

TNO-rapport**TNO 2022 R10790 / SEC rapport 22.04.001****Herbeoordeling gebiedsverbod rond vuurtoren
Lange Jaap****Buildings, Infrastructure &
Maritime**Stieltjesweg 1
2628 CK DELFT
Postbus 155
2600 AD DELFT

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

Datum	29 april 2022
Auteur(s)	[redacted] (TNO) [redacted] (Spelt Engineering & Contracting BV)
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	15 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnaam	Lange Jaap - deel 3
Projectnummer	TNO 060.53045, SEC 22.04.001

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Analyse drone-inspectie	5
2.1	Algemeen.....	5
2.2	Beoordeling scheurgroei.....	5
2.3	Conclusie van de analyse van de drone-inspectie	9
3	Analyse effecten windbelasting	10
4	Vernieuwd advies ten aanzien van het gebiedsverbod	12
5	Ter beschikking gestelde documenten	14
6	Ondertekening	15

1 Inleiding

Vanwege geconstateerde schades in de vuurtoren te Huisduinen, gemeente Den Helder (Lange Jaap) is vanaf oktober 2021 een algeheel toegangs- en gebiedsverbod ingesteld ter plaatse van de vuurtoren.

Begin 2022 hebben Spelt Engineering & Contracting B.V. (SEC) en TNO een onderzoek uitgevoerd inzake de mogelijkheden tot behoud van de vuurtoren (TNO-rapport 2022 R10129/ SEC-rapport 22.01.001 [01]). Onderdeel van dat onderzoek was ook om na te gaan of er mogelijkheden waren voor het opheffen van het toegangs- en gebiedsverbod. Op basis van dat onderzoek is toen aangegeven dat het gebiedsverbod kan worden opgeschort of opgeheven als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- *Wij adviseren periodieke inspecties uit te voeren binnenin de vuurtoren, waarvan ten minste de eerste wordt uitgevoerd met een camera geïnstalleerd op een drone. De drone-inspectie betekent dat er geen personen in de vuurtoren hoeven te zijn. Een eerder uitgevoerde proef van een drone-inspectie in de vuurtoren van Scheveningen toont aan dat dit mogelijk is. De eerste voorwaarde is dat deze inspecties geen of nauwelijks groei van de scheuren in het lijf van de buitenwand laten zien.*
- *De tweede voorwaarde is dat de windsnelheid lager is dan die waarbij een trekkracht in de schacht optreedt. Die windsnelheid kan rekenkundig worden bepaald. Voor de weg die aan de noordwestzijde langs de vuurtoren loopt, geldt deze voorwaarde enkel voor wind uit oostelijke richtingen, met als veilige grens een richting tussen 30 en 210 graden.*
- *Bij geconstateerde groei van de scheuren of bij hogere windsnelheden kan het gebiedsverbod niet worden opgeheven.*
- *Benadrukt wordt dat de bovengenoemde voorwaarden voor opheffing van het gebieds- en toegangsverbod gebaseerd zijn op een risico-inschatting.*
- *Het toegangsverbod tot de toren kan vervolgens worden opgeheven nadat de looproute veilig is gemaakt.*

Naar aanleiding van dit advies heeft Rijkswaterstaat de volgende werkzaamheden laten uitvoeren:

- Een drone-inspectie van de scheuren in het lijf van de buitenwand van de vuurtoren. Dit is uitgevoerd door Nebest en vastgelegd in hun rapport “*Inspectie Lange Jaap Huisduinen – Drone-inspectie scheuren*”, rapportnummer P51511 d.d. 28 februari 2022 [02].
- Een berekening van de spanningen in de vuurtoren bij diverse windbelastingen. Deze berekening is uitgevoerd door PT Structural design & analysis en vastgelegd in hun rapport “*RWS Scheurvorming vuurtoren Lange Jaap Kijkduin, Den Helder*” rapportnummer 202212-01 d.d. 4 februari 2022 [03]. Aanvullend hieraan zijn twee memo’s opgesteld met daarin de resultaten van berekeningen bij een windsnelheid van respectievelijk 29,5 m/s [04] en 20 m/s [05].

In opdracht van Rijkswaterstaat hebben SEC en TNO (in het vervolg van dit rapport afgekort met SEC/TNO) de bovengenoemde documenten beoordeeld en op basis daarvan een vernieuwd advies opgesteld ten aanzien van het gebiedsverbod rond de vuurtoren.

De resultaten van het uitgevoerde onderzoek zijn vastgelegd in de onderhavige rapportage. Eerst geeft hoofdstuk 2 een analyse van de resultaten van de drone-inspectie. Daarna geeft hoofdstuk 3 een analyse van de berekening van de vuurtoren onder een windbelasting. Tot slot geeft hoofdstuk 4 het vernieuwde advies ten aanzien van het gebiedsverbod.

2 Analyse drone-inspectie

2.1 Algemeen

De drone-inspectie is uitgevoerd door Nebest op 15 februari 2022 en vastgelegd in hun rapport "Inspectie Lange Jaap Huisduinen – Drone-inspectie scheuren", rapportnummer P51511 d.d. 28 februari 2022 [02].

Voor de codering van de schade is gebruik gemaakt van de eerder door Nebest gebruikte codering, zoals die is vastgelegd in rapport "*Inspectie Lange Jaap Huisduinen*" rapportnummer 42212 d.d. 21 september 2021 [06]. In het vervolg van dit rapport wordt deze inspectie van Nebest aangeduid met "nulopname".

In rapport [02] is aangegeven dat bij de drone-inspectie 20 door Rijkswaterstaat geselecteerde hotspots zijn beoordeeld op scheurgroei (tabel 2.1). Tevens zijn enkele gebieden onderzocht op nieuwe scheuren.

Tabel 2.1: Overzicht van de 20 beoordeelde hotspots [02] (de groen gemarkeerde hotspots zijn aanvullend op de "kritische" scheuren.)

Code gebrek	Niveau	Ring	Elementcode	Locatie	Lengte		Opmerkingen
V-202106-006	17	1	D	Links	45	mm	Steun onder raam
V-202106-091	16	3	J	Rechtsboven	40	mm	Loopt door in het lijf
V-202106-223	15	4	MN	Linksboven	400	mm	
V-202106-196	15	2	KL	Links	95	mm	
V-202109-529	13	4	GH	Boven	120	mm	
V-202109-537	13	4	KL	Boven	160	mm	
V-202109-471	13	1	C	Rechts	530	mm	
V-202109-2155	12	4	EF	Midden gevel	510	mm	
V-202109-2163	12	4	IJ	Bout 1 van (13)J	200	mm	
V-202109-2230	10	1	N	Paneel	540	Mm	Verticaal langs de flens
V-202109-682	9	4	IJ	Paneel	530	mm	Loopt door in paneel
V-202109-688	9	4	PA	Onder	75	mm	In paneel
V-202109-670	9	3	L	Paneel	70	mm	
V-202109-2349	8	1	O	Paneel	130	mm	Onder raam
V-202109-2463	6	4	HI	Boven midden	110	mm	
V-202109-784	5	2	DE	Boven	65	mm	Via boutgaten
V-202109-806	4	2	FG	Linksboven	105	mm	
V-202109-831	3	4	GH	Paneel	860	mm	
V-202109-847	2	4	PA	Paneel	135	mm	Loopt door in paneel
V-202109-879	1	4	CD	Paneel	140	mm	

Ten behoeve van de analyse van de resultaten van de drone-inspectie zijn de drone-opnamen en de daarvan gemaakte foto's beschikbaar gesteld aan SEC/TNO. De tijdens de nulopname in 2021 gemaakte foto's van de schades zijn reeds in een eerder stadium beschikbaar gesteld aan SEC/TNO.

2.2 Beoordeling scheurgroei

In de rapportage van Nebest [02] zijn de resultaten van de drone-inspectie vergeleken met de aftekening van de scheuren zoals die tijdens de nulopname door Nebest op het binnenoppervlak van de wand van de vuurtoren was aangebracht. Om na te gaan of er sinds de nulopname verandering (groei) van de scheuren is opgetreden, is het naar het oordeel van SEC/TNO niet voldoende om de aftekening aangebracht tijdens de nulmeting als referentie te nemen, omdat die aftekening onvolkomenheden kan bevatten. Om deze reden heeft SEC/TNO ook de foto's gebruikt die tijdens de nulopname in 2021 zijn gemaakt, om te controleren of de scheuren in de tijd zijn veranderd.

Voor 16 van de beoordeelde hotspots geldt dat Nebest heeft geconcludeerd dat de drone-inspectie geen verandering van de scheur te zien heeft gegeven. Dit wordt, voor zover de kwaliteit van de foto's dit toelaat, door SEC/TNO onderschreven.

Hierbij dient het volgende te worden vermeld:

- De beeldkwaliteit van sommige opnamen (onscherpte) of ongunstige compositie van de foto (vanuit te schuine beeld hoek vastgelegd) bemoeilijkt de beoordeling van de scheuruitbreiding.
- Op enkele foto's van de drone inspectie is het einde van de scheur tot aan de scheurtip niet waarneembaar vastgelegd op foto. Echter, voorbij het gemarkeerde uiteinde van de scheur is geen scheurindicatie in de coating waargenomen.

Een overzicht van deze 16 hotspots is weergegeven in tabel 2.1, waarin tevens is aangegeven welke foto's door SEC/TNO zijn gebruikt voor een vergelijking van de situatie in 2021 met die in 2022. De specificatie van die foto's is op basis van het door Nebest gegeven nummer van die foto's.

Tabel 2.1: Hotspots waarvan zowel Nebest als SEC/TNO hebben geconcludeerd dat de drone-inspectie geen verandering van de scheur te zien heeft gegeven

Gebrek code	Nivo	Ring	Elementcode	Omvang 2021	Foto's die zijn gebruikt voor een vergelijking	
					Nulopname in 2021	Drone-inspectie in 2022
V-202106-006	17	1	D	45	6720	206
V-202106-091	16	3	J	40	6904	200
V-202106-196	15	2	KL	95	7085	185
V-202109-537	13	4	KL	160	8467	143
V-202109-471	13	1	C	530	8314	133
V-202109-2155	12	4	EF	510	4191	115
V-202109-2163	12	4	IJ	200	4206	111
V-202109-2230	10	1	N	540	4348	99
V-202109-688	9	4	PA	75	8811	77
V-202109-670	9	3	L	70	8770	64
V-202109-2349	8	1	O	130	4590	60
V-202109-784	5	2	DE	65	9016	43
V-202109-806	4	2	FG	105	9061	36
V-202109-831	3	4	GH	860	9117	26/29
V-202109-847	2	4	PA	135	9150	24
V-202109-879	1	4	CD	140	9225	19

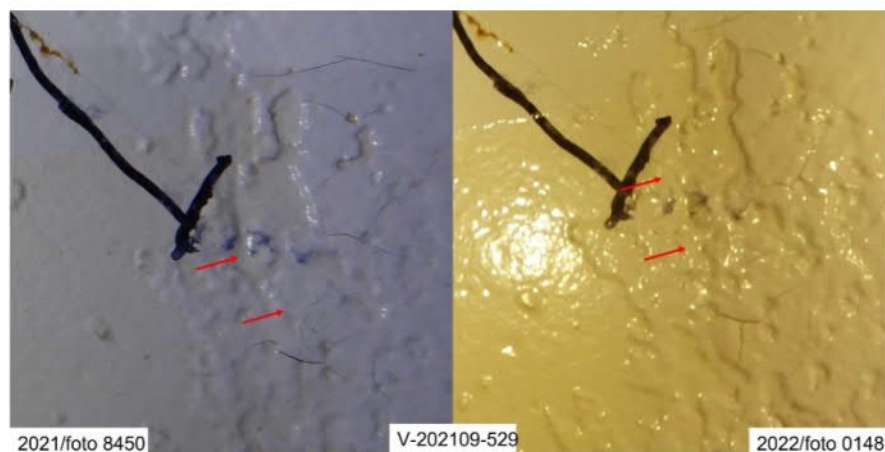
Voor de volgende schades komt SEC/TNO, op basis van een vergelijking van de huidige situatie met die tijdens de nulopname, tot een conclusie die afwijkt van de conclusie van Nebest:

- Schade V-202106-223: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat de geschatte groei ligt tussen 0-5 mm. SEC/TNO is van oordeel dat de foto's van de nulinspectie en van de drone-inspectie onvoldoende duidelijk van elkaar verschillen om te kunnen concluderen dat er sprake is van scheurgroei (figuur 2.1).
- Schade V-202109-529: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat de geschatte groei ligt tussen 0-35 mm. SEC/TNO is van oordeel dat er geen sprake is van scheurgroei. De door Nebest aangegeven verlenging van de scheur, ten opzichte van de aftekening op het oppervlak, was reeds te zien op de foto die tijdens de nulopname is genomen (figuur 2.2).

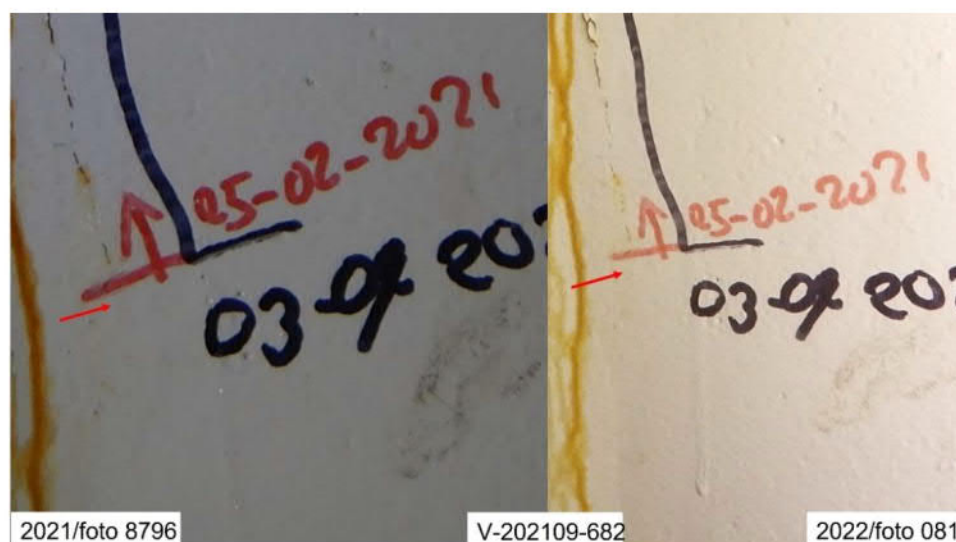
- Schade V-202109-682: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat de geschatte groei ligt tussen 0-5 mm. SEC/TNO is van oordeel dat de foto's van de nulinspectie en van de drone-inspectie onvoldoende duidelijk van elkaar verschillen om te kunnen concluderen dat er sprake is van scheurgroei (figuur 2.3).
- Schade V-202109-2463: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat de geschatte groei ligt tussen 0-5 mm. SEC/TNO is van oordeel dat er geen sprake is van scheurgroei. De door Nebest aangegeven verlenging van de scheur, ten opzichte van de aftekening op het oppervlak, was reeds te zien op de foto die tijdens de nulopname is genomen (figuur 2.4).
- Schade V-202202-888: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat deze 70 mm is gegroeid. SEC/TNO is van oordeel dat er geen sprake is van scheurgroei. Zoals reeds door Nebest is aangegeven was deze scheur al aanwezig ten tijde van de nulopname, maar is die scheur toen niet gerapporteerd. De gerapporteerde verlenging betreft geen daadwerkelijke verlenging, maar de totale lengte van de scheur.
- Schade V-202202-889: Ten aanzien van deze scheur heeft Nebest aangegeven dat deze 70 mm is gegroeid. SEC/TNO is van oordeel dat er geen sprake is van scheurgroei. Door Nebest is aangegeven deze scheur een nieuwe schade betreft naast een bestaande schade. Echter, de betreffende scheur was al zichtbaar op foto's van de nulopname en was ten tijde van de drone-inspectie niet langer geworden (figuur 2.5).



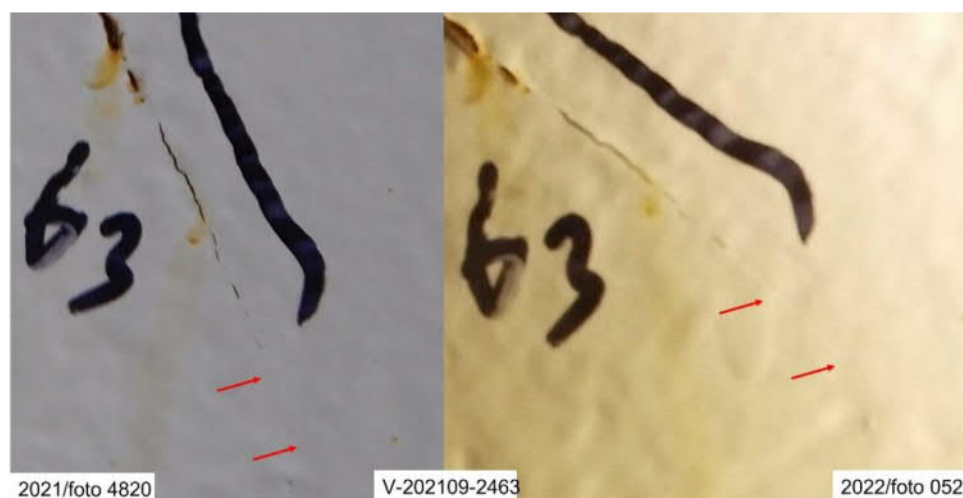
Figuur 2.1: Schade V-202106-223; foto van nulopname (links) en van drone-inspectie (rechts)



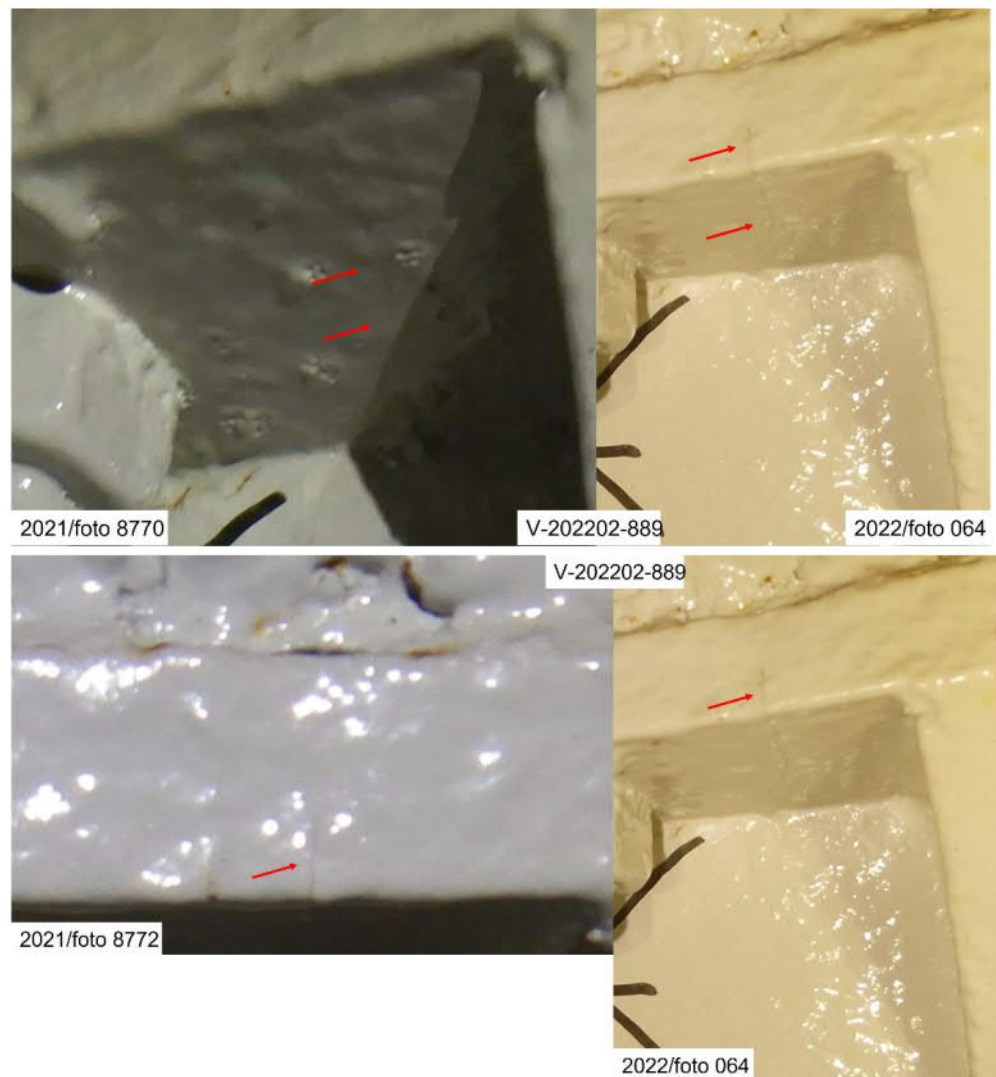
Figuur 2.2: Schade V-202109-529; foto van nulopname (links) en van drone-inspectie (rechts)



Figuur 2.3: Schade V-202109-682; foto van nulopname (links) en van drone-inspectie (rechts)



Figuur 2.4: Schade V-202109-2463; foto van nulopname (links) en van drone-inspectie (rechts)



Figuur 2.5: Schade V-202109-; foto van nulopname (links) en van drone-inspectie (rechts)

2.3 Conclusie van de analyse van de drone-inspectie

Op basis van een analyse van de resultaten van de drone-inspectie is SEC/TNO van oordeel dat er ten tijde van die inspectie geen sprake was van een waarneembare toename van de scheurlengte van de geselecteerde scheuren (de hotspots) en dat er ook geen nieuwe scheuren zijn gevonden.

3 Analyse effecten windbelasting

De berekeningen van de effecten van de windbelasting op de vuurtoren zijn uitgevoerd door PT Structural design & analysis en vastgelegd in hun rapport “*RWS Scheurvorming vuurtoren Lange Jaap Kijkduin, Den Helder*” rapportnummer 202212-01 d.d. 4 februari 2022 [03]. Het doel van de berekeningen was om te bepalen wat de maximale windsnelheid is waarbij er (theoretisch) geen trek optreedt in de buitenwand van de vuurtoren.

De betreffende berekeningen zijn uitgevoerd met een globaal ANSYS FE model van de vuurtoren en een lokaal detailmodel van de verbindingen tussen de wandpanelen. De berekeningen zijn uitgevoerd met windbelastingen conform de norm NEN-EN 1991-1-4, waarbij is uitgegaan van basiswindsnelheden (10 minuten gemiddelde windsnelheid op 10 m boven vlak terrein). Er zijn geen partiele factoren in rekening gebracht, omdat het geen berekening is van het moment van bezwijken van de vuurtoren, maar een beoordeling of de verbinding op trek wordt belast en er hierdoor mogelijk een uitbreiding van schade kan optreden. Er is nog een grote marge aanwezig tussen het optreden van trek in de mantel, het vervolgens op trek bezwijken van de bouten en tot slot het bereiken van het kantelpunt van de vuurtoren.

De resultaten van de uitgevoerde berekeningen zijn weergegeven in het bovengenoemde rapport [03] en in twee aanvullende memo's met plots van de verticale- en omtrekspanning voor de situatie zonder scheur, maar met ramen. Het ene memo heeft betrekking op een basiswindsnelheid van 29,5 m/s [04] en het andere memo op een basiswindsnelheid van 20 m/s [05].

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt het volgende:

- Bij een basiswindsnelheid van 29,5 m/s worden trekkrachten berekend in de horizontale voegen tussen de panelen van de vuurtoren en aan de bovenzijde. Tevens worden piekspanningen (trek) berekend in de hoeken van de ramen.
- Bij een basiswindsnelheid van 20 m/s worden geen trekkrachten berekend in de horizontale voegen tussen de panelen van de vuurtoren. Wel worden bij deze windsnelheid zeer lokale piekspanningen (trek) berekend in de hoeken van de ramen.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat er tot een windsnelheid van 20 m/s geen trekkracht in de schacht van de vuurtoren optreedt. Indien deze windsnelheid wordt gekoppeld aan de schaal van Beaufort (tabel 3.1) betekent het voorgaande dat tot windkracht 9 geen trekkracht in de schacht van de vuurtoren optreedt.

Tabel 3.1: Schaal van Beaufort (bron: KNMI)

Kracht*	Benaming	Windgemiddelde snelheid over 10 minuten (km/u)	Windgemiddelde snelheid over 10 minuten (m/sec)
0	stil	0-1	0-0,2
1	zwak	1-5	0,3-1,5
2	zwak	6-11	1,6-3,3
3	matig	12-19	3,4-5,4
4	matig	20-28	5,5-7,9
5	vrij krachtig	29-38	8,0-10,7
6	krachtig	39-49	10,8-13,8
7	hard	50-61	13,9-17,1
8	stormachtig	62-74	17,2-20,7
9	storm	75-88	20,8-24,4
10	zware storm	89-102	24,5-28,4
11	zeer zware storm	103-117	28,5-32,6
12	orkaan	>117	>32,6

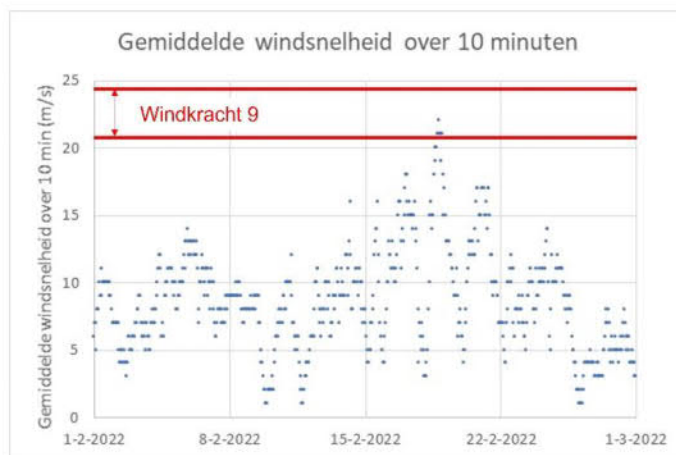
4 Vernieuwd advies ten aanzien van het gebiedsverbod

Begin 2022 heeft SEC/TNO geconcludeerd dat het gebiedsverbod kan worden opgeschort of opgeheven als wordt voldaan aan een tweetal voorwaarden [01].

De eerste voorwaarde was dat een drone-inspectie geen of nauwelijks groei van de scheuren in het lijf van de buitenwand laat zien. Deze inspectie is uitgevoerd op 15 februari 2022 met behulp van een drone. Op basis van een analyse van de resultaten van die drone-inspectie is SEC/TNO van oordeel dat er ten tijde van die inspectie geen sprake was van een waarneembare verlenging van de beoordeelde scheuren (de hotspots) en dat er ook geen nieuwe scheuren zijn gevonden. Hieruit wordt geconcludeerd dat aan de eerste voorwaarde wordt voldaan.

De tweede voorwaarde was dat de windsnelheid lager is dan die waarbij een trekkracht in de schacht optreedt. Ten behoeve van deze tweede voorwaarde zijn berekeningen gemaakt naar de invloed van de wind op de vuurtoren. Uit die berekeningen blijkt dat tot een windsnelheid van 20 m/s geen trekkracht in de schacht ontstaat. Hieruit wordt geconcludeerd dat tot een windsnelheid van 20 m/s aan de tweede voorwaarde wordt voldaan. Dat komt overeen met een windkracht tot 9 Beaufort.

In aanvulling op het voorgaande geldt dat recent, op 18 februari 2022, daadwerkelijk sprake is geweest van een storm met windkracht 9 (figuur 4.1). De vuurtoren heeft deze storm doorstaan.



Figuur 4.1: Windsnelheid weerstation De Kooy; gemiddeld over de laatste 10 minuten van het afgelopen uur (bron: KNMI)

Op basis van het bovenstaande adviseert SEC/TNO om het gebiedsverbod op te heffen, met uitzondering voor de perioden waarin sprake is van windkracht 9 of hoger. Voor de perioden waarin sprake is van een windkracht 9 of hoger, wordt geadviseerd om een tijdelijk gebiedsverbod in te stellen. Voor de weg die aan de noordwestzijde langs de vuurtoren loopt, geldt deze voorwaarde enkel voor wind uit oostelijke richtingen, met als veilige grens een richting tussen 30 en 210 graden.

Aanvullend hieraan adviseert SEC/TNO het volgende:

- Veilig maken van de looproute in de vuurtoren. Omdat op dit moment onvoldoende zicht is op de toestand van de aansluiting van de vloeren op de wanden wordt geadviseerd om deze werkzaamheden in de toren uitsluitend uit te voeren bij een relatief lage windbelasting op de vuurtoren (geen toegang voor personen bij een windkracht 5 Beaufort of hoger).
- Opheffen van het toegangsverbod tot de vuurtoren, nadat de looproute veilig is gemaakt. Ook hiervoor wordt geadviseerd om vooralsnog geen toegang tot de vuurtoren toe te staan bij een windkracht 5 Beaufort of hoger.
- Verbeteren van de zichtbaarheid en nauwkeurig vastleggen van de scheuren en scheuruiteinden ter plaatse van de hotspots. Geadviseerd wordt om dit te doen aan de hand van nieuwe overzichtsfoto's van de hotspots en detailfoto's van de uiteinden van de scheuren. Deze foto's dienen loodrecht op het wandoppervlak genomen te worden met een voldoende hoge resolutie om de scheurtip waar te nemen.
- Halfjaarlijks, en na elke storm van windkracht 9 Beaufort of hoger, inspecteren van in ieder geval de hotspots op eventuele scheuruitbreiding. Als daarbij duidelijke scheuruitbreiding wordt waargenomen, dient de veiligheid van de vuurtoren opnieuw beoordeeld te worden.
- Opstellen van een draaiboek voor het nemen van een besluit voor het geval van een tijdelijk gebiedsverbod bij windkracht 9 Beaufort en hoger en voor het realiseren van de daarvoor benodigde afzettingen.

5 Ter beschikking gestelde documenten

[01] TNO-rapport 2022R10129/ SEC-rapport 22.01.001 "Inventarisatie van de mogelijkheden voor het behoud van vuurtoren Lange Jaap" d.d. 21 januari 2022.

[02] Nebest-rapport P51511 "Inspectie Lange Jaap Huisduinen – Drone-inspectie scheuren" d.d. 28 februari 2022.

[03] PT Structural design & analysis rapport 202212-01 "RWS Scheurvorming vuurtoren Lange Jaap Kijkduin, Den Helder" d.d. 4 februari 2022.

[04] PT Structural design & analysis memo met plots van de verticale- en omtrekspanning voor de situatie zonder scheur, maar met ramen, bij een basiswindsnelheid van 29,5 m/s. Dit memo is getiteld "Model 20220122" en is op 22 januari 2022 per email beschikbaar gesteld.

[05] PT Structural design & analysis memo met plots van de verticale- en omtrekspanning voor de situatie zonder scheur, maar met ramen, bij een basiswindsnelheid van 20 m/s. Dit memo is getiteld "Memo 001 20220407" en is op 7 april 2022 per email beschikbaar gesteld.

[06] Nebest-rapport 42212 "Inspectie Lange Jaap Huisduinen" d.d. 21 september 2021.

6 Ondertekening

Delft, april 2022



Auteur



Auteur



Project Manager



Research Manager Structural Reliability