



RAPPORT 2007127-080425-2235

Vergelijking van meetmethoden voor de stabiliteit van lichtmasten

<i>Datum</i>	25 april 2008
<i>Auteur(s)</i>	Willem Souren Michael Gan
<i>Versie</i>	1
<i>Aantal pagina's</i>	16
<i>Klant</i>	Gemeente Breda

All rights reserved.

No parts of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm, or any other means without the previous written consent of Lightweight Structures B.V..

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the Standard Conditions for Research Instructions given to Lightweight Structures B.V., or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Beschrijvingen van methodieken.....	4
2.1	Roch-Services stabiliteitskeuring.....	4
2.2	Roch-Services beoordelingscategorieën	5
2.3	Rei-Lux meetmethode	7
2.4	Rei-Lux beoordelingscategorieën	10
2.5	HMH-Prüftechnik testmethode	10
2.6	HMH-Prüftechnik beoordelingscategorieën	12
3	Overzicht enkele aspecten	13
4	Bronvermelding	16

1 Inleiding

Dit rapport geeft een overzicht van de wijze waarop drie partijen de stabiliteit van lichtmasten bepalen: Roch-Services, Rei-Lux en HMM-Prüftechnik. Een beknopte beschrijving van hun meetmethoden wordt gegeven, evenals een overzicht van de door hen toegepaste beoordelingscriteria. Vervolgens wordt in tabelvorm voor alle partijen een beschrijving gegeven van de wijze waarop bepaalde aspecten van de stabiliteitsmeting (bijvoorbeeld meetinstrument, aangrijpingspunt van de belasting, etc.) worden ingevuld.

Om dit rapport op te kunnen stellen, zijn gesprekken gevoerd met de drie partijen en is literatuur over deze methoden geraadpleegd. Een overzicht van de geraadpleegde literatuur wordt gegeven in hoofdstuk 4.

2 Beschrijvingen van methodieken

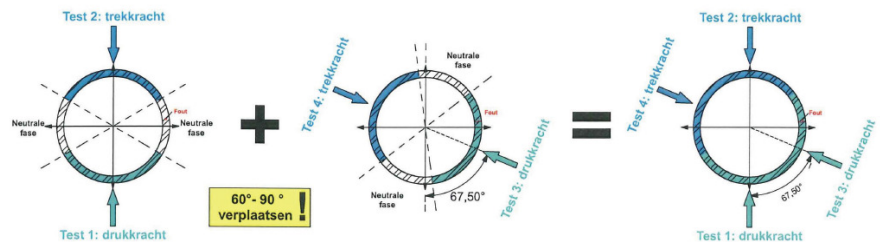
2.1 Roch-Services stabiliteitskeuring

Met behulp van een op een rupsvoertuig gemonteerde hydraulische cilinder (zie Figuur 1) wordt op een hoogte van ca. 1.8 – 2.0 m boven het maaiveld een geleidelijk toenemende kracht op de mast aangebracht, waardoor een buigend moment in de mast wordt opgewekt. Tegelijkertijd wordt op een ander punt van de mast de verplaatsing gemeten m.b.v een separaat mechanisch meetinstrument.



Figuur 1: Roch-Services opstelling

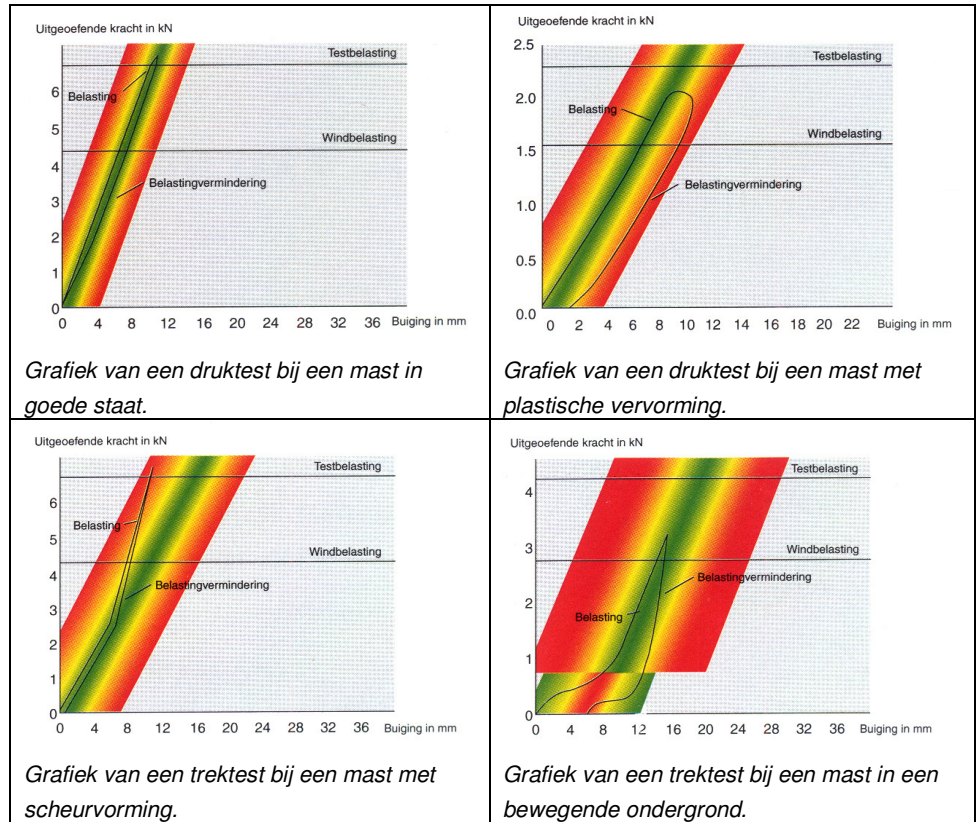
De mast wordt zowel op trek als op druk belast. Deze test wordt in twee richtingen uitgevoerd (de hoek tussen de richtingen moet volgens Roch Services tussen de 60° en 90° liggen), waarmee wordt uitgesloten dat defecten die zich op de neutrale lijn bevinden (van een test in slechts één richting) niet worden gemeten. Zie Figuur 2 waarin de testprocedure is weergegeven.



Figuur 2: Roch services test procedure

Het resultaat van de meting levert per belastingsgeval een grafiek op (in totaal dus vier grafieken per mast), waarbij de uitgeoefende kracht wordt uitgezet tegen de gemeten verplaatsing. Uit de waarden en de vorm van de grafieken wordt afgeleid

in welke staat de mast (inclusief fundatie/grondtoestand) zich bevindt. In Figuur 3 zijn enkele karakteristieke voorbeelden van deze grafieken weergegeven.



Figuur 3: Voorbeelden van testresultaten

2.2 Roch-Services beoordelingscategorieën

Voor de mastbeoordeling hanteert Roch Services de volgende categorieën (tekst afkomstig van Roch):

STABIEL:

- Code 1: Het mastsysteem voldoet aan de testspecificaties van de stabiliteitskeuring.
- Het mastsysteem heeft de testbelasting bereikt. De fundering van de mast is goedgekeurd. Aan de mast werd geen plastische vervorming vastgesteld die op een overschrijding van de elasticiteitsgrens van het materiaal duidt.
- Wij raden aan, conform het oordeel en de ervaringsgegevens van materiaaldeskundigen, statistici en gebruikers binnen 6 jaar opnieuw een keuring uit te voeren.

BEPERKT STABIEL:

- Code 2a: Het mastsysteem voldoet beperkt aan de testspecificaties van de stabiliteitskeuring.
Het mastsysteem heeft de windbelasting conform EN 40 bereikt, maar niet de testbelasting. Vanwege de geconstateerde mastconstructie en de overige aanbouwdelen kon de testbelasting niet bereikt worden zonder het mastsysteem te overbelasten.
Wij raden aan, conform het oordeel en de ervaringsgegevens van materiaaldeskundigen, statistici en gebruikers de mastconstructie te wijzigen of de aanbouwdelen te verwijderen.
- Code 2b: Het mastsysteem voldoet beperkt aan de testspecificaties van de stabiliteitskeuring.
Het mastsysteem heeft de windbelasting conform EN 40 bereikt, maar niet de testbelasting. Vanwege de aanwezige funderingsomstandigheden kon de mast niet de testbelasting bereiken. Het mastsysteem heeft ondanks de ontoereikende funderingsomstandigheden de windbelasting conform EN 40 inclusief een veiligheidstoetslag van 10% opgenomen zonder de elasticiteitsgrens van het materiaal te overschrijden.
Wij raden aan, conform het oordeel en de ervaringsgegevens van materiaaldeskundigen, statistici en gebruikers binnen 2 jaar na ontvangst van het testverslag maatregelen ter verbetering van de fundering te treffen. Het mastsysteem moet na afloop van deze werkzaamheden worden gecontroleerd.
- Code 2c: Het mastsysteem voldoet beperkt aan de testspecificaties van de stabiliteitskeuring.
Aan het mastsysteem werden opvallende materiaaldefecten zoals gaten of scheuren geconstateerd, die op het moment van de test de stabiliteit niet negatief beïnvloedden. Deze defecten kunnen leiden tot steeds grotere schade, waardoor de stabiliteit in gevaar komt.
Wij raden aan, conform het oordeel en de ervaringsgegevens van materiaaldeskundigen, statistici en gebruikers de mast binnen 6 maanden na ontvangst van het testverslag te vervangen.

NIET STABIEL:

- Code 3: Het mastsysteem voldoet niet aan de meetspecificaties van de stabiliteitsmeting.
Het mastsysteem heeft de windbelasting conform EN 40 niet bereikt. Vanwege ontoereikende funderingsomstandigheden van het mastsysteem is geen sprake van stabiliteit.
De exploitant is hiervan in kennis gesteld.
- Code 4: Het mastsysteem voldoet niet aan de meetspecificaties van de stabiliteitsmeting.
Het mastsysteem heeft de windbelasting conform EN 40 bereikt, maar niet de testbelasting. Er is een plastische vervorming vastgesteld, omdat de elasticiteitsgrens van het materiaal bereikt werd. Vanwege een materiaaldefect is van stabiliteit van het mastsysteem geen sprake.
Wij raden aan de mast na ontvangst van het testverslag binnen 2 maanden te vervangen.

Code 5: Het mastsysteem voldoet niet aan de testspecificaties van de stabiliteitskeuring.
Het mastsysteem loopt acuut gevaar van omvallen. Het mastsysteem kon de windbelasting conform EN 40 niet opnemen, omdat de elasticiteitsgrens van het materiaal bereikt werd. Van stabiliteit is geen sprake.
De exploitant is hiervan onmiddellijk in kennis gesteld en de mast is in afwachting van de komst van de exploitant verzekerd.

2.3 Rei-Lux meetmethode

Statische 3D-meting:

Met behulp van een op een lichte verrijdbare opstelling gemonteerde hydraulische cilinder (zie Figuur 4) wordt handmatig een stapsgewijs toenemende drukkracht aangebracht op de mast. Hierbij wordt de mast door middel van een gordel op maaiveldhoogte verbonden met de verrijdbare opstelling. Door gebruik te maken van de gordel, wordt voorkomen dat de fundatie van de lichtmast overmatig wordt belast, cq. scheef gedrukt. Tegelijkertijd wordt de verplaatsing in alle richtingen drie dimensionaal door middel van twee boven elkaar geplaatste lasers (op 0.2 en 1.8 m hoogte) separaat gemeten. Omdat de meting drie dimensionaal is, behoeft de mast slechts in één richting te worden belast en hoeft er alleen bij drukbelasting gemeten te worden. De hoogte waarop de kracht aangrijpt kan afhankelijk van het type testapparaat variëren van 1 m, 1,5 m en 2 m. De belasting kan desgewenst verdeeld over twee punten aangebracht worden om de lokale belasting op de mast te reduceren.

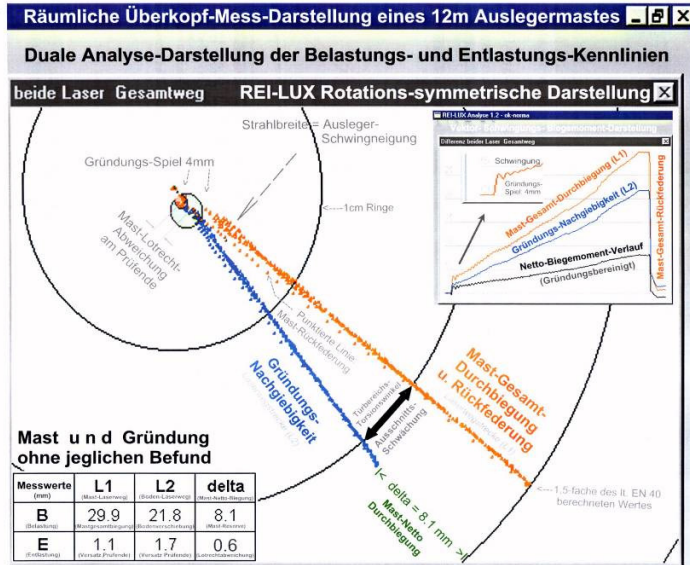


Figuur 4: Rei-Lux opstelling

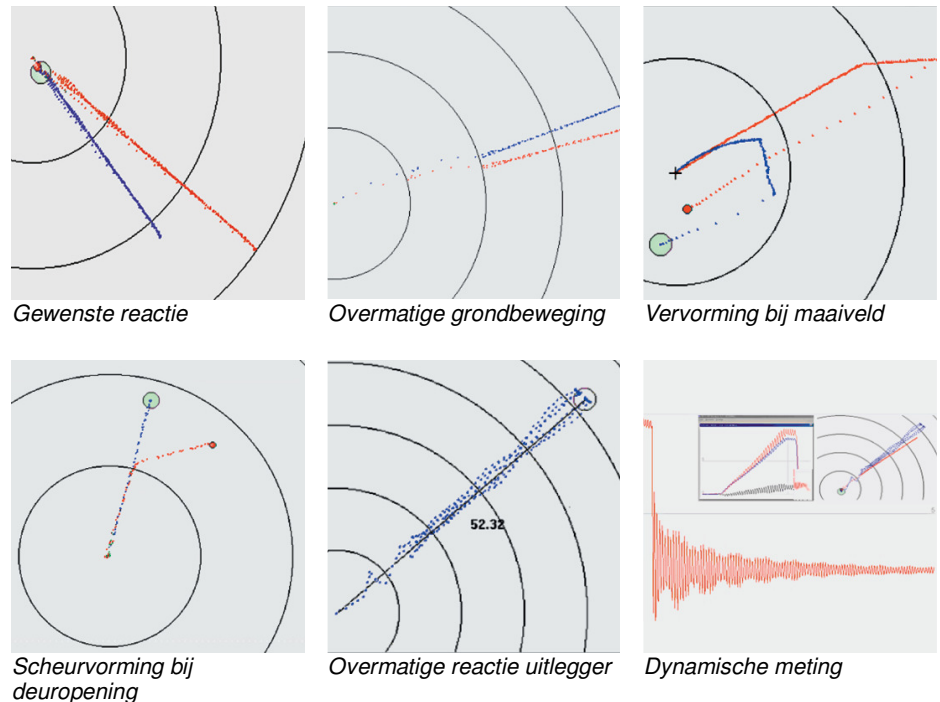
Het resultaat van de meting levert een grafiek op, waarbij de stapsgewijs gemeten verplaatsingen van de twee meetpunten in het horizontale vlak worden geplot (zie Figuur 5). De concentrische cirkels in de grafieken dienen als schaal aanduiding en bevinden zich standaard 1 cm uit elkaar. Uit de waarden en de vorm van de grafieken wordt afgeleid in welke staat de mast zich bevindt. Hierbij kunnen

grondeffecten worden gescheiden van mastvervorming. In Figuur 6 zijn enkele typische voorbeelden van meetresultaten weergegeven.

Erläuterung der Rotations-symmetrischen und der Vektor-Schwingungs-Biegemoment-Darstellung



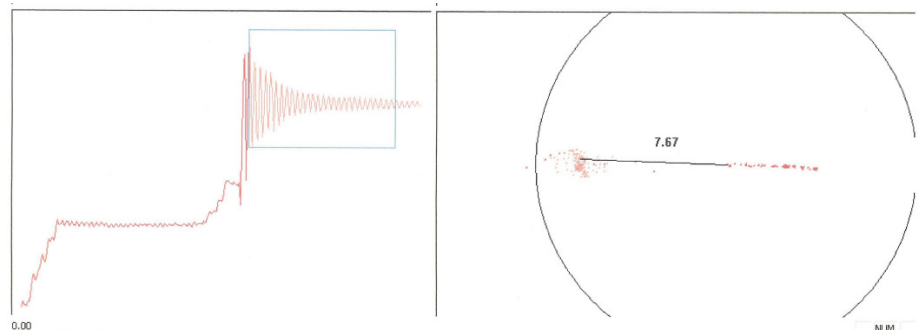
Figuur 5: Door de via het Rei-Lux systeem gegenereerde figuren worden de uitslagen van de meetpunten in het horizontale vlak (bovenaanzicht) getoond. De blauwe punten geven het verloop van de onderste laser weer en de oranje punten van de bovenste laser.



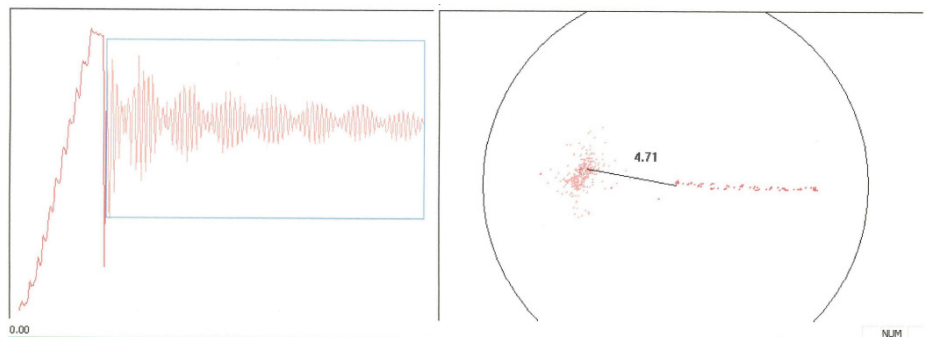
Figuur 6: Voorbeelden van meetresultaten

Dynamische 3D-meting:

Door het handmatig stapsgewijs aanbrengen van de belasting bij de statische meting wordt feitelijk ook een dynamische meting (a) verricht. Daarnaast wordt een tweede meting (b) uitgevoerd, waarbij de belasting tot slechts 30% van de drukbelasting van de statische meting wordt opgevoerd. Die belasting wordt daarna in één keer weggenomen en vervolgens wordt het trillingsgedrag geregistreerd. Hierbij wordt de respons (resonantie en trillingsdemping) beoordeeld, waarbij defecten die zich boven de meetpunten bevinden of loszittende onderdelen (uithouders, armaturen, etc.) opgespoord worden. In Figuur 7 en Figuur 8 zijn hiervan twee typische voorbeelden gegeven. In de Figuur 7 is het dynamisch gedrag van een mast zonder defecten (boven de meetpunten) of loszittende delen weergegeven, waarbij een karakteristieke snelle trompetvormige trillingsdemping optreedt. In Figuur 8 betreft het een mast waarvan de uithouder buitensporig vervormt, waardoor de trilling van de mast en de uithouder gaan interfereren. Het trillingssignaal vertoont zwevingen, heeft een grotere amplitude en houdt bovendien langer aan.



Figuur 7: Dynamisch gedrag van een mast zonder defecten of loszittende delen



Figuur 8: Dynamisch gedrag van een mast met uithouder die buitensporig vervormt

2.4 Rei-Lux beoordelingscategorieën

De beoordeling van de masten vindt door Rei-Lux plaats volgens een Lichtmastcode en een Fundatiecode:

Lichtmastcode

Code A	De constructie van het mastsysteem is goed bevonden. Aan het mastsysteem werden geen plastische vervorming of scheurvorming vastgesteld die op een overschrijden van de elasticiteitsgrens van het materiaal duiden. Het mastsysteem voldoet aan de meetspecificatie voor stabiliteit en kan onder normale omstandigheden nog zeker 5 jaar blijven staan.
Code B	Aan het mastsysteem werden gebreken vastgesteld die de stabiliteit van het mastsysteem niet waarborgen. Het mastsysteem dient binnen een periode van 6 maanden verwijderd te worden.
Code C	Tijdens de metingen op het mastsysteem werden plastische vervorming of scheurvorming vastgesteld. Ten gevolge van de materiële tekortkomingen dient het mastsysteem direct verwijderd te worden.

Fundatiecode

Code 0	Fundatie vertoont geen verplaatsing en is stabiel bevonden.
Code 2	Fundatie vertoont enige beweging tijdens de meting echter dienen er geen maatregelen getroffen te worden.
Code 4	Fundatie vertoont duidelijke beweging tijdens de meting of het mastsysteem staat overdadig scheef (meer dan 4°). U dient binnen 6 maanden maatregelen te treffen om de verdichting rondom het mastsysteem te verbeteren dan wel het mastsysteem recht te zetten.
Code 6	Fundatie is dermate zwak dat u binnen 6 weken maatregelen dient te treffen om de verdichting rondom het mastsysteem te verbeteren.

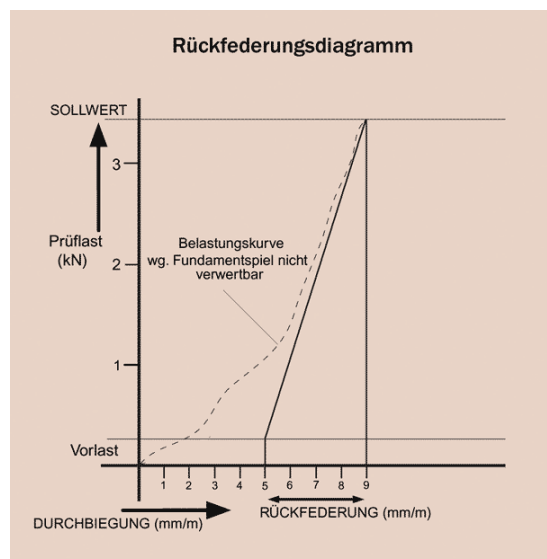
2.5 HMH-Prüftechnik testmethode

Met behulp van een op een bestelbusje gemonteerde opstelling (zie Figuur 9) worden een drukkracht en (desgewenst) een trekkracht aangebracht op de mast. De drukkracht wordt met een hydraulische cilinder aangebracht en de trekkracht wordt met een kabel aangebracht. De drukkracht en trekkracht worden onder twee verschillende hoeken (70-80° verschoven) uitgevoerd vanaf één positie van het busje. De belasting wordt op een hoogte van 2.1 m aangebracht. De verplaatsing wordt gemeten met een verplaatsingsmeter die verbonden is aan de opstelling die de kracht aanbrengt. De verplaatsing kan eventueel ook d.m.v. een verplaatsingsmeter op een losse driepoot worden gemeten. Bij de meting wordt eerst een voorbelasting aangebracht, daarna wordt de proeflast (1.5 maal de EN40 windlast) aangebracht en tenslotte wordt de belasting weer verminderd tot de voorbelasting om de terugvering te meten.



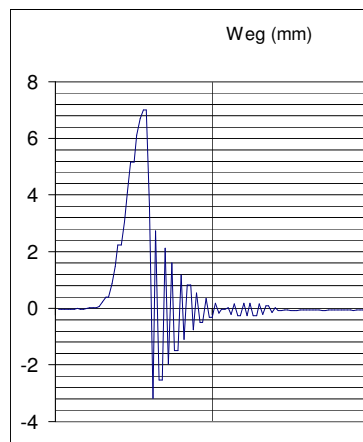
Figuur 9: HMH testopstelling

Het resultaat van de meting levert (per belastingsgeval) een grafiek op, aangeduid als terugveringsdiagram, waarbij de uitgeoefende kracht wordt uitgezet tegen de gemeten relatieve verplaatsing (mm verplaatsing per meter mastlengte), zie Figuur 10. Uit de waarden en de vorm van de grafiek wordt afgeleid in welke staat de mast zich bevindt. Per type mast wordt empirisch een gemiddelde doorbuiging bepaald waarmee afwijkende masten eruit gehaald kunnen worden. Met behulp van de gemeten terugvering t.o.v. de totale verplaatsing kan de beweging van de bodem worden bepaald.



Figuur 10: Door het HMH-systeem gegenereerd terugveringsdiagram

Ook kan een dynamische meting worden uitgevoerd waarbij de mast een gedefinieerde verplaatsing krijgt opgelegd m.b.v. de meetopstelling en daarna wordt losgelaten. De respons (trilling en uitdemping) kan in een grafiek geregistreerd worden, zie Figuur 11. HMM is van mening dat deze meting alleen zin heeft als de mast relatief star aan de bodem is verbonden. Bij een zachte bodem is de demping zo groot dat geen goede beoordeling op grond van een dynamische meting mogelijk is, aldus HMM.



Figuur 11: Trillingsmeting bij vast verbinding aan de bodem van de mast

2.6 HMM-Prüftechnik beoordelingscategorieën

De beoordeling van de masten vindt door HMM plaats in drie categorieën:

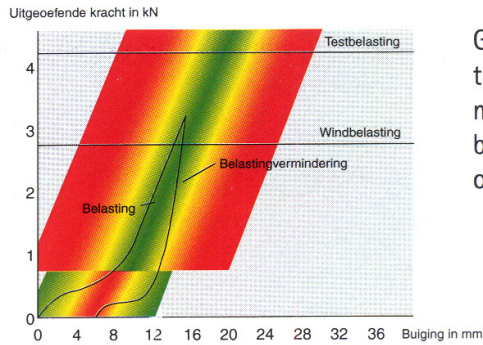
- A. Mast onmiddellijk vervangen of zekeren (de gemeten sterkte ligt onder EN40 windbelasting)
- B. Mast is 6 maanden stabiel (de gemeten sterkte ligt boven de EN40 windbelasting, maar de proefbelasting is niet bereikt)
- C. Mast is 5 jaar stabiel (mast is met 1,5 maal de EN40 windbelasting belast; terugvering binnen het bereik van de empirisch bepaalde gemiddelde doorbuiging van de mast)

Uitspraken over de bodemgesteldheid kunnen desgewenst kwantitatief onderbouwd gedaan worden. Uitspraken over de dynamische meting zijn alleen zinvol bij een relatief starre verbinding aan de bodem.

3 Overzicht enkele aspecten

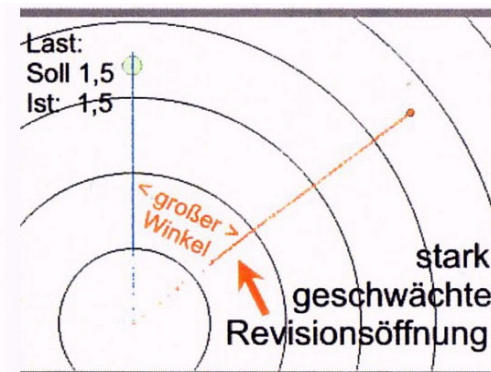
Aspect	Roch-Services	Rei-Lux	HMH-Prüftechnik
Meetinstrument	Relatief zwaar (t.b.v. stabiliteit tijdens aanbrengen van belasting) rupsvoertuig met hydraulische cilinder en geïntegreerde data-acquisitie. Separate mechanische verplaatsingsmeter met één meetpunt op de mast.	Lichte (80 kg) verrijdbare opstelling met hydraulische cilinder en geïntegreerde data-acquisitie. Twee separate optische lasers met twee meetpunten op de mast.	Bestelbusje met daarop gemonteerde opstelling met hydraulische cilinder en trekkabel en geïntegreerde data-acquisitie. Mechanische verplaatsingsmeter (vast aan de opstelling of separaat) met één meetpunt op de mast.
Aangrijpingspunt van de belasting	De belasting wordt door het rupsvoertuig aangebracht op een hoogte van 1,8 - 2 m	Afhankelijk van het type meetopstelling kan de belasting aangebracht worden op een hoogte van 1.0 m, 1.5 m of 2 m. De belasting kan ook over twee punten verdeeld aangebracht worden.	De belasting wordt aangebracht op een hoogte van 2.1 m.
Windbelasting	Een buigend moment wordt aangebracht dat minstens gelijk is aan de ontwerpbelasting (windbelasting plus veiligheidsfactor) volgens de EN40 normen.	Een buigend moment wordt aangebracht dat opgevoerd kan worden tot 1.5 maal de windbelasting volgens de EN40 normen.	Een buigend moment wordt aangebracht dat opgevoerd wordt tot 1.5 maal de windbelasting volgens de EN 40 normen.
Buigingsaspecten	Worden gemeten door het combineren van trekken aan en drukken tegen de mast in twee richtingen (60° - 90° verdraaid) op een hoogte van 1.8 - 2 m boven het maaiveld.	Worden gemeten door duwen in één richting op een bepaalde hoogte boven het maaiveld en het fixeren met behulp van een gordel om de mast op maaiveldhoogte. Daarnaast wordt een dynamische meting uitgevoerd.	Worden gemeten door duwen tegen en desgewenst trekken aan de mast in twee richtingen (70°-80° verdraaid) op een bepaalde hoogte boven het maaiveld. Desgewenst kan een dynamische meting worden uitgevoerd.

Torsieverdraaiing	Wordt indirect gemeten via de buiging in twee richtingen.	Wordt gemeten via de optredende hoek tussen de verplaatsingen van de twee boven elkaar gelegen meetpunten bij belasting, zie Figuur 13.	Wordt indirect gemeten als vergroting van de doorbuiging en kan dan door vergelijking met de gemiddelde waarde geëlimineerd worden.
Grondgesteldheid / fundatie	Wordt integraal meegenomen in de meting en kan kwantitatief bepaald worden uit de grafieken, zie Figuur 12.	Wordt integraal meegenomen in de meting en kan kwantitatief gescheiden worden in grafiek, zie Figuur 14.	Wordt integraal meegenomen in de meting en kan desgewenst kwantitatief gescheiden worden als het verschil tussen de totale doorbuiging en de terugvering, zie Figuur 10.
Armatuur / uithouderconditie	Wordt bij de stabiliteitsmeting niet gemeten; deze beperkt zich tot de mast. Kan echter wel apart aangeboden / uitgevoerd worden.	Wordt door de dynamische meting bepaald.	Kan desgewenst door dynamische meting bepaald worden. Wordt echter minder zinvol geacht bij zachte bodemcondities.
Beoordelingscriteria / interpretatie van metingen	Er is een duidelijke indeling in 5 categorieën in de literatuur beschreven. De interpretatie en indeling vinden plaats vanuit de gemeten grafieken.	Er is een duidelijke indeling in categorieën, 3 voor de lichtmast en 4 voor de fundatie, in de literatuur beschreven. De geleverde meetdata zijn zeer uitvoerig, waardoor specifiek aan te geven is op welke plek degradatie is opgetreden.	Er is een duidelijke indeling in 3 categorieën in de literatuur beschreven voor de beoordeling van de mast. Per type mast wordt empirisch een gemiddelde doorbuiging bepaald waarmee afwijkende masten eruit gehaald kunnen worden. De beoordeling van de grondgesteldheid en de dynamische meting is mogelijk, maar nog niet geformaliseerd.

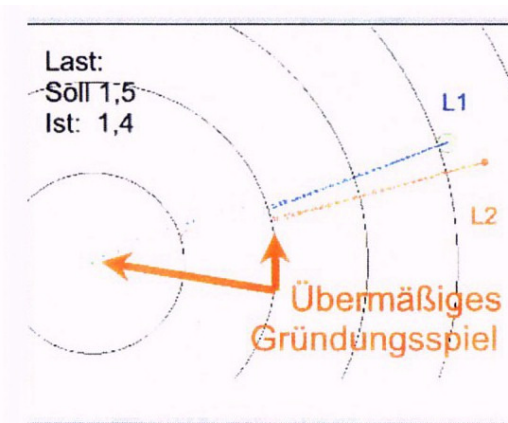


Grafiek van een trektest bij een mast in een bewegende ondergrond

Figuur 12: Een slechte fundatie wordt bij het Roch-Services systeem zichtbaar doordat de mast na het drukken en vervolgens trekken een grote vervorming bij geringe krachtstoename aan de voet van de grafiek vertoont.



Figuur 13: Torsieverdraaiing van de mast wordt bij het Rei-Lux systeem zichtbaar door de hoek tussen de gemeten verplaatsingen van het onderste meetpunt (blauw) en het bovenste (oranje). Hierdoor kan men de torsieweerstand bepalen. In deze plots van Rei-Lux is een bovenaanzicht van de situatie en de verplaatsing te zien.



Figuur 14: Een slechte fundatie wordt bij het Rei-Lux system zichtbaar door een grote verplaatsing van beide meetpunten bij een zeer geringe belastingstoename aan het begin van de meting. Dit uit zich in de grafiek door het beperkte aantal meetpunten in het centrum van de figuur.

4 Bronvermelding

Voor het tot stand komen van deze rapportage is gebruik gemaakt van informatie die is verkregen via telefonische of directe gesprekken die zijn gevoerd met de volgende personen:

- Roch-Services: Oliver Roch, Alex Kaptein
- Rei-Lux: Rüdiger Westphal, Robert Haring, Daniel Mutricy (Petitjean)
- HMM-Prüftechnik: Johannes Habrichs

Daarnaast is de volgende literatuur geraadpleegd:

- [1] Rei-Lux brochure – 3D-Standsicherheits-Messung
- [2] Rei-Lux brochure – Kommerzielle und technische Referenzen
- [3] www.reilux.nl
- [4] <http://www.rei-lux.de/dienstleistungen/3dstandsicherheitsmessung/index.php>
- [5] Drie dossiermappen van Roch-Services, waarin o.a. opgenomen:
 - Commerciële productbrochure
 - Presentatiesheets
 - Voorbeelden van testresultaten
 - Meetgegevens
- [6] Roch-Services GmbH, Standsicherheits-Prüfungen nach dem Rochverfahren, Prüfverfahren
- [7] Roch-Services Nederland, Stabilitätskeuring DIN 18800
- [8] Roch-Services, Stabilitätskeuringen volgens de Roch-methode
- [9] www.roch-services.nl
- [10] www.roch-services.de/rochverfahren.html
- [11] Roch-services voorbeeldrapport: Muster-Prüfbericht 2007_NLD.doc
- [12] www.hmh-prueftechnik.de
- [13] Urkunde über die Erteilung des Patents Nr. 19932084 – Verfahren zum Prüfen der Biegefestigkeit eines Mastes sowie Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, Patentinhaber Habrichs, Johannes, 12 – 07 – 1999
- [14] HMM Prüftechnik GmbH, Die technischen Vorteile des HMM – Windlast – Simulations – Verfahren