunt** is de laagste temperatuur waarbij een vloeistofdamp door een uitwendige ontstekingsbron kan ontsteken.

Benzine wordt beschouwd als *ontvlambaar*, diesel als *brandbaar* volgens de Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (UN Secretariat, 2001). Dit heeft vooral te maken met de hoge dampdruk en de daaruit volgende volatiele aard van de dampen die benzine vrijgeeft. Benzine is, in tegenstelling tot diesel, vluchtig en zal in aanraking met een vlam meteen ontbranden. Benzinemotoren worden daarvoor gebruikt met een bougie voor de initiële ontsteking, terwijl dieselmotoren puur op compressie zonder externe ontsteking werken.

Bij de omgang met fossiele brandstoffen is het belangrijk om een vast vulpunt te hebben op een locatie waar weinig brandgevaar bestaat, bij voorkeur op een verhard oppervlak. In bepaalde omstandigheden kunnen technische middelen, zoals lekvrije jerrycans, een bijkomende preventieve functie hebben.

2.5.2 Componenten

De meeste grote machines bestaan uit een metalen behuizing die op zich niet brandbaar is. Kleinere componenten uit rubber of kunststof zijn dat echter wel. Uit de cijfers van de US Fire Administration uit 2018 blijkt dat bij 29% van de autobranden de kabelisolatie als eerste in brand schiet, gevolgd door vloeistoffen en gassen (24%, waarvan de brandstof goed was voor 18% van de ontstekingen).

2.5.3 Biomassa

Een niet te verwaarlozen brandstof vormt klein organisch materiaal. Twijgen, stukjes gras, mos, houtsnippers en stof kunnen zich ophopen in en rond motorcompartimenten en filters. Door het blokkeren van radiators kan fijn stof leiden tot een oververhitting van de motor (zie 2.1.1). Die oververhitting kan op haar beurt leiden tot een ontsteking van de biomassa. Dit kan eveneens gebeuren door een kortsluiting of lekkende brandstof. Droge twijgen, hooi of stro kunnen al bij een temperatuur van 240°C spontaan ontbranden, een temperatuur die in het motorcompartiment van een machine met verbrandingsmotor gemakkelijk gehaald wordt.

Tabel 1: Samenvattende tabel brandstoffen

Brandstof	Waar te vinden	Zelfontbrandings-temperatuur*	Vlampunt *
Rubber	Brandstof- en hydrauliekslangen	350°C	200-300°C
Kunststof	Behuizingen, o.a. van elektrische componenten Vooral PP en PE zijn goed brandbaar	450°C	200°C
Aandrijfolie	Motorolie, hydraulische olie	350-450°C	180-230°C
Diesel	Brandstof van grotere machines, tractoren, kranen ed.	210°C	>50 (tot 100) °C
Benzine	Brandstof van motormanuele 2T- of 4T-machines zoals kettingzagen en bosmaaiers	280°C	- 43°C
Biomassa	Opgehoopte brandbare elementen rond motorcompartiment of radiatoren (bladeren, hout, gras,...) die door lekkage van olie of brandstof, of door een elektrische kortsluiting vlam kunnen vatten	Hout 300-500°C Hooi/stro 240°C; lager bij anaerobe afbraak	190-260°C Ethanol: 12° C

* bij benadering; de precieze temperaturen hangen af van de exacte samenstelling

2.6 Beheerresten

Na het uitvoeren van de werken is het gevaar op brand in periodes met een verhoogd risico nog niet geweken. Een indirect risico van het werk met machines is de verbranding van beheerresten

Organische beheerresten die langdurig op het terrein gestockeerd worden kunnen beginnen ontbinden en composteren en daarbij warmte genereren. Vers maaisel of houtsnippers met een normaal vochtgehalte van 50-60% kunnen al na een paar dagen een temperatuur van 50-70°C bereiken. In de beginfase gebeurt dit vooral via aerobe (zuurstofrijke) afbraak, een exotherm proces. Wanneer de hoop groot en slecht geventileerd is, kan zuurstofgebrek optreden en ontstaat gedeeltelijk anaerobe afbraak. Die produceert onder meer methaan en andere gassen, maar is doorgaans minder warmteproducerend dan aerobe compostering.

Als de warmte onvoldoende kan ontsnappen, kan de temperatuur verder stijgen. Boven ongeveer 70-80 °C nemen chemische oxidatiereacties van het organisch materiaal het procesverloop over. Als de warmte niet weg kan, kunnen de temperaturen oplopen tot meer dan 100°C, waarna **zelfontbranding** kan plaatsvinden. Dit risico is het grootste als het materiaal niet al te droog is, en op een grote en slecht geventileerde hoop ligt.



Figuur 19: Zelfontbranding van versnipperd hout (bron: Het Belang van Limburg)

Een ander risico wordt gevormd door het opstapelen van **snoei- of kroonhout**, dat door zijn fijne structuur snel uitdroogt en dus snel kan ontbranden bij een externe ontsteking. Hier kunnen wind en droogte het risico wel significant vergroten, in tegenstelling tot bij compostering van maaisel.

Het afvoeren van beheerresten, of het ter plaatste uitspreiden van maaisel kan het brandrisico verkleinen.

Samenvatting beheerresten

Beheerresten vormen op twee manieren een risico: door zelfontbranding via composteringsprocessen, of door een opstapeling van dor, luchtig houtig materiaal dat gemakkelijk via een externe bron ontstoken kan worden

2.7 Samenvatting

Ontstekingsoorzaak	Risico's	Bron	Preventie
Motor	Verbrandings-motor	Oververhitting, vonken Voertuigen: auto's, tractoren, kranen... Klein gemotoriseerd gereedschap: kettingzagen, bosmaaiers, haagscharen...	Regelmatig technisch onderhoud en reiniging Vonkenvanger installeren
	Elektromotor	Thermal runaway Voertuigen: auto's, tractoren, kranen... Klein elektrisch gereedschap: kettingzagen, bosmaaiers, haagscharen...	Batterijen niet te veel op- of ontladen, stockeren bij gematigde temperaturen, niet beschadigen
Werktuigen	Aandrijving	Oververhitting, lekkende olie Mechanische of hydraulische overbrenging	Smering, onderhoud
	Snel roterende werktuigen	Oververhitting motor, vonkvorming Hakselaars, klepelmaaiers, stronkenfrezen, maaibalken, cirkelmaaiers...	Onderhoud, opletten voor oververhitting
Elektronische defecten	Kortsluiting	Voertuigen, elektrische machines	Regelmatige controle, geen ongekeurde aanpassingen
Vonken	Contact van metaal op metaal of op steen als ontsteking	Snel draaiende werktuigen: hakselaars, klepelmaaiers, stronkenfrezen...	Informatie over ondergrond verzamelen
Brandstof			
Fossiele brandstof	Lekkende brandstof, vooral benzine, vat gemakkelijk vuur	Machines met verbrandingsmotoren, jerrycans of tanks	Vaste vulplekken, speciale jerrycans
Componenten	Snel brandbaar	Leidingen, cabines...	
Beheerresten	Spontane ontbranding door hitteproductie van afbraakprocessen	Opeenhoping van vochtig compact materiaal of luchtig droog materiaal en externe ontsteking	Afvoeren, verspreiden, ter plaatse inwerken in de bodem

3 Afwegingskader

Om beheerwerken met machines doordacht te kunnen inplannen is het van belang om de mogelijke risico's in te schatten. Dit gebeurt in de eerste plaats op basis van regionale, nationale of internationale codes (zie 3.1), maar vereist lokale kennis van de terreinbeheerder met betrekking tot de vegetatie (zie 3.2) en andere relevante plaatselijke factoren.

Het afwegingskader dat in dit rapport voorgesteld wordt, is gebaseerd op een inschatting van drie risicofactoren. Voor elke factor wordt een classificatiesysteem voor het brandrisico voorgesteld. Deze factoren zijn:

1. de weersomstandigheden;
2. de brandbaarheid van de vegetatie;
3. het ontstekingsrisico van de machine.

3.1 Weerclassificatie

Het huidige classificatiesysteem van de brandgevaarcodes in Vlaanderen is gebaseerd op verschillende parameters, die op wekelijkse en zelfs dagelijkse basis (in risicovolle tijden) geanalyseerd worden. Er bestaan verschillende informatiebronnen die het brandrisico inschatten, waaronder de Fire Weather Index (FWI), waarop bv. het European Forest Fire Information System (EFFIS) gebaseerd is. Belangrijk in deze context zijn de gedetailleerde weersvoorspellingen van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI).



Figuur 20: Current situation viewer 2.0 van het EFFIS toont de actuele stand van natuurbranden in Europa

De huidige classificatie van de brandgevaarcodes gebeurt op basis van vier kleuren. De codes worden gegeven per provincie en zijn van kracht voor alle bos- en natuurgebieden van het Agentschap Natuur en Bos, maar gelden natuurlijk even goed voor andere natuurgebieden.

Tabel 2: Brandgevaarcodes brandgevaar

Groen	Weinig gevaar	/
Geel	Gevaar	Geen vuur maken, extra waakzaamheid
Oranje	Hoog gevaar	Geen vuur maken, optionele bemanning van brandtorens
Rood	Acuut hoog gevaar	Geen vuur maken, permanente bemanning van brandtorens, afgeraden om bos- en natuurgebieden te betreden

Aan elke brandgevaarcode zijn specifieke gevolgen/maatregelen gekoppeld gaande van verhoogde waakzaamheid tot het bemannen van brandtorens, afraden van toegang tot natuurgebieden en een verhoogde mankracht bij incidenten door de brandweer.

3.2 Brandbaarheid vegetaties

Naar de suggestie van (Thoonen et al., 2024) wordt in dit rapport een onderscheid gemaakt tussen vier **brandbaarheidsklassen**:

- klasse 0: niet tot nauwelijks brandbaar
- klasse 1: weinig brandbaar
- klasse 2: brandbaar
- klasse 3: erg brandbaar

De vegetatietypes volgens de Biologische Waarderingskaart van Vlaanderen (BWK) werden gecategoriseerd in brandbaarheidsklassen aan de hand van resultaten uit de literatuurstudie, praktijkervaring en expertenoordeel. Elementen die werden meegenomen zijn de vegetatiesamenstelling en -structuur. De verspreiding, brandduur en intensiteit van de brand in deze vegetatietypes werden in rekening gebracht. Waar nodig werden abiotische kenmerken zoals de bodem of seizoensgebondenheid meegenomen als één van de elementen. Wanneer de brandbaarheidsklasse afhankelijk is van het seizoen werd rekening gehouden met de brandgevaarlijkste periode, doorgaans de zomer. De klassen werden opgesteld voor de huidige situatie en klimatologische omstandigheden. Verdroging van bepaalde vegetatietypes werd mee beschouwd als een factor, aangezien dit reeds realiteit is. De brandbaarheid van een vegetatie kan echter niet een op een gereduceerd worden tot het BWK-type, aangezien tal van factoren zorgen voor grote variatie binnen een BWK-karteringseenheid. Zo kan bijvoorbeeld pijpenstrootjevegetatie op natte of droge ondergronden voorkomen, en kan

gedraineerd veen, in tegenstelling tot intact veen, bijzonder brandgevoelig zijn (Thoonen et al., 2024). Deze nuances zijn echter niet te zien in de BWK-eenheden. Verschillen tussen de indeling in dit rapport en deze van het intern document gehanteerd door het ANB kunnen te wijten zijn aan de lagere graad van detail en minder klassen in dit rapport, en de opname van verdroging als bijkomende factor.



Figuur 21: In dit vochtige rietland vormt het amfibievoertuig met maaibalk geen brandgevaar voor de omgeving (foto: Tom Heylen)

Daarnaast wordt een onderscheid gemaakt tussen vier **brandgevoeligheidsklassen**:

- klasse 0: niet tot nauwelijks brandgevoelig
- klasse 1: weinig brandgevoelig
- klasse 2: brandgevoelig
- klasse 3: erg brandgevoelig

De vegetatietypes werden gecategoriseerd in brandgevoeligheidsklassen aan de hand van de resultaten uit het literatuuronderzoek, praktijkervaring en expertenoordeel. Elementen die werden meegenomen in deze afweging zijn de potentiële schade aan fauna en flora door de brand, de snelheid van de regeneratie van de vegetatie na de brand, de permanente of tijdelijke veranderingen aan deze vegetaties en veranderingen in de bodems en microklimaat. De scores werden bepaald door het vergelijken van deze elementen tussen de verschillende vegetatietypes.

Tabel 3 hieronder toont een overzicht van de brandbaarheidsklassen die in dit rapport gebruikt worden met de corresponderende BWK-codes ter informatie. Tabel 4 toont het overzicht van de brandgevoeligheidsklassen.

.

Tabel 3: De verschillende gehanteerde brandbaarheidsklassen per vegetatietype. Dit is een benadering en vereenvoudiging van de realiteit, en dient enkel als referentie voor een oppervlakkige analyse van de situatie op het terrein.

Natuurtype	BWK	Brandbaarheid	Redenering
Droge heide	cg, cv, cm, cp, cd	3	Lage brandlast, maar fijn materiaal, heel laag vochtgehalte en veel soorten met etherische oliën, homogene verticale en horizontale structuur door uniforme soortensamenstelling.
Veen en natte heide	ce, t, sm, mm, ms, mk, mc, hmo	2	Lage brandlast maar fijn materiaal, hoog vochtgehalte. Verdroging verhoogt de brandbaarheid.
Droge graslanden	hk, hu, hp*, hd, had, ha, hn,	2	Lage brandlast maar fijn materiaal, laag vochtgehalte, homogene verticale en horizontale structuur.
Rietlanden	mr	2	Lage brandlast met fijn materiaal, hoog vochtgehalte, homogene verticale en horizontale structuur, vochtige bodem, soortensamenstelling uniform, Verdroging verhoogt brandbaarheid.
Vochtige tot natte graslanden	hp*, hu, hj, hc, hm, hf, hr, ku, mz, mp	1	Lage brandlast maar fijn materiaal, hoog vochtgehalte, homogene verticale en horizontale structuur. Verdroging verhoogt brandbaarheid.
Stilstaand water	ad, ah, ap-, ae-, ao-, md	0	Zeer hoog vochtgehalte, geen brandlast.
Duinen, slikken en schorren	da, ds, dl, dz, dd, dm	0	Zeer hoog vocht- en/of zandgehalte en geen tot weinig brandbare vegetatie aanwezig.
Duinstruweel	sd, sg, mp	3	Gemiddelde brandlast, fijn en iets zwaarder materiaal, laag vochtgehalte en veel soorten met etherische oliën, soortensamenstelling uniform.
Doornstruwelen	sp	2	Gemiddelde brandlast, fijn en iets zwaarder materiaal, gemiddeld vochtgehalte, soortensamenstelling uniform.
Andere struwelen	sk, sz, ku	1	Gemiddelde brandlast, zwaarder materiaal, gemiddeld vochtgehalte.
Andere KLE's	kj, kt, kb, kh, kw, kp	onbepaald	Vaak lijn- of puntvormige elementen, afhankelijk van dominante vegetatie, oriëntatie, plaats in het landschap.
Loofbos *	q(), f(), l(), n, gml	1	Hoge brandlast, zwaar materiaal, gemiddeld vochtgehalte, vaak getrapte verticale en afwisselende horizontale structuur.
	sf, so, v ()	0	Hoge brandlast, zwaar materiaal, heel hoog vochtgehalte, getrapte verticale en afwisselende horizontale structuur.
Naaldbos *	p(), pp()	2	Hoge brandlast, zwaar materiaal en ontvlambaar strooisel (bij dennen), laag vochtgehalte, vaak minder verticale en horizontale structuur dan loofbossen.

*afhankelijk van de fase

Tabel 4: De verschillende gehanteerde brandgevoeligheidsklassen per vegetatietype. Dit is een benadering en vereenvoudiging van de realiteit, en dient enkel als referentie voor een oppervlakkige analyse van de situatie op het terrein.

Natuurtype	BWK	Brandgevoeligheid	Redenering
Droge heide	cg, cv, cm, cp, cd,	1	Snelle regeneratie, schade flora fauna, verandering vegetatie, verjonging.
Veen en natte heide	ce, t, sm, mm, ms, mk, mc, hmo	3	Trage regeneratie, schade flora fauna, effecten veenbodem, verandering vegetatie.
Droge graslanden	hk, hu, hp*, hd, had, ha, hn,	1	Snelle regeneratie, schade flora fauna, veranderingen vegetatie.
Rietlanden	mr	2	Snelle regeneratie, schade flora fauna, effecten veenbodem.
Vochtige tot natte graslanden	hp*, hu, hj, hc, hm, hf, hr, ku, mz, mp	1	Snelle regeneratie, schade flora fauna, veranderingen vegetatie.
Stilstaand water	ad, ah, ap-, ae-, ao-, md	0	Geen schade.
Duinen, slikken en schorren	da, ds, dl, dz, dd, dm	0	Geen schade.
Duinstruweel	sd, sg, mp	2	Tragere regeneratie, schade flora fauna, veranderingen vegetatie.
Doornstruwelen	sp	2	Tragere regeneratie, schade flora fauna, veranderingen vegetatie.
Andere struwelen	sk, sz, ku	2	Tragere regeneratie, schade flora fauna.
Andere KLE's	kj, kt, kb, kh, kw, kp	onbepaald	Vaak lijn- of puntvormige elementen, afhankelijk van dominante vegetatie.
Loofbos *	q(), f(), l(), n, gml	3	Zeer trage regeneratie, schade fauna flora bodem microklimaat.
	sf, so, v ()	3	Zeer trage regeneratie, schade fauna flora bodem microklimaat.
Naaldbos *	p(), pp()	2	Trage regeneratie, schade fauna flora bodem microklimaat.

* afhankelijk van de fase

3.3 Ontstekingsrisico machines

Op basis van de literatuurstudie, eigen expertise en input vanuit de workshop kunnen we machines voor natuurbeheer indelen in vier risicoklassen: geen, laag, matig of hoog brandrisico (zie tabel 5). Er wordt ervan uitgegaan dat machines goed onderhouden zijn. Bekijk voor gebruik steeds de veiligheidsinstructiekaarten en de fiches over het onderhoud van werktuigen van bv. Inverde op ecopedia.be.

Tabel 5: Ontstekingsrisico machines per klasse

M1 – Geen ontstekingsrisico	
• Handgereedschap (zeis, handzaag, kapmes, bijl, snoeischaar) • Begrazing	Niet-gemotoriseerd dus geen hete onderdelen
M2 – Laag ontstekingsrisico	
• Klein elektrisch gereedschap (kettingzaag, bosmaaier, haagschaar) • Traag draaiend of statisch (mechanisch of hydraulisch) aangedreven werktuigen (grijparm, graafmachine, maaibalk, schijvenmaaier ...)	Elektromotoren: geen hete uitlaat, weinig hittevorming Verbrandingsmotoren met weinig vonken / laag toerental, Werktuigen zonder vonkvorming of hoge toeren
M3 – Matig ontstekingsrisico	
• Klein 4-takt benzinegereedschap (kettingzaag, bosmaaier, haagschaar) • Klein 2-takt benzinegereedschap (kettingzaag, bosmaaier, haagschaar)	Vonkvorming, hoge hitte, intensief contact met vegetatie
M4 – Hoog ontstekingsrisico	
• Mechanisch aangedreven slaande werktuigen met een hoog toerental (klepelmaaier, mulcher, bosfrees, stronkenfrees, hakselaar)	Zeer hoge hitte, zware vonkvorming, langdurig contact met brandbaar materiaal

De risico-indeling kan gebruikt worden als houvast bij de keuze voor de uitvoering van een bepaalde beheerdoelstelling. De onderstaande tabel biedt hiervoor alvast een uitgangspunt.

Tabel 6: Niet-exhaustieve overzichtstabel van meest gebruikte machines per landschapstype voor het uitvoeren van beheerwerken. Bij klein gereedschap (*) hangt het ontstekingsrisico af van de aandrijving: elektrisch of fossiele brandstof. De kleurencodes geven het ontstekingsrisico weer met groen = geen ontstekingsrisico, geel = laag ontstekingsrisico, oranje = matig ontstekingsrisico en rood = hoog ontstekingsrisico.

Beheer		Machine	Risico's
Open en halfopen landschap			
Minerale bodem open leggen	Chopperen	M4 Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
	Plaggen	M4 Graafmachine	Uitdroging bodem door stationair draaien
		M1 Manueel plaggen	
Vegetatie kort houden	Maaien	M4 Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
		M3 Bosmaaier* met draad (benzine)	2.1.1
		M3 Bosmaaier* met mes (benzine)	Steen- of metaalslag, vonken uit motor, brandstof, 2.1.1
		M2 Bosmaaier* met draad (elektrisch)	2.1.2
		M2 Bosmaaier* met mes (elektrisch)	Steen- of metaalslag, 2.1.2
		M2 Maaibalk	2.2.1
		M1 Zeis	
	Branden	M4 Branden	
	Grazen	M1 Begrazing	
Verwijderen houtige opslag	Maaien	M4 Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
		M3 Bosmaaier* met draad (benzine)	2.1.1
		M3 Bosmaaier* met mes (benzine)	Steen- of metaalslag, vonken uit motor, brandstof, 2.1.1
		M2 Bosmaaier* met draad (elektrisch)	2.1.2
		M2 Bosmaaier* met mes (elektrisch)	Steen- of metaalslag, 2.1.2
		M1 Zeis	
	Branden	M4 Branden	
	Grazen	M1 Begrazing	
Heggen en hagen scheren		M4 Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
		M3 Haagschaar* (benzine)	2.1.1
		M2 Haagschaar* (elektrisch)	2.1.2
		M2 Maaibalk	2.2.1
		M1 Sikkkel	
Hakhoutbeheer houtkanten		M3 Kettingzaag* (benzine)	2.1.1
		M2 Kettingzaag* (elektrisch)	2.1.2
Knotten		M4 Kraanarm met knipper	
		M3 Kettingzaag* (benzine)	2.1.1
		M2 Kettingzaag* (elektrisch)	2.1.2
		M1 Handzaag	

Tabel 6: vervolg

Beheer		Machine		Risico's
Bos				
Aanplanting	Terreinvoor- bereiding	M4	Bosfrees	Steen- of metaalslag
		M4	Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
	Boren	M2	Machinale plantboor	2.1.1
		M1	Manuele boor of spade	
Vrijstelling	Maaien	M4	Klepelmaaier	Steen- of metaalslag
		M3	Bosmaaier* met draad (benzine)	2.1.1
		M3	Bosmaaier* met mes (benzine)	Steen- of metaalslag, vonken uit motor, brandstof, 2.1.1
		M2	Bosmaaier* met draad (elektrisch)	2.1.2
		M2	Bosmaaier* met mes (elektrisch)	Steen- of metaalslag, 2.1.2
		M1	Zeis of kapmes	
		Opsnoeien	M3	Kettingzaag* (benzine)
M2	Kettingzaag* (elektrisch)		2.1.2	
M1	Handzaag			
Dunning, groepenkap, hakhoutkap	Kappen	M4	Harvester	
		M3	Kettingzaag* (benzine)	2.1.1
		M2	Kettingzaag* (elektrisch)	2.1.2
	Afvoeren hout	M4	Forwarder, skidder, rupskraan	
Kroonhout ruimen	Snipperen	M4	Bosfrees	Steen- of metaalslag
		M4	Hakselaar	
	Strooisel schrapen	M4	Graafmachine	Uitdroging bodem door stationair draaien
		M1	Rooiriek	

3.4 Samenvattend afwegingskader

Op basis van de hierboven opgesomde informatie en classificaties kan een afwegingskader voor het gebruik van machines bij een verhoogd risico op natuurbranden opgesteld worden. Het afwegingskader is, zoals gezegd, gebaseerd op drie factoren: de weersomstandigheden, de brandbaarheid van de vegetatie en het machinegebruik. Aan elk van deze factoren wordt een risicoscore toegekend van 1 tot 4. Aan de hand van die risicofactoren kan een globale risico-inschatting gemaakt worden op basis waarvan beslissingen afgewogen kunnen worden.

Tabel 7: Afwegingskader gebruik machines. M4= machines met hoog ontstekingsrisico, M3= machines met matig ontstekingsrisico. Bij stenige bodem zijn M4 en M3 machines steeds een hogere categorie van maatregelen.

		Vegetatie			
		0 - nauwelijks brandbaar	1 - weinig brandbaar	2 - matig brandbaar	3 - zeer brandbaar
Brandgevaarcodes	Code groen	Alle machines	Alle machines	Alle machines	Alle machines
	Code geel	Alle machines	Alle machines	M4 met preventieve maatregelen	M3 - M4 met preventieve maatregelen
	Code oranje	Alle machines	M4 met preventieve maatregelen	M4 met preventieve maatregelen	M3 - M4 met preventieve maatregelen
	Code rood	M4 met preventieve maatregelen	M3 - M4 met preventieve maatregelen	Overleg met opdrachtgever (specifieke risicoschatting)	Overleg met opdrachtgever (specifieke risicoschatting)

De preventieve maatregelen en restricties zullen verder toegelicht worden in volgende sectie waar het stappenplan wordt toegelicht.

4 Werken bij een verhoogd brandrisico

Werken uitvoeren bij een verhoogd risico op natuurbranden vereist steeds een goede voorbereiding en goed onderhouden machines. In het ideale geval zijn de operatoren opgeleid en goed uitgerust met persoonlijke beschermingsmiddelen en blusmiddelen, tot zelfs compacte blusinrichtingen op een pick-up voor grotere werken. Hieronder wordt een stappenplan voorgesteld voor de uitvoering van werken bij een verhoogd natuurbrandrisico, dus vanaf code geel in Tabel 7:

- ✓ Stap 1 - Voorbereiding en uitrusting
- ✓ Stap 2 - Machinekeuze
- ✓ Stap 3 - Veilig werken in het veld
- ✓ Stap 4 - Wat te doen bij een brand?
- ✓ Stap 5 - Na afronding van de werken



Figuur 22: De "Forst-Feld-Farm" blusmodule ontwikkeld binnen het WKR-project in Duitsland (foto: Alexander Held)

Stap 1 - Voorbereiding en uitrusting

- Houd rekening met biotische en abiotische karakteristieken: Zijn er brandbare vegetaties, wat is het reliëf, zijn er stenen in de bodem...
- Houd rekening met infrastructuurkarakteristieken: waar zijn de toegangswegen, waar zijn de vluchtwegen, waar zijn de bluspunten ...
- Raadpleeg het afwegingskader voor de keuze van preventieve maatregelen:

Afwegingskader Preventieve maatregelen

Groen	➤ Geen
Geel	➤ Preventieve brandbestrijdingsmiddelen in de omgeving van de werkzone aangeraden
Oranje	➤ Preventieve brandbestrijdingsmiddelen in de omgeving van de werkplaats verplicht ➤ M3 (matig ontstekingsrisico) en M4 (hoog ontstekingsrisico): verhoogde waakzaamheid bij gebruik + voor start extra controle koelvloeistof, lekkages, luchtcirculatie koelsysteem, smering ➤ M4 gebruiken tijdens ochtend (koeler en vochtiger) ➤ Bij stenige bodem extra voorzichtig te werk gaan, eventueel vegetatie vochtig maken voor de start van de werkzaamheden
Rood	➤ Al de maatregelen voor code oranje gelden ook voor code rood ➤ Daarenboven: dagelijks overleg met opdrachtgever over risico's werkzaamheden en beperkingen. ➤ Eventueel werken stopzetten

- Iedereen op het terrein heeft de app '112 BE' geïnstalleerd staan op zijn smartphone om de hulpdiensten te contacteren.
- Zorg dat iedereen weet:
 - hoe ze de hulpdiensten moeten contacteren;
 - wat de locatie/coördinaten zijn, gaat automatisch via app;
 - wat de verzamelplek bij evacuatie is;
 - wat mogelijke vluchtroutes zijn.

- Zorg voor de aanwezigheid van een aantal nuttige brandbestrijdingsmiddelen en weet hoe deze te gebruiken:

✓ **Brandblusser**



✓ **Vuurzweep** (minstens 1 p.p.)

Vegende beweging gebruiken om zuurstof te verdringen.



✓ **Rugsproeier**



✓ **Bladblazer**



Figuur 23: Nasmeulende vuurhaarden controleren en doven met een vuurzweep (foto: Lindon Pronto)



Figuur 24: Een bladblazer komt op tal van manieren van pas: om fijn strooisel weg te blazen, vlammen uit te blazen (tegen windrichting in) of de vlam van de brandstof te scheiden (foto: Maria Schloßmacher)

Stap 2 – Machinekeuze

- Ken de brandrisico's van je machine.
- Installeer indien mogelijk een vonkenvanger of een dubbelwandige tank.
- Respecteer onderhoudsbeurten ($\pm$ 250-500 draaiuren).
- Gebruik deze checklist:
 - machine gereinigd en gesmeerd (wekelijkse controle);
 - geen stof, olie of beheerresten aanwezig (wekelijkse controle);
 - radiator uitgeblazen (wekelijkse controle).

Stap 3 – Veilig werken in het veld

- Parkeer nooit op droge vegetatie, alleen op naakte bodem of op een verhard oppervlak.
- Laat machines niet stationair draaien in direct contact met droog materiaal.
- Wees alert op vonken bij maaien op stenige ondergrond.
- Vermijd slijp-, las- en vonkwerk in het veld (of neem extra maatregelen).
 - Voer deze werken uit op naakte bodem, weg van droge vegetaties.
- Zorg voor een veilige vaste tankplaats voor motormanueel gereedschap.

Stap 4 - Wat te doen bij een brand?

- Elk vuur start klein en op de bodem → wees snel.
- Meld brand onmiddellijk via 112.
- Kleine brand: gebruik brandblusser, vuurzweep of rugsproeier.
- Hevige machinebrand:
 - niet focussen op de machine;
 - beveilig de perimeter (via blussen, maaien of het verwijderen van brandbare objecten) en evacueer mensen in de buurt.



Figuur 25: Bluswagen aanwezig bij een beheerbrand (foto: Lindon Pronto)

Stap 5 - Na afronding van de werken

- Laat machines afkoelen op een veilige plek, bij voorkeur op een verharde ondergrond.
- Vermijd grote hopen vers maaisel bij warm/droog weer.
- Controleer opgeslagen maairesen regelmatig (warmteontwikkeling), zet ze desnoods om met een kraan of verplaats ze.
- Controleer de werkplek op rook, hitte of smeulende resten.
- Vul gebruikte blusmiddelen onmiddellijk aan.
- Meld ongewone situaties direct aan de terreinbeheerder.

5 Referenties

- Baxter, G. (2004). Evaluating the fire ignition potential of all terrain vehicles in Alberta forests. *Advantage*.
- Camia, A., Durrant, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). *Harmonized classification scheme of fire causes in the EU adopted for the European Fire Database of EFFIS Executive report*.
- Curt, T., Ganteaume, A., Alleaume, S., Borgniet, L., Chandieux, O., Jappiot, M., Lampin, C., & Martin, W. (2007). *Vegetation flammability and ignition potential at road-forest interfaces (southern France)*.
- Fire Administration, U., & Fire Data Center, N. (2018). *Topical Fire Report Series Loss measures*. <https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/>
- Forestry Commission. (2014). *Building wildfire resilience into forest management planning Practice Guide*.
- Ganteaume, A., & Syphard, A. (2018). *Ignition sources*.
- Golubkov, A. W., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltsche, H., Stangl, C., Fauler, G., Voitic, G., Thaler, A., & Hacker, V. (2014). Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC Advances*, 4(7), 3633-3642. <https://doi.org/10.1039/c3ra45748f>
- Hadden, R. M., Scott, S., Lautenberger, C., & Fernandez-Pello, C. C. (2011). Ignition of Combustible Fuel Beds by Hot Particles: An Experimental and Theoretical Study. *Fire Technology*, 47(2), 341-355. <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0181-x>
- Santana, V. M., & Marrs, R. H. (2014). Flammability properties of British heathland and moorland vegetation: Models for predicting fire ignition. *Journal of Environmental Management*, 139, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.027>
- Sjöström, J., Plathner, F. V., & Granström, A. (2019). Wildfire ignition from forestry machines in boreal Sweden. *International Journal of Wildland Fire*, 28(9), 666-677. <https://doi.org/10.1071/WF18229>
- Smits, J., Goudkuil, D., & Kok, C. (2020). Natuurbrandpreventie brengt variatie in heidevelden. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, 3.
- Stoof, C. R., Kok, E., Cardil Forradellas, A., & van Marle, M. J. E. (2024). In temperate Europe, fire is already here: The case of The Netherlands. *Ambio* 2024 53:4, 53(4), 604-623. <https://doi.org/10.1007/S13280-023-01960-Y>
- Thoonen, M., De Keersmaecker, L., De Saeger, S., & Vandekerckhove, K. (2024). *Advies over het ontwerp van een brandgevoeligheidskaart voor Vlaanderen*. <https://www.ecopedia.be/grondwaterstanden-koppelen-aan-vegetatietypes>
- UN Secretariat. (2001). *GLOBALLY HARMONIZED SYSTEM OF CLASSIFICATION AND LABELLING OF CHEMICALS (GHS)*.