

Natuurbrandsignaal '23





Nederlandse Academie voor Crisisbeheersing
en Brandweertzorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2023

Auteurs	ir. Brian Verhoeven (NIPV), dr. Margreet van Marle (Deltares), drs. Hans Hazebroek MCPm (NIPV), dr. ir. Cathelijne Stoof (WUR), dr. ir. Peter Siegmund (KNMI), ing. Nienke Brouwer (NIPV), dr. Sander Veraverbeke (VU), dr. Linde Egberts (VU), drs. Rob Sluijter (KNMI)
Contactpersoon	drs. Hans Hazebroek MCPm (NIPV)
Opdrachtgever	ir. Jelmer Dam (NIPV)
Datum	23 januari 2023
Foto's	ANP (voorpagina), Staatsbosbeheer

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

Samenvatting

De laatste jaren zijn natuurbranden zowel binnen als buiten Nederland een zeer actueel thema. De vraag is hoe, onder andere met oog op klimaatverandering, natuurbranden in Nederland aan het veranderen zijn. Dat geldt niet alleen voor het aantal natuurbranden, hun brandgedrag en grootte, maar ook voor de mogelijke impact van die branden. Met deze vraagstukken in gedachten is een consortium gevormd van experts op het gebied van natuurbranden vanuit de kennisinstututen NIPV, KNMI, WUR, VU en Deltares, die samen het voorliggende rapport hebben geschreven. Om inzicht te krijgen in de (toekomstige) ontwikkelingen is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe ontwikkelt het natuurbrandrisico zich in Nederland?* Deze hoofdvraag is onderverdeeld in een aantal deelvragen:

1. Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden?
2. Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden?
3. Hoe verandert de impact van natuurbranden?

Met behulp van interviews met de leden van het consortium en uitwisseling van kennisdocumenten, waaronder wetenschappelijke onderzoeken en rapporten, is de voor dit rapport benodigde informatie verzameld. Ook hebben twee workshopdagen plaatsgevonden waarin het consortium fysiek bijeen is gekomen om deze informatie te bediscussiëren en, waar nodig, te vertalen naar het thema natuurbranden. Omdat de relatieve luchtvochtigheid voor het ontstaan en ontwikkelen van natuurbranden een belangrijke factor is, maar dit in de aanwezige literatuur relatief onderbelicht was, is voor dit rapport een extra analyse uitgevoerd van de historische weergegevens op het KNMI-weerstation in De Bilt.

Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden?

Het blijkt dat in Nederland een verandering van natuurbranden plaatsvindt. De afgelopen decennia is het warmer, droger en zonniger geworden en volgens de huidige verwachtingen blijft deze trend zich doorzetten, waarbij ook de gemiddeld laagste grondwaterstand in grote delen van Nederland zal dalen. Dit zorgt ervoor dat meer en vaker vegetatie brandbaar wordt en het aantal brandgevoelige dagen zal toenemen. Daarnaast wordt verwacht dat het aantal potentiële ontstekingsbronnen zal toenemen. De combinatie van deze twee ontwikkelingen zorgt ervoor dat op één brandgevoelige dag een toename in het aantal natuurbranden in zowel de lente als zomer zal zijn.

Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden?

Vanwege de klimatologische ontwikkelingen kunnen natuurbranden ook intenser worden, waardoor ze met de huidige bestrijdingswijze(n) steeds moeilijker te bestrijden zijn. Hoewel vegetatie een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van natuurbranden, is het onduidelijk hoe dit zich in de toekomst zal ontwikkelen. Er zijn daarentegen wel zorgen rondom vegetatie, bijvoorbeeld dat klimaatverandering voor een toename van vegetatiestress en daardoor brandbaarheid van de natuur kan zorgen. Met de huidige vooruitzichten zullen zich vaker onbeheersbare natuurbranden voordoen die met de huidige tactiek, techniek en capaciteit van de brandweer niet meer te bestrijden zijn. Ook neemt de kans op gelijktijdigheid van zulke branden ook toe.

Hoe verandert de impact van natuurbranden?

De toename van het aantal natuurbranden en hun intensiteit, gepaard met verdere verdichting van Nederland, zal leiden tot toename van de impact van natuurbranden: mensen zullen vaker moeten vluchten, er zal vaker directe en indirecte schade ontstaan, uitval zijn van vitale infrastructuur leidend tot cascade-effecten en onherstelbare schade aan flora en fauna ontstaan. De menselijke gezondheid zal daarnaast vaker bedreigd worden.

Het voorkomen en bestrijden van branden in Nederland is nu hoofdzakelijk gericht op beperkte en relatief kortdurende branden in gebouwen. Natuurbranden zijn daarentegen vaker grootschalig en duren langer dan gebouwbranden. Aandachtspunt daarbij is dat door een toename van (gelijktijdige) natuurbranden ook een zodanig toenemende druk op het brandweersysteem kan ontstaan dat de hulpvraag op bepaalde plekken groter kan worden dan de beschikbaarheid van brandweermiddelen.

Eindconclusie

Een groter deel van Nederland zal geconfronteerd worden met meer natuurbranden. Het natuurbrandrisico manifesteerde zich in Nederland vooral in de lente, maar in de toekomst zal er daarbij ook steeds vaker in de zomer (langdurig) sprake zijn van een (hoog) risico. Natuurbranden zullen zich vaker ontwikkelen tot branden die niet meer geblust kunnen worden, maar pas stoppen als er geen brandstof meer is. De toename van het aantal branden, gepaard met een verdere verdichting van Nederland, leidt tot een hoge kans op natuurbranden met veel impact op gezondheid, welzijn, natuur en economie.

De ontwikkeling van het natuurbrandrisico is geen lineair proces. Doordat de factoren droogte, warmte en (lage) relatieve luchtvochtigheid elkaar versterken, neemt het natuurbrandrisico sneller toe dan dat de klimaatverandering plaatsvindt.

Aanbevelingen

Op basis van de conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan die vanuit het oogpunt van de actuele wetenschappelijke inzichten naar de toekomst bij kunnen dragen aan het beheersen van het natuurbrandrisico:

- > Het beheersen van natuurbranden moet structureel onderdeel worden van het systeem rondom brandveiligheid;
- > Het risico van natuurbranden moet worden meegewogen bij de inrichting van het landschap;
- > De roep van overheden, brandweer en terreinbeheerders om handelingsperspectief leidt tot een behoefte aan meer kennis om de ontwikkeling van het natuurbrandrisico nader en ook kwantitatief te kunnen duiden.

Inhoud

	Samenvatting	2
	Inleiding	5
1	Methoden	7
1.1	Literatuurstudie en interviews	7
1.2	Workshopdagen	7
1.3	Analyse relatieve luchtvochtigheid	8
2	Een introductie op natuurbranden	9
2.1	Van ontsteking tot impact: natuurbranden zijn complex	9
2.2	Waarom kunnen natuurbranden gevaarlijk zijn?	13
2.3	Waarom kunnen natuurbranden moeilijk te bestrijden zijn?	14
3	De gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden	16
3.1	Nederland heeft nu al veel natuurbranden	16
3.2	Een brandbaardere natuur	18
3.3	Van potentiële ontstekingsbron naar natuurbrand	20
4	De gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden	22
4.1	Een blik op het brandgedrag uit het verleden	22
4.2	Veranderend brandgedrag	23
4.3	Vaker onbeheersbaar	23
5	De impact van natuurbranden: het natuurbrandrisico	26
5.1	Natuurbranden zijn nu al niet zonder gevolgen	26
5.2	Meer en intensere natuurbranden: meer impact	28
6	Conclusies	30
6.1	Deelvragen	30
6.2	Beantwoording van de hoofdvraag	31
7	Aanbevelingen en onzekerheden	32
7.1	Natuurbranden moeten structureel onderdeel worden van het systeem rondom brandveiligheid	32
7.2	Reliëf en de weersomstandigheden kunnen niet worden veranderd, de inrichting van het landschap en vegetatie wel	33
7.3	Er is meer kennis over natuurbranden nodig	34
7.4	Onzekerheden	35
	Literatuurlijst	36
	Bijlage 1 Tabellen huidig en toekomstig klimaat	40
	Bijlage 2 Achtergrondinformatie van de auteurs	42

Inleiding

Aanleiding

De laatste jaren zijn natuurbranden zowel binnen als buiten Nederland een zeer actueel thema. De (toenemende) urgentie van het thema natuurbranden komt ook terug in de recent gepubliceerde *Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid*. Binnen de categorie klimaat- en natuurrampen worden natuurbranden in deze vernieuwde analyse als enige geclassificeerd als een ‘zeer waarschijnlijk’ scenario. Ook wordt de impact als ‘ernstig’ gezien, resulterend in de hoogste risico-categorie. In het rapport staat dan ook te lezen: “Het is volgens deskundigen daarom niet de vraag of, maar wanneer een onbeheersbare natuurbrand optreedt, waarbij ernstige gevolgen zullen ontstaan” (ANV, 2022a, p. 22).

Natuurbranden in Nederland zijn nu al een probleem. De branden in 2020 bij de Deurnese Peel en de Meinweg zijn daar voorbeelden van; zo werd bij de laatstgenoemde brand het dorp Herkenbosch geëvacueerd. Ook bij een kleinere brand zoals die in Ouddorp in 2022, waarbij ongeveer 4 hectare natuur is verbrand, is uit voorzorg een vakantiepark geëvacueerd. Ook in de landen om ons heen met een vergelijkbaar klimaat worden natuurbranden een prominenter probleem. Zo waren op 19 juli 2022 de condities in het Verenigd Koninkrijk dusdanig extreem dat het voor de brandweer de drukste dag sinds de Tweede Wereldoorlog was en er sprake was van overbelasting, waardoor er niet genoeg middelen waren om bij alle incidenten in te kunnen zetten en er 60 woningen verbrand zijn (Walton & Hedley, 2022).



Figuur I.1 Een foto van de brand bij Ouddorp (2022). Bron: Staatsbosbeheer

Doel en vraagstelling

De vraag is hoe, onder andere met oog op klimaatverandering, natuurbranden in Nederland aan het veranderen zijn. Dat geldt niet alleen voor het aantal natuurbranden, hun brandgedrag en grootte, maar ook voor de mogelijke impact van die branden. Daarnaast blijkt dat lessen en aanbevelingen na eerdere natuurbranden niet altijd worden opgevolgd (Dam, 2022), wat tot extra zorgen bij het consortium leidt. Met deze vraagstukken en problemen in gedachten is een consortium gevormd van experts op het gebied van natuurbranden vanuit de kennisinstututen NIPV, KNMI, WUR, VU en Deltares, die samen het voorliggende rapport hebben geschreven. De doelstellingen van dit *Natuurbrandsignaal '23* zijn:

1. Inzicht krijgen in de toekomstige ontwikkelingen van natuurbranden.
2. Aanbevelingen te bieden om de ontwikkeling van het natuurbrandrisico te beperken.
3. Onderzoeksthema's identificeren die de komende jaren moeten worden opgepakt om tijdig te kunnen voorzien in de benodigde kennis ter beperking van het natuurbrandrisico.

Om inzicht te krijgen in die (toekomstige) ontwikkelingen is één centrale onderzoeksvraag gesteld:

Hoe ontwikkelt het natuurbrandrisico zich in Nederland?

Deze hoofdvraag is onderverdeeld in een aantal deelvragen:

1. Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden?
2. Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden?
3. Hoe verandert de impact van natuurbranden?

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 wordt de onderzoeksmethode besproken. Hoofdstuk 2 biedt introductie op het thema natuurbranden met daarin een toelichting op de verschillende aspecten die in de overige hoofdstukken terugkomen. Hoofdstukken 3, 4 en 5 gaan respectievelijk in op onderzoeksvragen 1, 2 en 3. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van dit rapport getrokken en de onderzoeksvragen beantwoord. Tot slot worden in hoofdstuk 7 aanbevelingen aan de hand van een drietal overkoepelende thema's gedaan en enkele onzekerheden van het rapport bediscussieerd.

1 Methoden

Dit rapport brengt de huidige stand van onderzoek en kennis bij elkaar, hoofdzakelijk afkomstig uit eerder werk van leden het consortium, bestaande uit experts vanuit verschillende wetenschappelijke disciplines.¹ Een uitzondering daarbij vormt een analyse naar de relatieve luchtvochtigheid, omdat dit een belangrijke factor is bij natuurbranden en voor het doel van dit rapport een extra verdieping behoeft.

1.1 Literatuurstudie en interviews

Met behulp van interviews en uitwisseling binnen het consortium zijn zoveel mogelijk relevante wetenschappelijke onderzoeken en rapporten verzameld. Dit zijn zowel rapporten die door de expertleden van het consortium (mede) zelf zijn geschreven als bijvoorbeeld externe wetenschappelijke publicaties en inzichten uit nog niet gepubliceerd lopend onderzoek van consortiumleden. Omdat dit Natuurbrandsignaal tot doel heeft actueel beschikbare data en kennis samen te brengen en gezamenlijk te duiden, is geen volledige literatuurstudie uitgevoerd.

Voor de stukken in dit rapport waarbij klimatologische ontwikkelingen van belang zijn, is gebruik gemaakt van de KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2014) en het KNMI Klimaatsignaal'21 (KNMI, 2021b). Daarin worden vier klimaatscenario's omschreven:

- > GL: Gematigde temperatuurstijging, lage waarde verandering luchtstromen.
- > GH: Gematigde temperatuurstijging, hoge waarde verandering luchtstromen.
- > WL: Sterke temperatuurstijging, lage waarde verandering luchtstromen.
- > WH: Sterke temperatuurstijging, hoge waarde verandering luchtstromen.

1.2 Workshopdagen

In aanloop naar het schrijven van dit rapport hebben twee workshopdagen plaatsgevonden, waarin het consortium fysiek bijeen is gekomen op het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV). Hierbij zijn de opzet van het rapport en de beschikbare kennis besproken. Daarnaast is de input voor dit rapport gezamenlijk vertaald naar het thema natuurbranden en zijn de aanbevelingen besproken.

De meerwaarde van het consortium voor dit proces is dat alle deelnemers nauw betrokken zijn bij het thema natuurbranden, maar dit vanuit verschillende blikvelden bekijken. Dit zorgt voor complementariteit, wat de analyses van de beschikbare data versterkt.

¹ Zie bijlage 2 (pagina 42 & 43)

1.3 Analyse relatieve luchtvochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid (RV) staat voor de hoeveelheid waterdamp dat bij een bepaalde temperatuur in de lucht aanwezig is en dus hoe vochtig de lucht is. Het is een procentuele waarde, waarbij een luchtvochtigheid van 100 % betekent dat de lucht verzadigd is. In de analyses van het KNMI (KNMI, 2014; KNMI, 2021b) wordt de relatieve luchtvochtigheid minder uitgebreid geanalyseerd dan bijvoorbeeld de temperatuur. Zo wordt in het Klimaatsignaal '21 (KNMI, 2021b) de relatieve luchtvochtigheid alleen besproken als jaargemiddelde waarde. Voor wat betreft zowel de lente als de zomer was nog weinig bekend over de waargenomen en de toekomstige (dagelijks minimale) relatieve luchtvochtigheid. Aangezien de relatieve luchtvochtigheid voor het ontstaan en ontwikkelen van natuurbranden een belangrijke factor is (Teie, 2018), is voor dit rapport een extra analyse uitgevoerd.

In deze analyse is gekeken naar de historische weergegevens op het KNMI-weerstation in De Bilt, dat ook als hoofdstation van Nederland geldt. Vanaf 1950 is daar de dagelijks minimale relatieve luchtvochtigheid bijgehouden. Deze data zijn vervolgens gebruikt voor een tweetal analyses. Beide analyses zijn uitgevoerd voor drie perioden: het gehele jaar, de meteorologische lente (maart tot en met mei) en de meteorologische zomer (juni tot en met augustus).

Voor hoofdstuk 3 is gekeken naar de verandering in het aantal brandgevoelige dagen. Hierbij is op basis van Van Wagner (1972) en Flannigan & Harrington (1988) aangenomen dat dagen met een minimale luchtvochtigheid van 50 % of lager voor voldoende uitdroging van kleine (dode) vegetatie kunnen zorgen om deze potentieel te kunnen laten branden. Deze dagen kunnen daardoor brandgevoelig genoemd worden. Voor Hoofdstuk 4 is gekeken naar de gemiddelde dagelijks laagste relatieve luchtvochtigheid.

Bij beide analyses is voor iedere periode vervolgens een 30-jaar lopend gemiddelde genomen: het klimaatgemiddelde. Over deze klimaatgemiddelden zijn vervolgens de trends bepaald om het effect van klimaatverandering inzichtelijk te maken.

2 Een introductie op natuurbranden

2.1 Van ontsteking tot impact: natuurbranden zijn complex

In dit document wordt voortgebouwd op het concept van de risico-gestuurde aanpak, waarbij het (natuurbrand)risico wordt uitgedrukt als de kans op voorkomen maal blootstelling en effect (impact) (IPCC, Kinney & Wiruth (1976)). Om natuurbranden beter te begrijpen, splitsen we deze risico-gestuurde aanpak op in drie aspecten, die ook in de deelvragen terugkomen:

1. Het ontstaan van een natuurbrand (*tot en met de ontsteking*).
2. De ontwikkeling van een natuurbrand (*vanaf de ontsteking, tijdens de brand*).
3. De mogelijke impact van een natuurbrand (*tijdens en ook na de brand, en zowel direct als indirect*).

In dit rapport definiëren we de gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden als de *natuurbrandgevoeligheid*, zoals ook in Van Marle & Agricola (2021) is gedaan. Daarnaast wordt gekeken naar de gevoeligheid voor de ontwikkeling van een natuurbrand. Bij toevoeging van het derde aspect, de impact van een natuurbrand, spreken we van het *natuurbrandrisico* (Goldammer et al., 2017).

2.1.1 Het ontstaan van een natuurbrand

De natuurbrandgevoeligheid kan worden beschreven met een drietal factoren op basis van Bradstock (2010), Chambers et al. (2019) en Van Marle & Agricola (2021), te weten biomassa en de beschikbaarheid om te branden, weersomstandigheden en ontstekingen. Deze worden hieronder besproken. Een deel van de factoren komen tevens in paragraaf 2.1.2 terug. Voor het ontstaan van een natuurbrand moeten alle drie de factoren van toepassing zijn voordat ontvlaming mogelijk is.

Biomassa en de beschikbaarheid om te branden

Onder *biomassa* vallen alle natuurlijke materialen die op een bepaalde locatie aanwezig zijn en potentieel kunnen branden (brandstof). Bij natuurlijke brandstof spreekt men over zowel dood als levend plantenmateriaal. Dit kan de vegetatie alsmede organisch materiaal in de strooisellaag zijn. Een voorbeeld van levende vegetatie zijn heideplanten, terwijl afgestorven naalden of bladeren deel kunnen uitmaken van de strooisellaag. Ook kan uitgedroogd veen als brandstof dienen.

De gevoeligheid voor het ontstaan van een natuurbrand hangt naast de aanwezigheid en hoeveelheid van natuurlijke materialen ook af van de *beschikbaarheid om te branden*. Sommige materialen ontvlammen makkelijker dan andere en daarnaast is het tempo waarin biomassa beschikbaar wordt om te branden sterk afhankelijk van de soort brandstof. Hoe dikker de materialen, hoe langer het duurt om te ontvlammen. Fijne, dode materialen, zoals gras, kunnen bijvoorbeeld al in één uur uitdrogen (Teie, 2018) en zijn daarom vaak als

eerste beschikbaar om te branden. Voor levende vegetatie zijn daarnaast de seizoenen van invloed op de beschikbaarheid om te branden: in het (vroege) voorjaar kan er veel brandstof beschikbaar zijn doordat de sapstroom van de vegetatie nog niet (volledig) op gang is gekomen.

Weersomstandigheden

Deze factor omschrijft de meteorologische condities die invloed hebben op de ontvlaming van een natuurbrand. Hierbij moet men denken aan de temperatuur, het neerslagtekort en de luchtvochtigheid. De weersomstandigheden zijn ook indirect van invloed op de natuurbrandgevoeligheid doordat bodem en grondwatersystemen worden beïnvloed. Afhankelijk van de karakteristieken van de bodem kan dit worden gereflecteerd grotere of kleinere veranderingen in bodemvocht en grondwaterstanden.

Indien sprake is van langdurige droogte, kan dit resulteren in een betere vlambaarheid van vegetatie. Daarnaast kunnen de weersomstandigheden ervoor zorgen dat de ontvlaming sneller gaat. Bij warm en zonnig weer krijgt biomassa bijvoorbeeld een hogere temperatuur, waardoor minder warmte nodig is voor ontsteking.

Het klimaat op een bepaalde locatie is mede van invloed op het dagelijkse weer, bijvoorbeeld vanwege de aanwezigheid van droge seizoenen. Dit betekent dat klimaatverandering zich ook vertaalt naar een verandering in het dagelijks weer.

Ontstekingen

Bij deze laatste factor, ontstekingen, gaat het over de potentiële ontstekingsbronnen en, wanneer de condities het toelaten, hun rol in de ontbranding van de vegetatie. Het gebeurt in Nederland zeer zelden dat de ontsteking van een natuurbrand door een natuurlijk fenomeen zoals een (droge) blikseminslag komt. Veruit de meeste ontstekingen worden door de mens veroorzaakt. Dat kan bijvoorbeeld door onzorgvuldigheid met een kampvuur of barbecue, vonken van (remmende) treinen, of jeugd die met vuur in de natuur speelt. Daarnaast is soms ook sprake van doelbewuste brandstichting.

2.1.2 De ontwikkeling van een natuurbrand

De ontwikkeling van een natuurbrand is het proces dat na de ontsteking plaatsvindt en te maken heeft met de intensiteit van het vuur, de verspreidingsnelheid en -richting en de duur van een brand. Dit proces kan ook worden beschreven aan de hand van verschillende factoren.

Biomassa en de beschikbaarheid om te branden

Voor de ontwikkeling van natuurbranden gaat het vooral om de hoeveelheid biomassa op één plek en de eigenschappen van die biomassa. Meer beschikbare brandstof betekent meer warmte die vrij kan komen, waardoor het vuur een hogere intensiteit kan krijgen. Een hogere intensiteit betekent meer stralingswarmte, waardoor de brand sneller uit kan breiden en het lastiger is om het vuur te stoppen. Daarbij geldt ook dat hoe meer de vegetatie is uitgedroogd, hoe hoger de intensiteit van het vuur wordt, doordat minder warmte gebruikt hoeft te worden voor de verdamping van het overgebleven vocht in de vegetatie.

Daarnaast zorgen sommige vegetatietypen voor een snellere verspreiding dan andere. Wanneer bij natuurbranden ook (delen van) bomen branden, is naaldbos over het algemeen brandbaarder dan loofbos. Ook de aanwezigheid van een strooisellaag of uitgedroogd veen

is van belang voor de duur van het incident, bijvoorbeeld wanneer de brand nog lang ondergronds door blijft smeulen. Juist smeulbranden zorgen over het algemeen voor langdurige rookontwikkeling en overlast (Van Marle et al., 2021).

Weersomstandigheden

Voor de ontwikkeling van natuurbranden speelt de wind een grote rol. Bij een hoge windsnelheid komt meer zuurstof bij het vuur. Daarnaast worden de vlammen 'platgeslagen', waardoor ze dichterbij de nog niet verbrande vegetatie komen. Dit versnelt de verspreiding van een natuurbrand.

Daarnaast zijn ook de veranderingen in de meteorologische condities tijdens een natuurbrand van belang voor de ontwikkeling van die brand. In de avond, wanneer het vaak afkoelt en de luchtvochtigheid weer stijgt, daalt vaak de intensiteit van het vuur, wat de natuurbrand beter te bestrijden maakt. Aan de andere kant kan bijvoorbeeld een (spontane) draaiing van de wind de verspreiding van een natuurbrand versterken doordat een (langgerekte) flank van een natuurbrand ineens kan veranderen in de kop van de natuurbrand.

Reliëf

Reliëf is niet een van de eerder genoemde factoren, maar is wel van invloed op het brandgedrag: in het algemeen geldt dat vuur sneller de helling op trekt en juist wat trager de helling af gaat. Uiteraard speelt dit in Nederland op kleinere schaal dan in bijvoorbeeld bergachtige gebieden in het buitenland.

Of een natuurbrand wel of niet groot wordt, hangt enerzijds af van de bovengenoemde factoren en het brandgedrag, maar anderzijds ook van de volgende zaken:

- > De inrichting van het landschap en de aanwezigheid van 'natuurlijke' gebiedsgrenzen. In de inrichting van het landschap kunnen bewust of onbewust maatregelen zijn genomen die een brand vertragen of een barrière vormen tegen uitbreiding van een natuurbrand.
- > De snelheid waarmee de brand wordt ontdekt en gemeld.
- > De responstijd van de brandweer.
- > De snelheid waarmee de brandweer het vuur daadwerkelijk heeft gevonden.
- > De bereikbaarheid van de locatie van het vuur.
- > De mate waarin de brand vertraagd en gestopt kan worden, bijvoorbeeld met water, vuur of door het weghalen van brandstof.

Zodra een natuurbrand eenmaal ontstaan is, zijn er vier typen vuur te onderscheiden. Deze worden omschreven in Tabel 2.1 op de volgende pagina.

Tabel 2.1 Een overzicht van de verschillende typen vuur bij natuurbranden op basis van Schneider (z.d.)

Type vuur	Omschrijving
Grondvuur	Vuur dat in de bodem (bijvoorbeeld veen) brandt. Dit is veelal een smeulende brand met veel en langdurige rookontwikkeling.
Loopvuur	Vuur dat in de vegetatie direct op de bodem woedt. Dat kan bijvoorbeeld de strooisellaag, kruidachtige vegetatie zoals heide of pijpenstrootje of struikachtige vegetatie zoals duindoorn zijn.
Kroonvuur	Vuur dat in de kronen van bomen (veelal naaldbomen) woedt. Bij dit type vuur komt de hoogste intensiteit voor met metershoge vlammen.
Vliegvuur	Kleine stukken nog brandende of smeulende vegetatie die met de wind mee worden gevoerd en verderop weer landen, waardoor op tientallen tot soms meer dan honderd meter van de natuurbrand secundaire branden kunnen ontstaan.

In dit rapport wordt soms van extremer (wordend) brandgedrag gesproken. Hierbij gaat het over een toename in brandvermogen dat zich uit in langere vlammen met meer stralingswarmte. Dat geldt vooral voor loopvuur, kroonvuur en vliegvuur.

2.1.3 De impact van een natuurbrand

Om in staat te zijn de impact van natuurbranden te weerstaan of om snel te herstellen ('*resilience*'), is het belangrijk om te duiden wat de mogelijke consequenties zijn van natuurbranden. Hiermee kan namelijk worden bepaald welke maatregelen of toekomstige investeringen het beste zouden helpen om Nederland beter bestand te maken tegen die consequenties.

Nederland is een dichtbevolkt land waarin diverse functies in hetzelfde gebied nauw met elkaar verweven zijn. Denk daarbij aan natuur, landbouw en recreatie, maar ook aan gezondheidszorg, wonen en vitale infrastructuur zoals telecom of elektriciteit. Daarom kunnen de mogelijke impact en schade van een natuurbrand snel groot worden.

Vanuit een risico-gestuurde benadering kan de impact van een natuurbrand uitgedrukt worden in directe en indirecte schade. Directe schades gaan over de impact die door directe blootstelling aan het vuur of de daarbij behorende rook komen. Indirecte schades gaan daarentegen over de impact die in ruimte of tijd van de natuurbrand vandaan plaats kan vinden. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen tastbare en ontastbare schade. Tastbare schade betekent in dit geval schade waar een bepaalde monetaire waarde aan gegeven kan worden, terwijl dit bij ontastbare schade niet goed mogelijk is. Enkele voorbeelden van deze verdeling in schades staan beschreven in Tabel 2.2 op de volgende pagina.

Tabel 2.2 Een overzicht van de mogelijke impact van een natuurbrand, onderverdeeld in directe en indirecte schades (gebaseerd op Scussolini et al., 2016)

Directe schades	Indirecte schades
<p>Tastbaar:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Schade aan gebouwen of objecten. Vaak liggen deze in of nabij de natuur (bekend als de Wildland-Urban Interface of WUI) > (Onherstelbare) schade aan het natuurgebied > Schade aan infrastructuur > Schade aan brandweermaterieel 	<p>Tastbaar:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Socio-economische schade door uitval van infrastructuur. Bijvoorbeeld: verstoring van goederentransport in het geval van afgesloten snel- of spoorwegen > Schade door uitval van andere vitale functies zoals elektriciteit, water of telecom > Schade door bedrijvuitval door evacuaties > Inzetkosten van de brandweer
<p>Ontastbaar:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Gewonden of dodelijke slachtoffers > Schade aan cultureel erfgoed > Schade aan ecosystemen 	<p>Ontastbaar:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Evacuaties door de naderende dreiging van het vuur of de rookontwikkeling en de daarbij behorende blootstelling aan schadelijke gassen > Schade aan het mentale welzijn van inwoners en hulpverleners door traumatische ervaringen > Verlies van vertrouwen in de hulpdiensten > Verlies van recreatieve activiteiten in en rondom het aangetaste natuurgebied en een afname van toerisme

2.2 Waarom kunnen natuurbranden gevaarlijk zijn?

Sommige natuurbranden kunnen gevaarlijk zijn door zowel de vlammen als de rook die ze produceren. Hierbij is een complicerende factor dat natuurbranden zich continu verplaatsen en mede onder invloed van de weersomstandigheden onvoorspelbaar kunnen gedragen, bijvoorbeeld bij een onverwachte draaiing of toename van de wind. Hierdoor is insluiting van hulpverleners en burgers een reëel risico. Dit laat zien dat natuurbranden een ander incidenttype dan branden in de gebouwde omgeving en daarom ook om andere methoden van bestrijding vragen. Wat op het ene moment nog als een relatief veilige plek voor burgers en incidentbestrijders gezien kan worden, is door bijvoorbeeld het draaien van de wind enkele minuten later een (levens)gevaarlijke plek om te verblijven. Natuurbranden kunnen ook overslaan op andere brandbare materialen en gebouwen.

Daarnaast kan rookoverlast een gevaar vormen. Zowel bij vlammebranden als smeulende branden is bijvoorbeeld (langdurige) blootstelling aan en inhalatie van fijne roetdeeltjes een risico voor incidentbestrijders en burgers die benedenwinds van de rookpluim aanwezig zijn. Daarnaast kan de rook voor slecht zicht zorgen en daardoor tot ongelukken leiden.

2.3 Waarom kunnen natuurbranden moeilijk te bestrijden zijn?

Hoewel de meeste natuurbranden in Nederland klein blijven (Figuur 3.1), zijn sommige toch moeilijk te bestrijden. Hierdoor kunnen ook kleine branden een grote brandweerinzet (materieel en mensen) vragen. Er is een aantal factoren dat bijdragen aan de moeilijke bestrijdbaarheid van dit incidenttype:

- > **Lastige plaatsbepaling en beeldvorming**
De locatie, actuele omvang en impact van de brand zijn soms moeilijk te bepalen doordat een brand zich niet bevindt op een specifiek adres en het, zeker in een natuurgebied, moeilijk oriënteren is door rook.
- > **Onbereikbaarheid**
Het wegennet in sommige natuurgebieden is grofmazig en soms ook slecht bereikbaar voor standaard brandweervoertuigen.
- > **Dynamische verplaatsing**
Een natuurbrand is dynamisch en verplaatst zich in ruimte en tijd.
- > **Lange duur**
Een natuurbrand blijft zich uitbreiden totdat deze geblust wordt óf totdat er geen brandstof meer (beschikbaar) is om te verbranden. Vooral daar waar geen of weinig compartimentering in de natuur is, kan de brand zich lang blijven uitbreiden doordat er een groot gebied met (brandbare) vegetatie aanwezig is. De duur van een ontwikkelde natuurbrand moet in uren en soms dagen worden gerekend.
- > **Beperkte hoeveelheid water beschikbaar**
Een grotere brand vergt enorm veel water om de temperatuur zodanig te verlagen dat het verbrandingsproces stopt. In de natuur is er veel brandstof aanwezig, en dit betekent dat het bij een grote brand niet mogelijk is de brand te blussen: de brandweer kan over zo'n groot oppervlak niet overal voldoende water opbrengen, mede doordat er beperkt extra bluswater is, naast wat er in de voertuigen zelf aanwezig is. Blussen werkt daarvoor alleen bij kleine branden. Bij grote(re) branden zal de brandweer het beschikbare water daarom meestal gebruiken om de uitbreiding van de brand te stoppen of te vertragen door nog niet verbrande brandstof nat te maken (NIPV, z.d.). Ook deze tactiek is echter kwetsbaar: door de wind en warmte verdampt dit water snel. Het is daarom lastig om grotere natuurbranden enkel te bestrijden met de urbane manier van brandbestrijding die Nederland kent.
- > **Complex logistiek systeem**
Grote natuurbranden vergen een complex logistiek systeem, mede door de vaak grote vraag naar extra bluswater en de uitputting van brandweermensen tijdens (extreem) warme dagen. Een complex logistiek systeem is uiteraard kwetsbaar gezien het dynamische karakter van natuurbranden.

Natuurbrand is een type incident dat bovenop de reguliere incidenten komt. Dat betekent dat tijdens brandgevoelige dagen er meer druk op de brandweer staat, zeker wanneer het gaat over een grootschalige inzet. Op de brandgevoelige dagen kunnen ook meerdere (grote) natuurbranden tegelijkertijd woeden. Juist die gelijktijdigheid vormt potentieel een groot probleem. Dat geldt zeker wanneer de branden in dezelfde omgeving plaatsvinden en het risico aanwezig is dat ze zoveel brandweercapaciteit vragen dat de kans groot is dat er onvoldoende middelen overblijven voor de reguliere incidenten zoals woningbranden of verkeersongevallen. Dit is iets wat in het buitenland al vaker is voorgekomen, bijvoorbeeld in

de zomer van 2022 in het Verenigd Koninkrijk (Walton & Hedley, 2022), en bekend staat als een 'collapse' van het brandweersysteem (Castellnou et al., 2019).

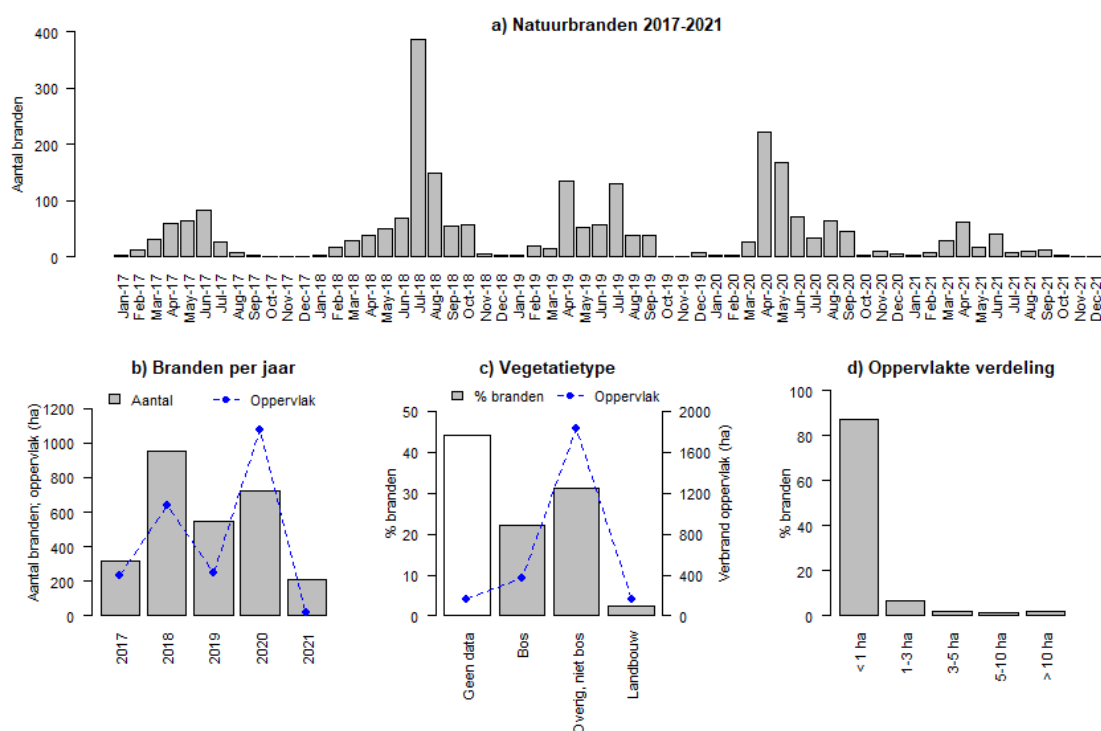
Hoewel natuurbranden veelvuldig zijn voorgekomen, is Nederland slechts beperkt ingericht op dit type incident. Het systeem van de brandweer(zorg) is primair ingericht op de urbane omgeving met gebouwbranden. Dit komt terug in het gehele systeem, van opkomsttijden, wetgeving en (persoonlijke) uitrusting tot opleidingen. De primaire insteek op gebouwbranden is bijvoorbeeld te zien aan de voertuigen die niet of niet goed inzetbaar zijn in de natuurlijke omgeving en aan beschermende kleding die is ontworpen voor urbane branden en daardoor extra dik is (Brandweer Nederland, 2019). Hierdoor lopen brandweermedewerkers bij een natuurbrand extra risico op uitputting en oververhitting tijdens een langdurig incident. Dit draagt bij aan de moeilijke bestrijdbaarheid van natuurbranden.

3 De gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden

3.1 Nederland heeft nu al veel natuurbranden

3.1.1 Honderden branden per jaar

Een natuurbrand in Nederland is geen uniek incident; ieder jaar komen honderden natuurbranden voor, al verschillen de aantallen tussen natte en droge jaren. Dit is ook te zien in Figuur 3.1. Natuurbranden komen nu reeds veelvuldig voor in het Nederlandse landschap. Gedurende de periode tussen 2017 en 2021 waren drie van de vijf jaren (erg) droog en kwamen er enkele honderden tot bijna duizend natuurbranden per jaar voor. De relatief natte jaren 2017 (321 natuurbranden) en 2021 (212 natuurbranden) waren relatief rustig, terwijl in bijvoorbeeld 2018 er 949 geregistreerde natuurbranden waren (Stoof et al., 2022). Zoals de figuur hieronder laat zien, blijven de meeste natuurbranden relatief klein, wat wil zeggen: kleiner dan één hectare. Op sommige dagen met een hoog brandgevaar kunnen soms tientallen natuurbranden voorkomen. De meeste natuurbranden in Nederland komen voor in de lage en fijne vegetatie zoals gras, heide, ruigte en sommige struikgewassen (categorie 'overig, niet bos' in Figuur 3.1).

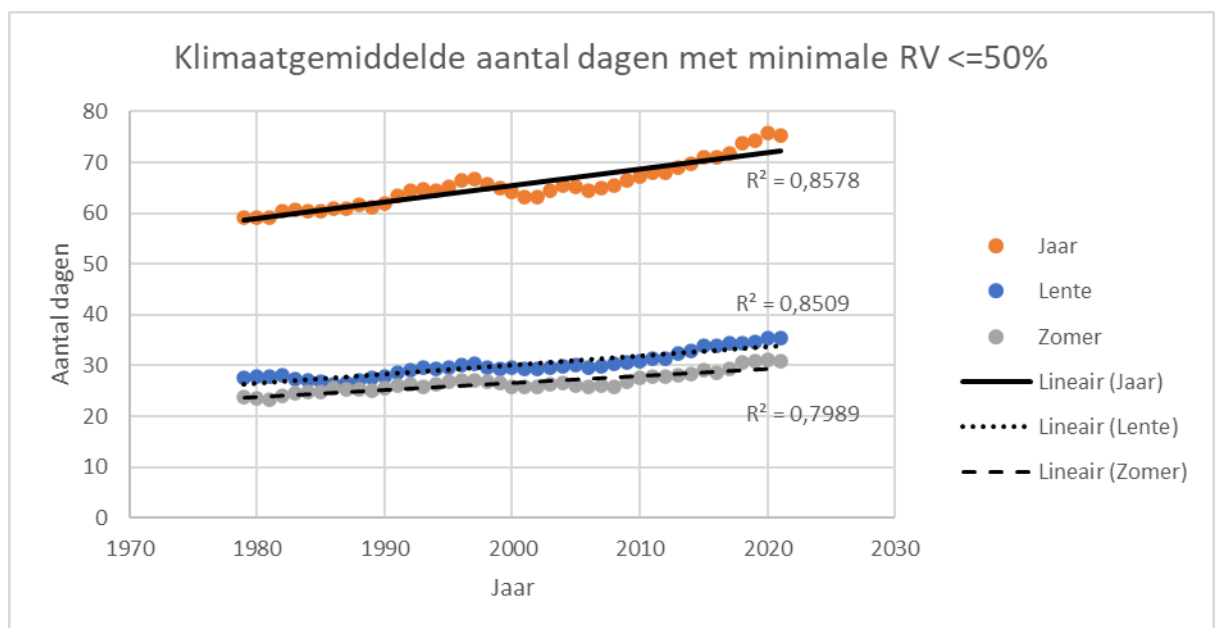


Figuur 3.1 Natuurbranden in Nederland op basis van de database van de WUR en het NIPV (Stoof et al., manuscript in voorbereiding). De figuur toont het aantal natuurbranden per maand (a) en per jaar (b), het procentuele aandeel per vegetatietype (c) en de verdeling van het uiteindelijke oppervlak van de natuurbranden (d)

3.1.2 Klimaatverandering vindt al plaats

De afgelopen 60 jaar is het klimaat in Nederland veranderd. De trend is dat het warmer en droger wordt (zie Tabel B1.1 – Bijlage 1). De jaargemiddelde temperatuur is tussen de twee klimaatperiodes 1961-1990 en 1991-2020 met 1,1 °C gestegen. In ieder seizoen is de gemiddelde temperatuur toegenomen, waarbij de toename het grootst is in de lente en het kleinst in de herfst. Absoluut genomen is de gemiddelde jaarsom van de neerslag ook toegenomen, maar binnen het jaar zijn er wel toenemende verschillen. De lente en herfst zijn namelijk droger geworden, terwijl de winter en, in mindere mate, de zomer natter zijn geworden. Toch is het gemiddelde neerslagtekort toegenomen. Dit komt door een toename van de verdamping als gevolg van de hogere temperaturen en extra zonnestraling (KNMI, 2021b). Al met al betekent dit dat de weersomstandigheden gemiddeld genomen leiden tot een grotere brandgevoeligheid van de natuur. Doordat het warmer en droger is geworden, kan vegetatie namelijk sneller uitdrogen en daardoor beschikbaar komen als brandstof.

Uit een aanvullende analyse van de relatieve luchtvochtigheid blijkt dat het aantal brandgevoelige dagen is toegenomen. Sinds 1979 zijn deze in zowel de lente als de zomer toegenomen met zo'n 30 % (Figuur 3.2). De trendlijnen laten een sterk gecorreleerde stijging zien met een R^2 van 0,80-0,86 (de R^2 -waarde drukt de sterkte van een statistisch verband uit en varieert tussen 0 en 1; een waarde hoger dan 0,8 wijst op een sterk verband). Er is geen indicatie gevonden dat het aantal brandgevoelige dagen buiten de lente en zomer ook toeneemt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het aantal brandgevoelige dagen binnen het natuurbrandseizoen is toegenomen, maar het natuurbrandseizoen niet langer is geworden.



Figuur 3.2 Overzicht van het klimaatgemiddelde aantal dagen per jaar met een minimale relatieve luchtvochtigheid (RV) gelijk aan of beneden de 50 % voor het KNMI-weerstation in De Bilt. De zwarte lijnen geven de trendlijn weer. Bij iedere trendlijn staat ook de bijbehorende R^2

3.2 Een brandbaardere natuur

3.2.1 Nog warmer en droger: meer vegetatie wordt sneller brandbaar

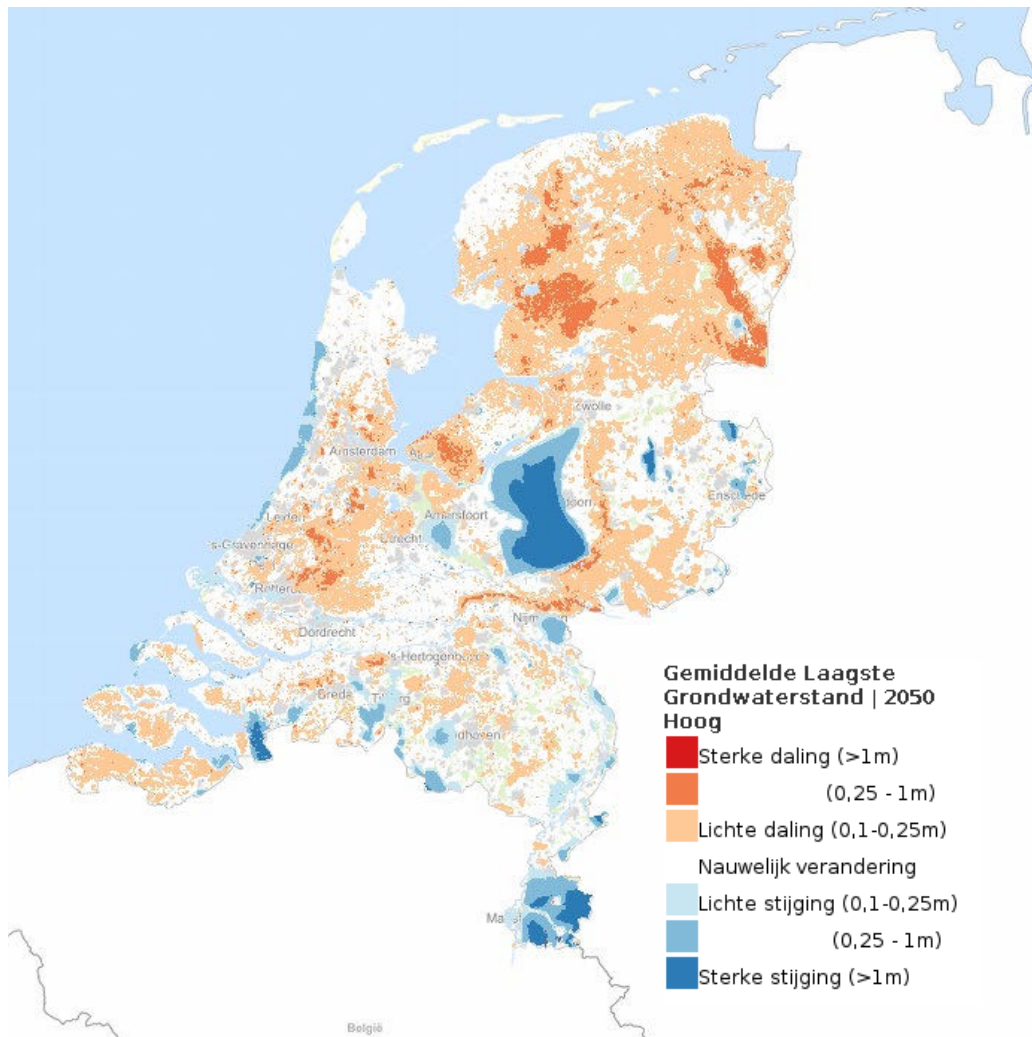
De vooruitzichten geven aan dat de waargenomen trend zoals in Paragraaf 3.1.2. is beschreven, wordt doorgezet. Tabel B1.2 (Bijlage 1) geeft een samenvatting van enkele meteorologische parameters en de verwachte verandering daarvan volgens de vier KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2014). Voor de toekomst gaat dit rapport dus uit van een warmer, droger en zonniger wordend klimaat. Dit correspondeert voor 2050 met alle vier de klimaatscenario's, uitgezonderd de zonnestraling in het WL scenario, die iets afneemt. De waarnemingen laten zien dat Nederland de afgelopen zonniger is geworden (Tabel B1.1, Bijlage 1), wat het aannemelijk maakt dat deze trend voor deze parameter zich ook doorzet.

Het verschil tussen de scenario's is daarentegen wel groot, vooral wanneer het gaat om een lage of hoge waarde in de verandering van luchtstromen. Bij de scenario's met die verandering in de atmosferische circulatie zou een oostenwind in de zomer vaker voor gaan komen. Die oostenwind is in Nederland vaak typisch voor (grote) natuurbranden. Dit komt doordat er dan vaak enige wind staat, terwijl het relatief warm, droog en zonnig weer is. Mocht het scenario met die veranderende circulatie zich doorzetten, dan kan dit een grote impact hebben (Tabel B1.2, Bijlage 1).

Zo wordt voor de zomer bij de GL- en WL-scenario's een kleine toename in neerslag verwacht. Bij de GH- en WH-scenario's wordt daarentegen een sterke afname in neerslag berekend. Dat is ook terug te zien in het aantal natte dagen in de zomer, dat in de GH- en WH-scenario's sterk afneemt. Dat zou betekenen dat er dus meer droge dagen zouden zijn bij een veranderende circulatie. Dit uit zich vooral in het neerslagtekort, waarbij volgens deze scenario's het maximale neerslagtekort gedurende het groeiseizoen met 20 tot 30 % kan toenemen. De GL- en WL-scenario's voorzien, ondanks de absolute toename in neerslag, ook in mindere mate een toename in dit neerslagtekort. De ontwikkelingen volgens deze scenario's kunnen dus een (grote) impact hebben op het ontstaan van natuurbranden.

Losstaand van de veranderingen in de losse parameters, beschrijft het KNMI (2021b) in zijn *Klimaatsignaal '21* ook dat de persistentie van weersystemen (hoge- en lagedrukgebieden) een rol speelt bij de ontwikkeling van droge perioden. Door een verandering in de straalstroom kunnen hogedrukgebieden in de zomer langer blijven bestaan, waardoor droge, zonnige en warme perioden langer kunnen duren.

De veranderingen in het klimaat vertalen zich ook naar veranderingen in het grondwaterpeil. In een analyse naar de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) voor de Klimaat-effectatlas (z.d.) is gekeken naar deze verandering voor 2050. Daarbij is het WH-klimaatscenario gebruikt. De resultaten hiervan staan weergegeven in Figuur 3.3. Daarin is te zien dat in een groot deel van Nederland de GLG verwacht wordt te dalen. Vooral voor de (hoge) zandgronden, bijvoorbeeld de duinen in het westen van het land en de Veluwe, is daarentegen een stijging berekend. Deze stijging kan verklaard worden door een toename in winterneerslag. Het grondwater ligt in die gebieden daarentegen ver beneden het oppervlak, waardoor de toenemende verdamping minder effect heeft op het grondwaterpeil. In deze gebieden zal de stijgende GLG daarom ook weinig effect hebben op de natuurbrandgevoeligheid. De dalende GLG in grote delen van Nederland betekent dat deze gevoeliger worden voor droogte, wat kan betekenen dat hij bijdraagt aan een toenemende natuurbrandgevoeligheid van deze gebieden (Klimaat-effectatlas, z.d.).



Figuur 3.3 De verandering in de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) voor 2050 onder het WH-klimaatscenario. Bron: Klimaat-effectatlas (z.d.)

Klimaatverandering is overigens niet uniform over Nederland verdeeld. Vooral de dagelijkse maximale temperatuur neemt in het oosten van het land sneller toe dan in het westen als gevolg van het matigende effect van de zee (KNMI, 2022). Dit zorgt voor een versterkte toename in de natuurbrandgevoeligheid in het oosten van Nederland.

3.2.2 Meer natuurbranden door een toename in biomassa

De komende tien jaar komt, zoals verwoord is in de *Bossenstrategie* van het Rijk (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2020), naar verwachting zo'n 10 % meer bos in Nederland. In de uitvoering hiervan worden mogelijk gebieden met beperkt brandbare vegetatie die soms wordt beregend (agrarisch gebied) omgezet naar gebieden met vegetatie die niet of nauwelijks wordt beregend en hierdoor gevoeliger wordt voor droogte en brandbaarder kan worden. Hierdoor wordt potentieel een groter oppervlak met brandbare vegetatie gecreëerd en neemt de biomassa toe die tijdens droge perioden beschikbaar kan komen om te branden. Op dagen met een verhoogd brandgevaar is het daardoor aannemelijk dat er hierdoor meer natuurbranden kunnen ontstaan. Er is daarentegen tot nu toe een beperkte afname in het totale oppervlakte bos in Nederland, wat contrasterend is met de uitgesproken ambities vanuit de *Bossenstrategie*.

Over de veranderingen van de vegetatie in de toekomst (soorten, groeiseizoenen en lengte ervan), vegetatiestress en de hoeveelheid dood plantenmateriaal op de grond) is nog weinig bekend. Dit is dan ook een onzekere factor, die namelijk niet alleen afhankelijk is van klimaatverandering, maar ook van onder andere het beheer van natuurgebieden. Dit is dan ook een onzekere factor, die namelijk niet alleen afhankelijk is van klimaatverandering, maar ook van bijvoorbeeld het beheer van natuurgebieden. Uitgaande van de huidige vegetatie is het in een warmer en droger klimaat waarschijnlijk dat vegetatie sneller en meer uitdroogt en daarmee brandbaarder wordt.

3.3 Van potentiële ontstekingsbron naar natuurbrand

Een warmer en droger klimaat leidt tot meer brandgevoelige dagen. Aangenomen dat het aantal potentiële ontstekingsbronnen niet substantieel terug wordt gebracht, zorgen meer brandgevoelige dagen ervoor dat meer natuurbranden kunnen ontstaan. Dit blijkt ook uit een analyse van Deltares (Van Marle & Agricola, 2021) waarin is gekeken naar de gevoeligheid van de Nederlandse natuur voor natuurbranden in de huidige situatie en in het WH-scenario voor 2050. De gevoeligheid is bepaald door gebruik te maken van kenmerken over de brandgevoeligheid van vegetatie, droogte en potentiële ontstekingsfactoren (Figuur 3.4 op de volgende pagina). Om de klimaatgevoeligheid voor de toekomst te bepalen is enkel rekening gehouden met veranderingen in klimaatkenmerken. Daaruit blijkt dat er een sterke toename is in de natuurbrandgevoeligheid onder dit scenario. Het percentage van Nederland dat onder 'matig gevoelig' of 'hoog gevoelig' valt, neemt van 39 % toe naar 63 %. Daarbij zal het aandeel 'hoog gevoelig' bijna verdubbelen: van 5 % naar 9 %. Vrijwel elke locatie in Nederland blijft gelijk in gevoeligheid of komt in een hogere gevoeligheidsklasse.

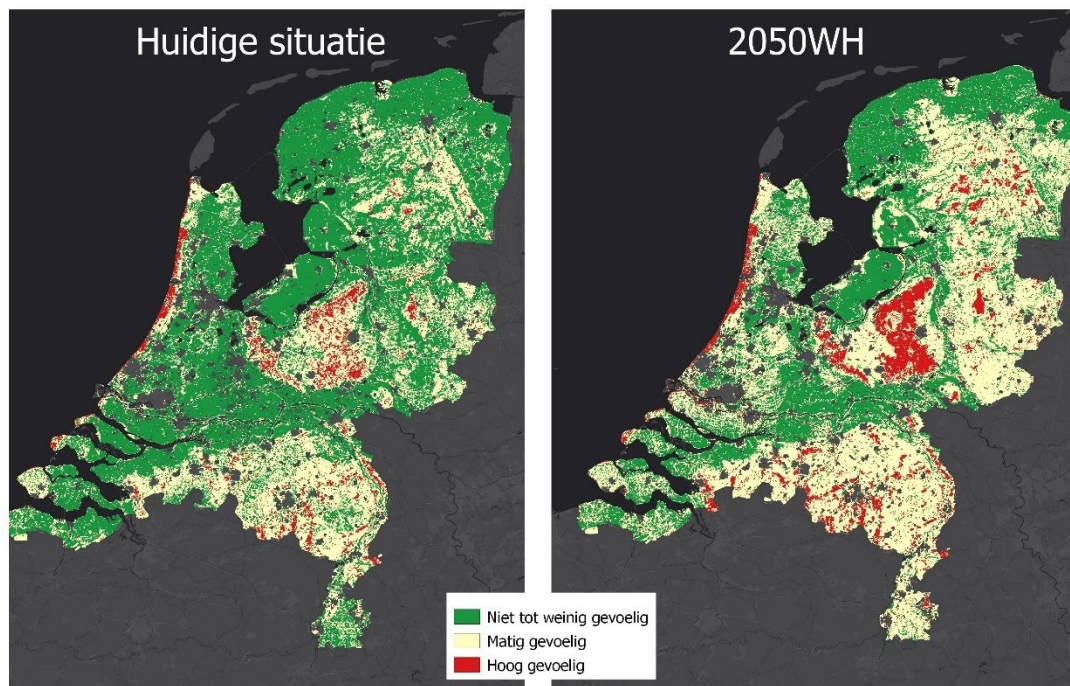
In een groot deel van Nederland is ook sprake van een toename van 'niet tot weinig gevoelig' naar 'matig gevoelig' (van groen naar geel). Dit betreft bijvoorbeeld Oost- en Noord-Nederland, maar ook het Groene Hart. Het valt daarnaast op dat een aanzienlijk deel van de Veluwe onder 'hoog gevoelig' komt te liggen. Dit is contrasterend met de stijgende GLG van Figuur 3.3 en heeft te maken met de diepte van het grondwater. Op onder andere de Veluwe zit het grondwater vele tot enkele tientallen meters beneden het maaiveld. Een stijging van rond de 2 meter brengt het grondwater daarmee niet hoog genoeg om bereikbaar te zijn voor de vegetatie en zorgt daardoor niet voor een dalend effect op de natuurbrandgevoeligheid.

Figuur 3.4 laat dus zien dat een groter deel van Nederland gevoeliger wordt voor natuurbranden. Om die reden kunnen (bestaande) potentiële ontstekingsbronnen in gebieden die eerder minder gevoelig waren in de toekomst wél tot een daadwerkelijke ontsteking leiden. Aangezien natuurbranden vaak op dezelfde dagen en onder eenzelfde combinatie van meteorologische condities plaatsvinden, bestaat dus de kans dat het aantal natuurbranden op één dag gaat toenemen en er meer branden tegelijkertijd plaats kunnen vinden.

Uit de analyse van Deltares (Van Marle & Agricola, 2021) blijkt dat onder andere recreatiedruk een voorspellingskracht heeft voor de natuurbrandgevoeligheid zoals is weergegeven in Figuur 3.4. In het recente artikel van Pointer (2022) wordt beschreven dat de recreatie in en nabij natuurgebieden ook is toegenomen. De kaarten van Figuur 3.4 houden echter alleen rekening met de effecten van klimaat op de natuurbrandgevoeligheid. Indien ook rekening

zou worden gehouden met de niet-klimatologische factoren zoals recreatiedruk of de bossenstrategie (paragraaf 3.2.2), zou het aantal ontstekingen nog meer toe kunnen nemen.

Natuurbrandgevoeligheidskaart



Figuur 3.4 De natuurbrandgevoeligheidskaart uit een analyse van Deltares (van Marle & Agricola, 2021). Vanwege een beperking in data zijn de Waddeneilanden niet meegenomen in deze analyse en kleuren ze daardoor, net als de stedelijke gebieden, grijs op de kaart

Zoals in Hoofdstuk 2 al benoemd is, worden veruit de meeste natuurbranden in Nederland door de mens veroorzaakt. Volgens het CBS (2022) is het de prognose dat Nederland rond 2050 circa 19,5 miljoen inwoners telt. Op 1 januari 2022 waren er zo'n 17,6 miljoen. Het is dan ook aannemelijk dat, ceteris paribus, meer inwoners ook meer ontstekingen betekent. Ook deze factor draagt dan bij aan de verwachting dat er in de toekomst meer natuurbranden voorkomen.

Samenvatting

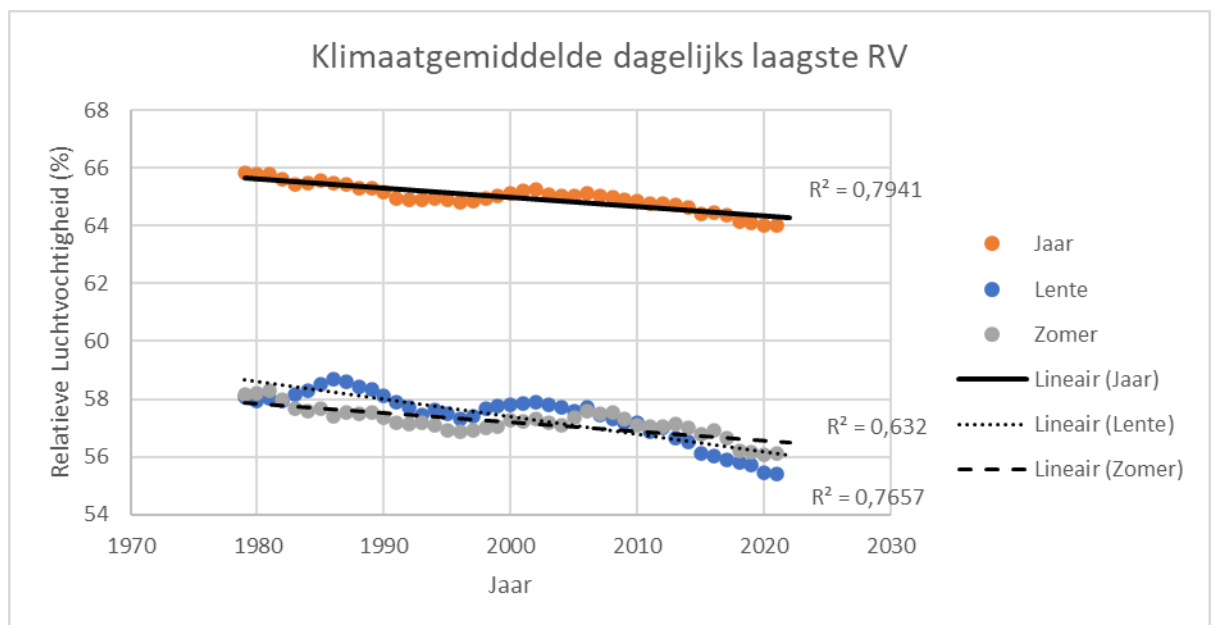
Het Nederlandse klimaat is in de recente decennia veranderd. Door warmer en droger weer is het aantal brandgevoelige dagen per jaar toegenomen en vinden er in Nederland in sommige jaren nu al bijna duizend natuurbranden plaats. De verwachting is dat deze trend zich in de toekomst zal voortzetten. Nóg warmer en droger (in zowel lucht als bodem) weer betekent dat meer natuur kan gaan branden en er dus meer natuurbranden kunnen voorkomen. Het effect van meer biomassa en een stijgende kans op ontstekingen vergroten deze toename van het aantal natuurbranden nog meer.

4 De gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden

4.1 Een blik op het brandgedrag uit het verleden

Als men kijkt naar natuurbranden zijn grote onbeheersbaar branden niet alleen iets van de afgelopen paar jaar. Zo woedde in 1976 nog een grote natuurbrand nabij Arnhem en in 1995 bij Kootwijk. In 2010 en 2011 kwamen diverse duinbranden bij Schoorl voor. In 2010 woedde ook een grote brand op de Strabrechtse heide. In 2014 was er opnieuw een grote natuurbrand in Nationaal Park De Hoge Veluwe. De natuurbrand in de Deurnese Peel uit 2020 is met ruim 700 hectare de grootste bekende natuurbrand in Nederland sinds de statistieken weer worden bijgehouden (Stoof et al., 2020). Tegelijkertijd woedde er dat jaar de grote natuurbrand in de Meinweg.

Vanwege de drogere en warmere condities als gevolg van het veranderde klimaat is het aannemelijk dat het vuur gemiddeld genomen intenser is geworden, wat ervoor zorgt dat minder energie gebruikt wordt voor de verdamping van (overgebleven) vocht in de vegetatie en er meer warmte geproduceerd wordt. Het uitdrogen van de lucht in de laatste decennia is ook zichtbaar in Figuur 4.1. Daarin is ook te zien dat de lucht in de lente sneller uitdroogt dan in de zomer.



Figuur 4.1 Overzicht van de klimaatgemiddelde dagelijks laagste relatieve luchtvochtigheid (RV) per jaar voor het KNMI station in De Bilt. De zwarte lijnen geven de trendlijn weer. Bij iedere trendlijn staat ook de bijbehorende R^2

4.2 Veranderend brandgedrag

4.2.1 Klimaatverandering: toenemende intensiteit en complexiteit

De verandering van de meteorologische parameters zoals ook beschreven in hoofdstuk 3.2 heeft niet alleen invloed op het aantal natuurbranden, maar ook op het brandgedrag. De individuele factoren toenemende temperatuur, een dalende relatieve luchtvochtigheid en een toenemend neerslagtekort maken dat natuurbranden zich extremer gaan gedragen. Als het gaat om natuurbranden, stapelen deze factoren (warmte, droogte, lage luchtvochtigheid) zich ook op. Natuurbranden zijn daarom zeer gevoelig voor klimaatverandering. Er kan dan ook gesteld worden dat natuurbranden sneller veranderen dan het klimaat zelf doordat deze opstapeling zorgt voor een versterkte toename wanneer het gaat om natuurbrandgedrag.

Een aanvullende zorg is de complexiteit van natuurbranden. Zo schrijft het KNMI in zijn *Klimaatsignaal '21* (KNMI, 2021b) dat de dalende relatieve luchtvochtigheid ervoor kan zorgen dat onweersbuien vaker valwinden produceren. Deze winden kunnen van de bui vandaan trekken en mogelijk een natuurbrand bereiken, waardoor de wind (onverwacht) aantrekt en draait, wat voor onverwacht brandgedrag en gevaarlijke situaties kan zorgen. Dit is een proces dat in het buitenland al vaker is voorgekomen (Achtemeier & Goodrick, 2021; Potter & Hernandez, 2017).

4.2.2 Vegetatie: een belangrijke maar onzekere factor

Zoals eerder is aangegeven, is de staat van de toekomstige vegetatie een onzekere factor. Er is een aantal vraagstukken dat een risico kan vormen voor de toekomst:

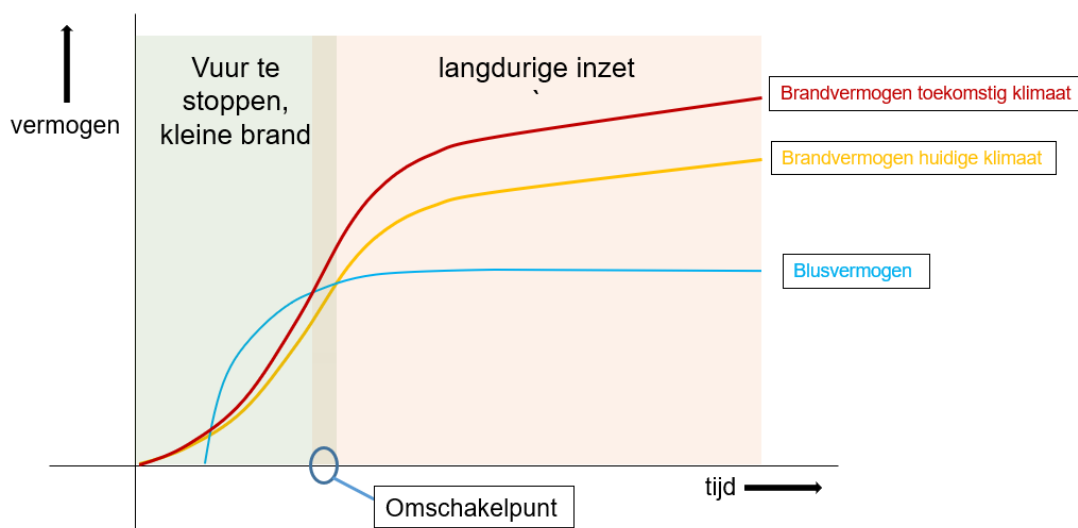
- > De bossenstrategie (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2020) beoogt meer stukken natuur aaneen te laten sluiten (ongeveer de helft van de beoogde toename van 10 %). Dat betekent dat natuurbranden groter kunnen worden door een continuïteit in brandstof.
- > Klimaatverandering (warmer, droger en zonniger weer) kan ook een toename in vegetatiestress veroorzaken, waardoor de beschikbaarheid van brandbaar materiaal toeneemt.
- > De in veel gebieden dalende GLG (Figuur 3.3) kan bijdragen aan het toenemen van vegetatiestress en daarmee aan de brandbaarheid van vegetatie, met intenser vuur tot gevolg.
- > Het effect van de stikstofdepositie kan ook impact hebben op natuurbranden. Zo bevordert stikstof de groei van productievarende soorten zoals grassen en varens, die onder droge condities erg brandbaar zijn en voor extra biomassa zorgen. Hierdoor kunnen de verspreidingsnelheid en intensiteit van een natuurbrand toenemen.
- > De accumulatie van dood hout in de natuur kan ook effect op het brandgedrag hebben. Aan de ene kant kan dood hout bij langdurige droogte een probleem vormen doordat het dan als extra brandstof dient. Aan de andere kant kan het bij kortere perioden van droogte juist vocht vasthouden en dus vertragend werken op de ontwikkeling van natuurbranden.

4.3 Vaker onbeheersbaar

Naar verwachting zullen er in de toekomst meer dagen zijn met condities die ongunstig zijn voor bestrijding van natuurbranden, doordat deze condities leiden tot sneller beschikbaar komen van brandstoffen en meer brandvermogen en daarmee intenser vuur. Hierdoor

kunnen er meer natuurbranden onbeheersbaar worden, waardoor logischerwijs het percentage onbeheersbare natuurbranden extra toeneemt. Dit proces staat schematisch weergegeven in Figuur 4.2.

Figuur 4.2 toont drie lijnen: het blusvermogen van de brandweer, het brandvermogen (de intensiteit van het vuur) in het huidige klimaat en het brandvermogen in een toekomstig klimaat. Op een gegeven moment vlakt de ontwikkeling van het blusvermogen af door beperkende factoren zoals de aanvoer van bluswater. Als het brandvermogen hoger wordt dan het blusvermogen, wordt een natuurbrand onbeheersbaar, tenzij deze door natuurlijke barrières wordt gestopt. De plaats waar de lijnen van brandvermogen en blusvermogen elkaar kruisen, wordt dan ook het omschakelpunt genoemd. Het passeren van dit omschakelpunt betekent dat een langdurige inzet nodig is voor de bestrijding van een natuurbrand. In het toekomstige klimaat loopt het brandvermogen naar verwachting sneller op. Hierdoor passeert de lijn van het brandvermogen eerder de lijn van het blusvermogen, waardoor een natuurbrand sneller onbeheersbaar wordt en vaker een langdurige inzet nodig zal zijn om de brand te stoppen.



Figuur 4.2 Een schematische weergave van de ontwikkeling van natuurbranden en het omslagpunt van een kleine, controleerbare natuurbrand naar een grote, oncontroleerbare natuurbrand. Figuur is aangepast op basis van Brandweer Nederland (z.d.)

Om een onbeheersbare natuurbrand te voorkomen is het dus essentieel dat deze in de beginnende fase wordt gestopt. In de toekomst wordt dit zonder mitigerende maatregelen in het landschap en vegetatie waarschijnlijk alsnog lastiger, waardoor er vaker onbeheersbare natuurbranden kunnen voorkomen.

De omvang van een natuurbrand hangt ook af van de grootte van het natuurgebied waar de brand woedt. De Nederlandse natuur is relatief gefragmenteerd, zodat er op bepaalde dagen grote verschillen zullen zijn in de omvang van de branden. Het vegetatietype van de verschillende natuurgebieden speelt daarbij ook een rol.

Tot slot is de bereikbaarheid van sommige natuurgebieden een punt van aandacht. Wanneer in de beginnende fase van de natuurbrand het vuur niet te bereiken is met de standaard

manier van brandbestrijding doordat het bijvoorbeeld in een veengebied zit of er teveel losliggend zand aanwezig is, kan een natuurbrand ook uitgroeien tot een onbeheersbare brand.

Samenvatting

Vanwege de drogere en warmere condities als gevolg van het veranderde klimaat is het aannemelijk dat het vuur gemiddeld genomen intenser is geworden. Alle signalen wijzen erop dat deze trend zich zal doorzetten in de toekomst. Door de combinatie van meer biomassa, hogere temperaturen en drogere lucht is het de verwachting dat de verandering in natuurbranden sneller gaat dan de verandering van het klimaat zelf. Hoewel de verandering van vegetatie in de toekomst nog onzeker is, zijn er wel een aantal mogelijke factoren die van belang zijn. Zo kan vegetatiestress een rol spelen in de beschikbaarheid van brandstoffen en kan de toenemende stikstofdepositie er bijvoorbeeld voor zorgen dat brandbare vegetatiesoorten zoals grassen en varens voor een toename van brandbare biomassa zorgen. Dit alles draagt bij aan de verwachting dat natuurbranden sneller en vaker onbeheersbaar zullen worden.

5 De impact van natuurbranden: het natuurbrandrisico

5.1 Natuurbranden zijn nu al niet zonder gevolgen

5.1.1 (Grootschalige) ontruimingen

Hoewel niet iedere natuurbrand ingrijpend is, zijn er in Nederland al branden geweest met (een grote) impact. Door de hoge bevolkingsdichtheid en de dichtheid in functies is de kans op ingrijpende gevolgen van een brand voor mens, dier en natuur relatief groot. Zo is er in recente jaren in een aantal gevallen sprake geweest van (grootschalige) ontruimingen:

- > Bij de duinbrand in Ouddorp in augustus 2022 zag de beheerder van een vakantiepark zich genoodzaakt de bewoners van de meest bedreigde woningen preventief te ontruimen (Gaspar et al., 2022).
- > Bij de brand in Nationaal Park De Meinweg in april 2020 werd Herkenbosch, een dorp met ruim 4.000 inwoners, ontruimd vanwege potentiële rookoverlast. De dag ervoor werden al twee zorginstellingen in het dorp geëvacueerd (Brandweer Nederland, 2020; NU.nl, 2020)
- > Bij de brand in de Deurnese Peel moesten alle bewoners uit een zorginstelling en bewoners in delen van Griendtsveen en Helenaveen geëvacueerd worden (Eindhovens Dagblad, 2020; RTL Nieuws, 2020).
- > Bij de duinbrand in Schoorl in 2010 moesten zo'n 550 mensen hun huis verlaten (NH Nieuws, 2019).

5.1.2 Kwantificeren van de economische impact van natuurbranden

De impact van natuurbranden kan worden gekwantificeerd met zowel directe als indirecte tastbare schades. Bij directe schades gaat het bijvoorbeeld over schade aan gebouwen en objecten, onherstelbare schade aan de natuur of schade aan infrastructuur en brandweermaterieel. Indirecte schade kan bepaald worden door het berekenen van socio-economische verliezen, bijvoorbeeld als gevolg van beschadigde infrastructuur of van uitval van andere vitale en kwetsbare functies zoals telecom en elektriciteit.

Er is ook sprake van economische schade als bedrijven vanwege evacuaties, afsluitingen of het afbranden van gebouwen dan wel voorraden niet meer kunnen functioneren. Het is bekend dat circa de helft van de bedrijven die getroffen worden door grote branden binnen twee jaar failliet gaan. Dit kan ook komen doordat klanten naar de concurrenten gaan na een brand (AMweb, 2018). Als een natuurbrand overslaat op een bedrijfspand, is er dus een aanzienlijke kans op faillissement.

Ook de inzet van het brandweerpersoneel en -materieel en andere partijen als defensie kost geld en zorgt daarmee voor indirecte verliezen voor de maatschappij. Op basis van een schatting van de maatschappelijke impact van de droogte in 2018 die op haar beurt

gebaseerd is op de brandweerinzet en natuurrestauratie komt dit uit op minimaal enkele miljoenen euro's (Kok et al., 2022). Bij deze berekening is geen rekening gehouden met de socio-economische verliezen, zoals economische schade bij ondernemers, of het verlies van soorten en natuurkwaliteit.

5.1.3 Uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur en cascade-effecten

Infrastructuur voor transport van mensen en goederen ondervindt ook nu al de impact van natuurbranden. Zo kunnen bermbranden ervoor zorgen dat (spoor)wegen afgesloten moeten worden vanwege bijvoorbeeld de benodigde ruimte voor hulpdiensten of slecht zicht als gevolg van de rook. In het droge jaar van 2018 zijn bij Rijkswaterstaat meer dan 250 meldingen gemaakt van bermbranden of branden in de zeer nabije omgeving van een weg. Ook deze kleinere branden kunnen potentieel grote maatschappelijke impact hebben, indien ze voorkomen op kritieke punten van ons hoofdwegennet, zoals veel gebruikte snelwegen en knooppunten. Een groot deel van het hoofdwegennet is daarnaast gevoelig voor afsluiting door rook van langdurige vlammeende of smeulende natuurbranden in de verdere omgeving (Van Marle et al., 2021).

Voor het hoofdwegennet is een aantal analyses uitgevoerd naar de impact van de uitval van bijvoorbeeld een snelweg, waarbij reizigers vertragingen ervaren ten gevolge van filevorming of omreizen. De jaarlijks te verwachten herstel- en stremmingkosten als gevolg van bermbranden kunnen hierdoor oplopen tot in de tonnen (Bles et al., 2019). Delen van het hoofdwegennet die hiervoor het meest kwetsbaar zijn, liggen relatief veel in het oosten en zuiden van Nederland en in het duinengebied in Zeeland (Bles et al., 2021). Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding van deze schattingen een overzicht van maatregelen opgesteld om de impact van natuurbranden te kunnen beperken.

Natuurbranden beïnvloeden ook andere vitale functies. Uitval van vitale processen zorgt ervoor dat het dagelijks leven verstoord raakt en er gebrek aan primaire levensbehoeften kan ontstaan. Denk hierbij aan gevolgen voor elektriciteit, telecommunicatie of drinkwatervoorziening. Tijdens een onbeheersbare brand kunnen deze functies ook buiten het direct getroffen gebied geraakt worden en zorgen voor cascade-uitval. Door bijvoorbeeld een natuurbrand nabij een locatie met gevaarlijke stoffen kan grootschalige evacuatie een consequentie zijn. Indien een kritieke transformator uitvalt, kan een lokale natuurbrand zorgen voor regionale uitval van elektriciteit waarbij inwoners en werkenden langere tijd zonder stroom zitten, inclusief cascade-effecten zoals uitval van internettoegang en dataverkeer of uitval van het C2000-netwerk (ANV, 2022b).

5.1.4 Kosten en schade aan flora & fauna

Schade aan natuurgebieden kan worden gekwantificeerd door een schatting van de herstelkosten per hectare. Deze kosten omvatten onder andere de herplanting en het aanleggen van paden en zijn geschat op 900-1200 euro per hectare. In specifieke situaties zoals de brand op de Kalmthoutse Heide in 2011 kunnen deze kosten echter oplopen tot wel 6000 euro per hectare (Kok et al., 2022).

De impact op flora en fauna door natuurbranden hoeft niet altijd schadelijk te zijn. Vooral bij flora is de schade bij een niet te hoge intensiteit van het vuur vaak beperkt. Soms biedt het zelfs kansen, bijvoorbeeld voor de biodiversiteit in een heidegebied (Staatsbosbeheer, 2022). Indien langzame of intens brandende natuurbranden op droge bodems de bovengrond verhitten, vooral wanneer de strooisellaag droog is en mee brandt, treedt een

verlies van voedingsstoffen en waterbergend vermogen in de bodem op. Dit kan vooral op arme zandgronden een probleem vormen voor de flora en fauna.

Natuurbranden kunnen daarentegen wel gevaarlijk zijn voor fauna en met name voor kleinere diersoorten die niet makkelijk snel kunnen vluchten. Zeker in het geval van kleine en lokale populaties, bijvoorbeeld die van zandhagedissen, kunnen natuurbranden een grote impact hebben (Mart-Jan Schelhaas, persoonlijke communicatie, 21 september 2022).

5.1.5 Impact op de menselijke gezondheid en welzijn

Natuurbranden kunnen veel impact hebben op de mens. Brandweermensen werken bij natuurbranden in veelal relatief hoge temperaturen. Hierdoor is kans op uitputting en oververhitting. Dit kan niet alleen fysiek, maar ook mentaal impact hebben. Zo kunnen fysiek zware activiteiten voor een daling in alertheid en denkvermogen zorgen (Xu et al., 2018). Doordat bij natuurbranden vaak in de brandstof (vegetatie) gewerkt wordt, zijn juist alertheid en bewustzijn van de aanwezige gevaren erg belangrijk. Een verminderde alertheid tijdens het werken bij natuurbranden kan dus voor gevaarlijke situaties zorgen.

Hoewel rook van natuurbranden soms nog als niet (heel) schadelijk wordt gezien, zijn er wel degelijk risico's verbonden aan bijvoorbeeld blootstelling aan fijnstof. Dit geldt voor zowel brandweermensen als burgers. Ook slecht zicht door rookvorming kan een gevaar vormen. Zo waren er tijdens de natuurbrand van de Deurnese Peel in 2020 meerdere ongevallen met voertuigen op de weg (NOS, 2020; Stoof et al., 2020).

Er zijn in Nederland dodelijke slachtoffers gevallen door natuurbranden. Voor zover bekend, zijn er sinds 1833 in totaal 29 doden gevallen; 22 daarvan waren slachtoffer van drie veenbranden die woedden tussen 1833 en 1917 en de overige 7 vielen tussen 1922 en 2021. Deze laatste zeven slachtoffers zijn gevallen tijdens het bestrijden van een natuurbrand, tijdens een oefening of door het gebruik van vuur in de natuur (Stoof et al., 2022).

5.2 Meer en intensere natuurbranden: meer impact

Door een toenemend aantal natuurbranden met grotere intensiteit in een sterk verdund Nederlands landschap is het onvermijdelijk dat ook de maatschappelijke impact en schade groter zullen worden: mensen zullen vaker moeten vluchten, er zullen vaker campings moeten worden geëvacueerd, er zal vaker overlast zijn door afgesloten wegen en ook zullen zich vaker cascade-effecten voordoen in bijvoorbeeld nutsvoorzieningen.

Daarnaast dragen de groeiende Nederlandse bevolking (CBS, 2022) en toenemende recreatie in en rondom natuurgebieden (Pointer, 2022) bij aan de toenemende impact van natuurbranden. Dit geldt niet alleen voor de menselijke gezondheid door blootstelling aan rook en de vlammen, maar ook voor de complexiteit van natuurbranden. Met meer mensen en recreatie wordt de kans groter dat het noodzakelijk is om mensen uit een natuurgebied of bijvoorbeeld campings te evacueren. Dit vraagt extra tijd, middelen en coördinatievermogen, wat weer ten koste kan gaan van het bestrijden van de brand zelf.

Vanwege een toenemend aantal (soms gelijktijdige) natuurbranden wordt een toenemende druk op het brandweersysteem verwacht. Dit zorgt ervoor dat er mogelijk eerder 'trriage' nodig is in het geval er meer middelen nodig zijn voor natuurbranden en andere incidenten

dan er beschikbaar zijn. Er moeten dan keuzes gemaakt worden over waar de prioriteit komt te liggen, waardoor per definitie sommige incidenten niet of niet optimaal en veilig bestreden kunnen worden. De toename van deze toenemende druk op het brandweersysteem is onvermijdelijk, tenzij er specifieke maatregelen worden genomen om het aantal natuurbranden of de kwetsbaarheid van andere functies te beperken.

Samenvatting

Op dit moment is voor slechts van een deel van de impact van natuurbranden de schade gekwantificeerd. Met dit onvolledige beeld, waarbij schade aan objecten, cascade-effecten en gebruikersuitval van bijvoorbeeld elektriciteitsvoorziening gebruikersuitval van bijvoorbeeld elektriciteitsvoorzieningen niet zijn meegenomen, kunnen schades al oplopen tot enkele miljoenen euro's per jaar. Daarnaast zijn er immateriële schade ten gevolge van evacuatie bij natuurbranden alsmede fysieke en mentale consequenties voor burgers en brandweermensen die geconfronteerd worden met natuurbranden.

De impact op de natuur kan negatief zijn door soortenverlies en bodemschade, maar biedt ook kansen. De impact van een natuurbrand hoeft niet per se beperkt te zijn tot de locatie van de brand, maar kan ook bovenregionale effecten hebben, waardoor grotere delen van de maatschappij er hinder van zullen ondervinden.

Door het toenemend aantal natuurbranden met grotere intensiteit in een sterk verdicht Nederlands landschap is het onvermijdelijk dat ook de maatschappelijke impact en schade groter zullen worden in de toekomst.

6 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt eerst een antwoord geformuleerd op de deelvragen, waarna de hoofdvraag wordt beantwoord. Hoofd- en deelvragen worden beantwoord door bestaande studies en expertise van de onderzoekspartners binnen deze studie te combineren.

6.1 Deelvragen

6.1.1 Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontstaan van natuurbranden?

In Nederland vindt er een verandering van natuurbranden plaats. Doordat het Nederlandse klimaat warmer en droger wordt en het aantal natuurbrandgevoelige dagen toeneemt, wordt meer vegetatie brandbaar en kunnen natuurbranden vaker voorkomen. Een groter deel van Nederland zal gevoelig worden voor het ontstaan van natuurbranden. De kans op het ontstaan van natuurbranden in de lente neemt toe. Daarnaast zal in de toekomst ook vaker in de zomer sprake zijn van een hoge kans op het ontstaan van dergelijke branden.

6.1.2 Hoe verandert de gevoeligheid voor het ontwikkelen van natuurbranden?

Warmere en drogere condities maken dat natuurbranden intenser kunnen branden en met de huidige bestrijdingswijze(n) steeds moeilijker te bestrijden zijn. Er zullen zich vaker onbeheersbare natuurbranden voordoen die met de huidige tactiek, techniek en capaciteit van de brandweer niet meer te bestrijden zijn; ook is de kans op gelijktijdigheid van zulke branden groter.

6.1.3 Hoe verandert de impact van natuurbranden?

De toename van het aantal natuurbranden en hun intensiteit, gepaard met verdere verdichting van Nederland, zal leiden tot toename van de impact van natuurbranden: mensen zullen vaker moeten vluchten, er zal vaker directe en indirecte schade ontstaan, uitval zijn van vitale infrastructuur leidend tot cascade-effecten en onherstelbare schade aan flora en fauna. De menselijke gezondheid zal daarnaast vaker bedreigd worden.

Het voorkomen en bestrijden van branden in Nederland is nu hoofdzakelijk gericht op beperkte en relatief kortdurende branden in gebouwen. Natuurbranden zijn daarentegen vaker grootschalig en duren veel langer. Aandachtspunt daarbij is dat door een toename van (gelijktijdige) natuurbranden ook een zodanig toenemende druk op het brandweersysteem kan ontstaan dat de hulpvraag op bepaalde plekken groter kan worden dan de beschikbaarheid van brandweermiddelen.

6.2 Beantwoording van de hoofdvraag

Hoe ontwikkelt het natuurbrandrisico zich in Nederland?

Een groter deel van Nederland zal geconfronteerd worden met meer natuurbranden. Het natuurbrandrisico manifesteerde zich in Nederland vooral in de lente, maar in de toekomst zal er steeds vaker ook in de zomer (langdurig) sprake zijn van een (hoog) risico. Natuurbranden zullen zich vaker ontwikkelen tot branden die niet meer gestopt kunnen worden, maar pas stoppen als er geen brandstof meer is. De toename van het aantal branden, gepaard met een verdere verdichting van Nederland, leidt tot een hoge kans op natuurbranden met veel impact op gezondheid, welzijn, natuur en economie.

De ontwikkeling van het natuurbrandrisico is geen lineair proces. Doordat de factoren droogte, warmte en (lage) relatieve luchtvochtigheid elkaar versterken, neemt het natuurbrandrisico sneller toe dan dat de klimaatverandering plaatsvindt.

7 Aanbevelingen en onzekerheden

Op basis van de conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan die vanuit het oogpunt van de actuele wetenschappelijke inzichten naar de toekomst bij kunnen dragen aan het beheersen van het natuurbrandrisico. Deze aanbevelingen zijn gegroepeerd rondom het ontwikkelen van meer kennis, de inrichting van het landschap en het systeem voor natuurbrandbeheersing.

7.1 Natuurbranden moeten structureel onderdeel worden van het systeem rondom brandveiligheid

Hoewel natuurbranden altijd zullen voorkomen en Nederland hiermee zal moeten leren leven, is het belangrijk om natuurbranden beheersbaar te houden en de impact ervan te minimaliseren. Als de huidige klimatologische, demografische en geografische trends zich zonder ingrijpen door blijven zetten, zal het natuurbrandrisico echter alsmear verder toenemen. Dit versterkt de noodzaak om in te grijpen en betekent dat Nederland anders naar de samenhang tussen vuur, natuur en het landschap zal moeten leren kijken.

Om de impact van natuurbranden te mitigeren en gevaren te verminderen is het nodig dat het voorkomen en bestrijden van natuurbranden structureel onderdeel wordt van het systeem van brandweezorg, dat tot nu toe vooral is gericht op het voorkomen, beperken en bestrijden van (beperkte) branden in gebouwen. Andere brandweertaken zoals technische hulpverlening, waterongevallen en ook natuurbrandbestrijding zijn in feite een 'bijproduct' van het systeem. Dat betekent echter dat het systeem dat nu wordt ingezet om natuurbranden te beheersen daar in feite niet op is ontworpen. Denk daarbij aan zaken als opkomsttijden, preventiebeleid, opleiding en (persoonlijke) uitrusting. Dat betekent dat nu in alles – opleidingen, materiaal, persoonlijke bescherming – concessies worden gedaan ten aanzien van de effectiviteit van het beheersen van natuurbranden. Het wordt dan ook aanbevolen om natuurbrandbeheersing integraal op te nemen in het brede spectrum van brandweezorg – van brandveiligheidswetgeving en voorwaarden voor activiteiten of bedrijven die in of aan natuurgebieden plaats gaan vinden tot en met de opleidingen voor brandweermensen en terreinbeheerders.

Op dit moment is er geen nationaal handelingsperspectief om de consequenties van natuurbranden te beperken. Dat komt deels door een gebrek aan inzicht in de impact van dergelijke branden, inclusief hun cascade-effecten, en deels door het ontbreken van een bestaand afweegkader. De potentiële impact van natuurbranden moet daarom beter worden geduid door de tastbare en niet-tastbare schade en de cascade-effecten beter in kaart te brengen. Daarmee kan een nationaal actieplan voor natuurbranden worden opgesteld voor verschillende gebruikersfuncties. Dit actieplan zal zich moeten richten op adaptatie en mitigatie om de impact van natuurbranden te beperken, maar ook op de responsfase,

waarbij duidelijk zou moeten worden voor de brandweer welk incident ze prioriteit moet geven. Dit actieplan kan gebaseerd worden op het systeem van meerlaagse veiligheid², waarbij maatregelen in verschillende lagen elkaar aanvullen en versterken:

- > Laag 1: Maatregelen die een kans op het ontstaan van een natuurbrand proberen te verkleinen (tot een bepaald niveau).
- > Laag 2: Maatregelen die de impact van een natuurbrand moeten beperken: landschapsinrichting, compartimentering, aanpassing vegetatie, aangepast bouwen in risicogebieden, droogtemaatregelen en maaibeheer.
- > Laag 3: Maatregelen die de incidentbestrijding en crisisbeheersing bij een natuurbrand verbeteren: nieuwe tactieken en technieken, training, adaptieve strategieën.

Voorwaarde voor dit principe is zicht op alle actoren en stakeholders die hierbij meespelen en dat dit moet landen in de verschillende overheidsorganisaties.

7.2 Reliëf en de weersomstandigheden kunnen niet worden veranderd, de inrichting van het landschap en vegetatie wel

Alle huidige inzichten duiden erop dat het natuurbrandrisico in Nederland wordt gedomineerd door de nauwe samenhang tussen natuur, wonen, zorg, recreatie en andere functies. Het beheersen van het natuurbrandrisico zou daarom moeten beginnen met het betrekken van het natuurbrandrisico in omgevingsvisie en -plannen, waardoor al bij de inrichting van het landschap wordt nagedacht over de onderlinge relatie tussen natuur, natuurbrandrisico en andere functies in een bepaald gebied. Immers: als (kwetsbare) functies minder nauw met de natuur worden verweven, neemt het natuurbrandrisico af.

In die gebieden waar de nauwe samenhang van functies niet of nog niet kan worden vermeden of teruggedrongen, kan om het groeiende probleem van natuurbranden tegen te gaan winst worden behaald in het veranderen van de condities rondom vegetatie. Zo is er een aantal mogelijkheden:

- > De gevolgen van droogte in de natuur kunnen gemitigeerd worden door bijvoorbeeld vernatting van het gebied. Dit zal in mindere mate de typische lentebanden in uitgedroogde dode vegetatie (van het vorige seizoen) beperken, maar wel het toenemende aantal zomerbranden.
- > Door regelmatig en op uitgebreidere schaal gecontroleerd vuur toe te passen als maatregel om de hoeveelheid brandbare biomassa te reduceren, zal de intensiteit bij een natuurbrand lager zal zijn. Tevens is dit een mogelijkheid voor brandweer, terreinbeheerders en andere gebruikers van het gebied om elkaar al vóór een incident te ontmoeten en kan het gebruikt worden om te netwerken, zodat dat tijdens een incident niet meer hoeft. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om in een gecontroleerde omgeving meer te leren over vuur in de praktijk en brandgedrag.
- > Per natuurgebied is een kosten-batenanalyse nodig, waarin ook potentiële ontastbare schade wordt betrokken, om te kijken welke maatregelen zowel aan de preventieve als repressieve kant genomen kunnen worden. Maatwerk is belangrijk; er is geen enkele maatregel die voor heel Nederland zal werken.
- > Educatie en bewustzijn in het bredere maatschappelijke perspectief. Alle bewoners en gebruikers in of rond natuurgebieden zullen zelf ook maatregelen moeten nemen om de

² Zoals dat ook voor overstromingsrisico wordt toegepast. Zie o.a.:

<https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/innovatieve-dijkconcepten/meerlaagsveiligheid-de-praktijk>

brandbaarheid van hun tuin, huis, onderneming of activiteit te beperken, en weten wat ze moeten doen als er een natuurbrand uitbreekt.

Bij al deze maatregelen moet voortdurend in het achterhoofd worden gehouden dat de natuur een levend organisme is: ze groeit en verandert continu. Dit betekent dat de mate van beheersbaarheid van het natuurbrandrisico ook voortdurend verandert en dat de natuur slechts beperkt maakbaar is.

7.3 Er is meer kennis over natuurbranden nodig

De roep van overheden, brandweer en terreinbeheerders om handelingsperspectief leiden tot een behoefte aan meer kennis om de ontwikkeling van het natuurbrandrisico nader en ook kwantitatief te kunnen duiden. Meer kennis is echter een algemeen begrip dat hieronder wordt gespecificeerd:

- > Eigenlijk is er nog erg weinig bekend over de meeste natuurbranden die nu plaatsvinden. Slechts een heel beperkt gedeelte wordt namelijk onderzocht. Om inzicht te krijgen in de werkelijke (huidige) situatie zou informatie over natuurbranden in Nederland systematisch bijgehouden en geanalyseerd moeten worden, waarbij onder andere aandacht zou moeten zijn voor de volgende zaken:
 - De exacte (ontstaans)locatie, het verbrande oppervlak, de vegetatie en de meteorologische omstandigheden. Kennis hiervan versterkt niet alleen onze kennis van natuurbranden in Nederland, maar helpt ook om de CO₂-emissie van natuurbranden beter in te schatten.
 - De toegepaste bestrijdingswijzen en de reden waarom een natuurbrand zich uiteindelijk *niet* verder heeft uitgebreid. Was dat het gevolg van andere vegetatie, andere beheermaatregelen, toeval of de brandweerinzet?
 - Als zich een onverwachte gebeurtenis of een (bijna-)ongeval heeft voortgedaan bij een natuurbrand, bijvoorbeeld als brandweermaterieel is verbrand of men heeft moeten vluchten, moet dit gekoppeld worden aan de data rondom natuurbranden. Zo is het mogelijk beter beeld te krijgen van de (aanloop naar de) risicovolle situaties bij natuurbranden.
- > Klimaatontwikkeling en stikstofdepositie leiden tot een verandering in vegetatietypen, maar onbekend is nog wat de precieze uitwerking van deze invloeden is. Om inzicht te krijgen in het natuurbrandscenario van de toekomst is meer duidelijkheid over de dan aanwezige (wenselijke) vegetatie echter noodzakelijk.
- > Om te helpen bij het verwachten van perioden met een verhoogd natuurbrandgevaar is onderzoek naar patronen nodig, bijvoorbeeld door systematisch te kijken naar de veelvoorkomende luchtdrukverdelingen op dagen met veel en/of grote natuurbranden. Aandachtspunt daarbij is ook onderzoek naar de omstandigheden die extreem brandgedrag kunnen veroorzaken, waaronder convectieve branden die hun eigen weer kunnen creëren.
- > Om beter inzicht te krijgen in de toekomstige impact van natuurbranden, moet inzicht worden verkregen over de herhalingscycli en duur van deze branden en de cascade-effecten
- > Er is een verdere analyse nodig naar de samenhang in de ontwikkelingen van natuurgebieden, bebouwing en andere functies die in of naast natuurgebieden zijn geplaatst of ondergebracht.

- > Er is onderzoek nodig naar alternatieve tactieken en technieken om natuurbranden te beheersen, zowel vanuit het oogpunt van risicobeheersing als incidentbestrijding. Het gaat daarbij zowel om individuele tactieken en technieken als om de samenhang van tactiek en techniek binnen het totale systeem van natuurbrandbeheersing. Daarvoor is het ook noodzakelijk een beter beeld te krijgen van het toekomstige brandgedrag.

7.4 Onzekerheden

Een aantal aspecten van dit rapport vereist nadere discussie. Allereerst is het toekomstige klimaat in enige mate onzeker. Hoewel alle scenario's (KNMI, 2014) eenzelfde beeld schetsen met warmer en droger weer, verschillen ze in hoe sterk deze veranderingen zijn. Dit leidt ook tot onzekerheid wat betreft de snelheid en mate waarmee het natuurbrandrisico in Nederland toeneemt.

Daarnaast is eerder al aangegeven dat toekomstige veranderingen in de vegetatie lastig te concretiseren zijn, mede door hun complexiteit. De onzekerheid in de toekomstige vegetatie kan grote invloed hebben op het natuurbrandrisico en daarmee is de hoeveelheid en samenstelling van vegetatie ook een van de aanknopingspunten voor het beheersen van het natuurbrandrisico. Hoewel er een aantal mogelijke veranderingen in vegetatie is aangegeven en een aantal hiervan voor brandbaardere condities kunnen zorgen, is de feitelijke ontwikkeling ook erg afhankelijk van natuurbeheer. Ook met de aanpassing en het beheer van vegetatie valt dus winst te behalen. Echter: zonder een aanpassing van vegetatie en het bestendigen van maatregelen door beheer laten alle scenario's een verslechtering van het natuurbrandrisico zien.

In het hele rapport zijn daarnaast de meeste factoren die besproken zijn en de conclusies vanuit kwalitatief oogpunt benaderd. Hoewel sommige input kwantitatief was, is het voorsnog niet mogelijk geweest om de veranderingen in natuurbrandgevoeligheid en -risico ook kwantitatief uit te drukken. Uiteindelijk is alle input gebruikt om een zo goed mogelijk kwalitatief beeld te krijgen van de veranderingen rondom natuurbranden.

Tot slot gaan veel zaken over gemiddelden, vooral wanneer ze betrekking hebben op klimaatverandering. Het werkelijke weer vertoont echter uitschieters en juist die uitschieters, bijvoorbeeld bij extreme warmte en droogte, zijn belangrijk voor natuurbranden. Hoe extreem deze uitschieters zijn, is daarentegen een onzekere factor.

Naarmate er meer bekend wordt over klimaatverandering, kan er op basis van dit voortschrijdend inzicht ook meer – mogelijk ook kwantitatief – gezegd worden over de ontwikkeling van het natuurbrandrisico. De publicatie van de KNMI'23-Klimaatscenario's zou dan ook aanleiding moeten zijn om opnieuw onderzoek te doen naar de ontwikkeling van het natuurbrandrisico.

Literatuurlijst

Achtemeier, G.L., & Goodrick, S.L. (2021). Adding to Fire Fighter Safety by Including Real-Time Radar Data in Short-Range Forecasts of Thunderstorm-Induced Wind Shifts. *Fire*, 4(3), 55.

AMweb. (2018, 29 maart). [Verzekeraars en brandweer slaan alarm: helpt bedrijven failliet na brand](#). Geraadpleegd op 22 december 2022.

ANV. (2022a). *Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid*. Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

ANV. (2022b). *Themarapportage bedreiging vitale infrastructuur*. Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

Bles, T., De Bel, M., Van Marle, M., & Aboufirass, A. (2019). *Impact van klimaatverandering op wegherstel en verkeersstremming: Uitkomst landelijke klimaatstresstest HWN*. Deltares, t.b.v. Rijkswaterstaat.

Bles, T., De Jong, J., Van Marle, M., & Van Buren, R. (2021). *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor; ten behoeve van de NMCA*. Deltares.

Bradstock, R.A. (2010). A biogeographic model of fire regimes in Australia: current and future implications. *Global Ecology and Biogeography*, 19(2), 145-158.

Brandweer Nederland (2019). *Branchevoorschrift; Standaardbepakking voor brandweervoertuigen. Tankautospuit, hulpverlenings- red- en OvD-voertuig*. Versie 6.2.

Brandweer Nederland (2020). *Natuurbrandonderzoek de Meinweg Herkenbosch 29 en 30 mei 2020*. Veiligheidsregio Limburg-Noord.

Brandweer Nederland (z.d.). *Natuurbranden; een apart vakgebied* [PowerPoint Slides]. Geraadpleegd op 23 december 2022.

Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E., Larraña, A., Nebot, E., Castellarnau, X., Vendrell, J., Pallàs, J., Herrera, J., Monturiol, M., Cespedes, J., Pagès, J., Gallardo, C., & Miralles, M. (2019). Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. *Fire Ecology*, 15(31).

CBS. (2022) [Bevolkingsteller: Hoeveel mensen wonen nu in Nederland](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

Chambers, J.C., Brooks, M.L., Germino, M.J., Maestas, J.D., Board, D.I., Jones, M.O., & Allred, B.W. (2019). Operationalizing Resilience and resistance Concepts to Address Invasive Grass-Fire Cycles. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 185.

Dam, J. (2022, 4 juli). *Natuurbrandbeheersing: van nul tot nu* [Algemene presentatie]. Nationale stakeholder bijeenkomst natuurbranden in Nederland, Wageningen.

Eindhovens Dagblad. (2020, 20 april). [Bewoners verzorgingstehuis geëvacueerd vanwege brand in natuurgebied Deurnsche Peel](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

Flannigan, M. D., & Harrington, J. B. (1988). A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953–80). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 27(4), 441-452.

Gaspar, V., Boin, C., Brouwer, N., Ebus, J., Mertens, C., Hazebroek, H., Kok E., & Tanck, I. (2022). *Samen leren van natuurbranden – verslag symposium 1 november 2022*.

Goldammer, J., Mitsopoulos, I., Mallinis, G., & Woolf, M. (2017). *Wildfire Hazard and Risk Assessment*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Kinney, G.F. & Wiruth, A.D. (1976). *Practical risk analysis for safety management*. Naval Weapons Center.

Klimaateffectatlas. (z.d.). [Laagste grondwaterstanden](#). Geraadpleegd op 23 december 2022.

KNMI. (2021a, 9 augustus). [IPCC: Menselijke beïnvloeding van het klimaatsysteem vaststaand feit, 1,5 °C-grens 10 jaar eerder bereikt dan verwacht](#). Geraadpleegd op 4 december 2022.

KNMI. (2021b). *KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*.

KNMI. (2022, 4 oktober). [Zomerhalfjaar overdag meer opgewarmd dan 's nachts, vooral in het binnenland](#). Geraadpleegd op 4 december 2022.

Kok, E., Schouten, S., Dam, J. & Fikke, R. (2022). *Scenario's natuurbranden*. Manuscript in voorbereiding.

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. (2020). *Bos voor de toekomst: Uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 2030*. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Interprovinciaal Overleg.

NH Nieuws. (2019, 28 augustus). [Vandaag tien jaar geleden: hoe het vuur Schoorl op een paar meter naderde](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

NIPV (z.d.). *Analyse resultaten rekenmodel (natte) stoplijn*.

NOS. (2020, 27 mei). [Natuurbrand Deurnese Peel smeult nog na: zes auto's botsen door dichte rook](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

NU.nl. (2020, 22 april). [4.000 inwoners Limburgs dorp Herkenbosch geëvacueerd om natuurbrand](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

Pointer. (2022, 15 oktober). [Bouw recreatiewoningen en hotels vlakbij beschermde natuur stijgt in 5 jaar met 90 procent](#). Geraadpleegd op 4 december 2022.

Potter, B.E., Hernandez, J.R. (2017). Downdraft outflows: climatological potential to influence fire behaviour. *International journal of wildland fire*, 26(8), 685-692.

RTL Nieuws. (2020, 22 april). [Brand in de Peel grootste natuurbrand ooit in Nederland](#). Geraadpleegd op 3 december 2022.

Schneider, R.G. (z.d.). *Fire Management Study Unit*. United States Department of Agriculture.

Scussolini, P., Kuik, O., Aerts, J., Veldkamp, T., Hudson, P., Sainz de Murieta, E., Galarraga, I., Kaprová, K., Melichar, J., Lago, M., Rouillard, J., Troeltzsch, J., Hunt, A., Skourtos, M., Goodes, C., Bøssing Christensen, O. (2016). *The Economic Appraisal of Adaptation Investments under Uncertainties: Policy Recommendations, Lessons Learnt and Guidance*. ECONADAPT Deliverable 6.4.

Staatsbosbeheer. (2022, 19 mei). [5 vragen over natuurbrand](#). Geraadpleegd op 22 december 2022.

Stoof, C., Kok, E., Van Marle, M., & Cardil, A. (2022). *In Northwest Europe, fire is here already*. Manuscript in voorbereiding.

Stoof, C.R., Tapia, V.M., Cardil, A., Marcotte, A.L., Stoorvogel, J.J., & Castellnou, M. (2020). *Relatie tussen natuurbeheer en brandveiligheid in de Deurnese Peel; Onderzoek naar aanleiding van de brand in de Deurnese Peel van 20 april 2020*. Wageningen University & Research.

Teie, W.C. (2018). *Firefighter's Handbook On Wildland Firefighting; Strategy, Tactics and Safety* (4e ed.). Fire Protection Publications.

Van den Hurk, B., Siegmund, P., & Klein Tank, A. (Eds.). (2014). *KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*. KNMI.

Van Marle, M.J.E. & Agricola, H.J. (2021). *Verrijking Klimaat-effectatlas Natuurbrandgevoeligheid: Huidige situatie en 2050 WH*. Deltares.

Van Marle, M., Brouwer, N., Van Buren, R., Hazebroek, H. (2021). *Verdieping natuurbrandrisico Nederland; Gevoeligheid voor langdurige natuurbranden en vertaling naar het hoofdwegennet (HWN)*. Deltares, t.b.v. Rijkswaterstaat.

Van Raffe, J.K. (2011). *Verantwoordelijkheden bij risico- en crisisbeheersing van bos- en natuurbranden. Taken en bevoegdheden bij risicobeheersing, bestrijding, nazorg en herstel en een overzicht van de hiaten in regelgeving en taakverdeling*. Alterra, rapport 2210.

Van Wagner, C.E. (1972). *Equilibrium moisture contents of some fine forest fuels in eastern Canada*. Canadian Forestry Service, Information Report PS-X-36.

Walton, D. & Hedley, P. (2022, 1 november). *The busiest day since the war / maximum load on the system* [Plenaire inleiding 2]. Samen leren van natuurbranden, Nijkerk.

Xu, R., Zhang, C., He, F., Zhao, X., Qi, H., Zhou, P., Zhang, L. & Ming, D. (2018). How Physical activities affect mental fatigue based on EEG energy, connectivity and complexity. *Frontiers in neurology*, 9, 915.

Bijlage 1 Tabellen huidig en toekomstig klimaat

Tabel B1.1 Overzicht oude en nieuwe klimaatnormalen volgens het KNMI
Klimaat signaal '21 (2021)

Seizoen	Variabele	Klimaat 1961-1990	Klimaat 1991-2020
Jaar	Gemiddelde temperatuur	9,4 °C	10,5 °C (+1,1 °C)
	Gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar	19 dagen	28 dagen(+9)
	Gemiddeld aantal tropische dagen per jaar	2,4 dagen	5,0 dagen (+2,6)
	Gemiddelde hoeveelheid zonnestraling	364 kJ/cm ²	379 kJ/cm ² (+4,1 %)
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	780 mm	851 mm (+9,1 %)
	Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid	82,7 %	81,8 % (-0,9 %)
	Gemiddelde windsnelheid	5,2 m/s	5,0 m/s (-3,8 %)
Lente			
Lente	Gemiddelde temperatuur	8,4 °C	9,9 °C (+1,5 °C)
	Gemiddelde hoeveelheid zonnestraling	120 kJ/cm ²	128 kJ/cm ² (+6,7 %)
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	163 mm	153 mm (-6,1 %)
	Neerslagtekort aan het eind van de lente	53 mm	65 mm (+22,6 %)
Zomer			
Zomer	Gemiddelde temperatuur	16,2 °C	17,5 °C (+1,3 °C)
	Gemiddelde hoeveelheid zonnestraling	156 kJ/cm ²	164 kJ/cm ² (+5,1 %)
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	207 mm	235 mm (+13,5 %)
	Maximaal neerslagtekort gedurende het groeiseizoen (gemiddeld)	143 mm	160 mm (+11,9 %)
	Maximaal neerslagtekort gedurende het groeiseizoen (gemiddeld); 5% droogste jaren	228 mm	247 mm (+8,3 %)

Tabel B1.2 Een selectie van de kerncijfers uit de KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2014)

Seizoen	Variabele	Klimaat 1981-2010 (referentieperiode)	Verandering voor klimaat rond 2050 per scenario			
			GL	GH	WL	WH
Jaar	Gemiddelde temperatuur	9,4 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,0 °C	+2,3 °C
	Gemiddelde hoeveelheid zonnestraling	354 kJ/cm ²	+0,6 %	+1,6 %	-0,8 %	+1,2 %
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	851 mm	+4 %	+2,5 %	+5,5 %	+5 %
Lente						
	Gemiddelde temperatuur	9,5 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,8 °C	+2,1 °C
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	173 mm	+4,5 %	+2,3 %	+11 %	+9 %
Zomer						
	Gemiddelde temperatuur	17,0 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+1,7 °C	+2,3 °C
	Gemiddelde hoeveelheid zonnestraling	153 kJ/cm ²	+2,1 %	+5 %	+1,0 %	+6,5 %
	Relatieve luchtvochtigheid	77 %	-0,6 %	-2,0 %	+0,1 %	-2,5 %
	Gemiddelde hoeveelheid neerslag	224 mm	+1,2 %	-8 %	+1,4 %	-13 %
	Aantal natte dagen (0,1 mm of meer)	43 dagen	+0,5 %	-5,5 %	+0,7 %	-10 %
	Maximaal neerslagtekort gedurende het groeiseizoen (gemiddeld)	144 mm	+4,5 %	+20 %	+0,7 %	+30 %

Bijlage 2

Achtergrondinformatie van de auteurs

ir. Brian Verhoeven (NIPV):

Brian Verhoeven is junior-onderzoeker bij de vakgroep brandweezorg van het NIPV. Hij heeft de MSc Earth & Environment afgerond aan de Wageningen Universiteit, waarbij hij zich heeft gespecialiseerd in de interactie tussen de meteorologie en natuurbranden. Na zijn studie heeft hij een periode in Catalonië doorgebracht, waar hij met de natuurbrandspecialisten kennis heeft uitgewisseld en ervaring heeft opgedaan in de natuurbrandbestrijding en -analyse.

dr. Margreet van Marle (Deltares):

Margreet van Marle werkt bij Deltares als onderzoeker op het gebied natuurbranden en klimaatrisico's. Haar expertise omvat natuurbranden, ontbossing, klimaatverandering en multi-hazard risicoanalyses. Ze behaalde een doctoraat met een focus op bosbranden, (tropische) ontbossing en branddynamiek wereldwijd. Ze ontwikkelde een wereldwijde dataset van emissies als gevolg van natuurbranden. Haar werk is als input gebruikt voor de klimaatmodellen in het IPCC AR6. Ze heeft op dit moment een sterke interesse in de gevolgen van natuurrampen op uitval van vitale systemen en om lange-termijn strategieën hiervoor te ontwikkelen.

drs. Hans Hazebroek MCPm (NIPV):

Hans Hazebroek is senior-onderzoeker en projectleider bij de vakgroep brandweezorg van het NIPV. Hij coördineert onderzoek naar natuurbrandbeheersing en commandovoering binnen de vakgroep. Naast diverse inhoudelijke onderzoeksprojecten, oa over brand- en rookontwikkeling, heeft Hans opgetreden als projectleider van de 'toekomstverkenning brandweer' en is hij betrokken geweest bij de evaluatie van de wet veiligheidsregio's. Naast zijn functie als senior-onderzoeker treedt Hans tevens op als Hoofdofficier van Dienst bij brandweer Gelderland-Midden en is hij landelijk inzetbaar als adviseur natuurbrand.

dr. ir. Cathelijne Stoof (WUR):

Cathelijne Stoof is gespecialiseerd in pyrogeografie – de interdisciplinaire studie over natuurbranden. Dr. Stoof is de nationaal afgevaardigde van Nederland in de Expert Group of Forest Fires van de Europese Unie en heeft ook deelgenomen aan het bestuur van de International Association of Wildland Fire. Zij is de initiator en leider van het innovatieve trainingnetwerk PyroLife, dat 15 PhD kandidaten traint om de volgende generatie experts te worden in integraal vuurbeheer. PyroLife vertaalt kennis uit Zuid-Europa naar de rest van Europa met een meer gematigd klimaat en is sterk gebaseerd op diversiteit in termen van interdisciplinariteit, de link tussen praktijk en wetenschap, geografie en gender. Dr. Stoof werkt bij Wageningen University, waar ze het doen van onderzoek combineert met het geven van onderwijs en communicatie. Tevens heeft ze een onderzoek naar de relatie tussen natuurbeheer en brandveiligheid in de natuurbrand in de Deurnese Peel geleid.

dr. ir. Peter Siegmund (KNMI):

Peter Siegmund is natuurkundige en heeft ruim 35 jaar ervaring als klimaatonderzoeker bij het KNMI. Zijn interesse betreft vooral het klimaat en de klimaatverandering zoals waargenomen in de afgelopen decennia, wereldwijd en in Nederland.

ing. Nienke Brouwer (NIPV):

Nienke Brouwer is projectleider en onderzoeker bij de vakgroep brandweezorg van het NIPV. Zij doet onder andere onderzoek naar de verspreiding van natuurbranden, validatie van brandstofmodellen en vegetatiekaarten en het vroegtijdig onderkennen van natuurbrandgevaar. Nienke heeft de opleiding Bos- en natuurbeheer afgerond aan de Hogeschool Van Hall Larenstein.

dr. Sander Veraverbeke (VU):

Sander Veraverbeke is universitair hoofddocent in Klimaat- en Ecosysteemverandering aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Sander doet onderzoek naar de relatie tussen klimaatverandering en natuurbranden in boreale en arctische gebieden. Hij heeft ook een sterke interesse in de rol van vuur in ecosystemen en de maatschappij en deed eerder onderzoek naar natuurbranden in Nederland, België, Griekenland, Rusland, Canada en de Verenigde Staten.

dr. Linde Egberts (VU):

Linde Egberts werkt als Assistant Professor in het interdisciplinaire terrein van erfgoedstudies. Zij is opgeleid als sociale geograaf en cultureel historicus aan de Universiteit Utrecht en Vrije Universiteit Amsterdam, waar ze haar PhD thesis 'Chosen Legacies' in 2015 verdedigde. Haar onderzoeksinteresses liggen in kritische historische benadering van landschappen, ruimtelijke inrichting, klimaatverandering en veerkracht. Linde Egberts is de onderzoeksstrategie adviseur voor het onderzoeksinstituut CLUE+, waar ze in coverband leiding geeft aan het onderzoeksprogramma 'Inclusive Landscape Transformations.' Ze combineert haar onderzoeksinspanningen met het coördineren van de masteropleiding erfgoedstudies, doceren en het begeleiden van PhD- en masterstudenten.

drs. Rob Sluijter (KNMI):

Rob Sluijter is 22 jaar werkzaam op het KNMI als klimatoloog. Sinds 2020 is hij actief als programmamanager van het Early Warning Centre op het KNMI.