Ein Mast bei Oberägeri, der in der Nacht vom 2. auf den 3. März 2016 von einer Westwind-Bö geknickt wurde.

Bild: WWZ

Standsicherheit von Kandelabern und Masten

Sicherungspflicht, Stand der Technik und Wirtschaftlichkeit | Strommasten bergen die Gefahr, dass sie umfallen und dabei zu Verletzungen oder Sachschäden führen können. Jeder Betreiber von Masten – von Lichtsignalanlagen, Beleuchtungs-, Flutlicht- bis zu Holzmasten – muss daher dafür sorgen, dass die potenziellen Gefahren, soweit technisch möglich, minimiert werden.

FABIAN WESPI

Mit konventionellen Messmethoden ist eine objektive und ganzheitliche Beurteilung von Masten nicht möglich. Mit einem objektiven und wissenschaftlich basierten Messsystem können dagegen detaillierte Aussagen über den Schädigungsgrad und die notwendigen Sanierungsmassnahmen schnell und zuverlässig getroffen werden.

Prüfpflicht in der Schweiz

Betreiber von Masten jeder Art haben gegenüber Dritten beträchtliche, nicht zu unterschätzende Sicherungspflichten. Diese Pflichten sind in diversen Gesetzen, Verordnungen und Weisungen beschrieben.

Für öffentliche Beleuchtungsanlagen beschreibt die ESTI-Weisung 244 die Aufgaben eines Betreibers und gibt verbindliche Vorgaben in Bezug auf die Kontrolle und die Instandhaltung von Beleuchtungsanlagen für Strassen und öffentliche Plätze. Diese Weisung weist darauf hin, welche Gesetze und Verordnungen u. a. zu beachten sind:

- Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (EleG; SR 734.0);

- Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung; SR 734.2);
- Verordnung über elektrische Leitungen (LeV; SR 734.31).

In Anbetracht dieser Gesetze und Verordnungen sind die Beleuchtungsanlagen im Wesentlichen den gleichen Vorgaben unterstellt wie die Masten von Stromleitungen. Die Kontrollen durch die Betreiber der Beleuchtungsanlagen sind nach Art. 18 Starkstromverordnung mindestens alle fünf Jahre durchzuführen. Die ESTI-Weisung 244 schreibt zudem vor, bei der periodischen Kontrolle zu prüfen, ob im Bereich der Anlagen sicherheitsmindernde Veränderungen eingetreten sind. Dies können sichtbare oder unsichtbare Veränderungen sein, welche die Standsicherheit mindern (Korrosion, beschädigtes Fundament, ausgewaschener Sand, zu wenig verdichtetes Erdreich nach Bauarbeiten etc.). Die Kontrollberichte sind gemäss Art. 19 Starkstromverordnung mindestens zwei Kontrollperioden lang aufzubewahren und auf Verlangen der Kontrollstelle vorzuweisen. Die Kontrollmethode bezüglich der Standsicherheit ist nicht vorgegeben. Jedoch ist es wichtig, dass die eingesetzte Methode zur Überprüfung der Standsicherheit eine verlässliche Aussage zur Trag- und Lagesicherheit geben kann. Dies ist auch mit dem Hintergrund der Werkeigentümerhaftung nach Art. 58 OR (SR 220) zu betrachten, womit sich Eigentümer und Betreiber vor rechtlichen Konsequenzen schützen. Die Standsicherheit als Oberbegriff für Trag- und Lagesicherheit ist in der EN 1993-1 (früher DIN 18800-1) definiert. Die Tragsicherheit bezieht sich auf die Dimensionierung des zu beurteilenden Mastes und berücksichtigt alle jeweiligen Lasten. Die Lagesicherheit bezieht sich im Wesentlichen auf die versagungsfreie Gründung.

Stand der Technik der Messmethodik

Durch die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte haben sich auch die Verfahren zur Überprüfung der Standsicherheit weiterentwickelt. Zudem sind neue Verfahren hinzugekommen, die bisher unberücksichtigte Normenanforderungen berücksichtigen. Konventionelle Methoden zur Prüfung der Standsicherheit sind in der Regel nicht für eine zuverlässige Beurteilung der Standsicherheit geeignet, da sie nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen.

Eine Schwachstelle im Erdreich führte zum Kippen des Kandelabers.

Bei Holzmasten wird die Standsicherheit manchmal per Klopfmethode geprüft. Schädigungen im oberen Bereich des Mastes können damit aber nicht erkannt werden. Bei Holzmasten kann die Klopfprüfung, also das Anschlagen des Holzmastes mit der Hand oder einem Hammer mit anschliessender Beurteilung des Klangkörpers, nicht mehr als geeignet angesehen werden, denn diese Methode bleibt auch bei einem geübten Prüfer immer subjektiv und auf das individuelle Gehör des Prüfenden abgestellt. Drittpersonen werden keinen Klangvergleich mit dem Vorprüfer vornehmen können. Eine reproduzierbare Wiederholungsmessung gibt es daher nicht.

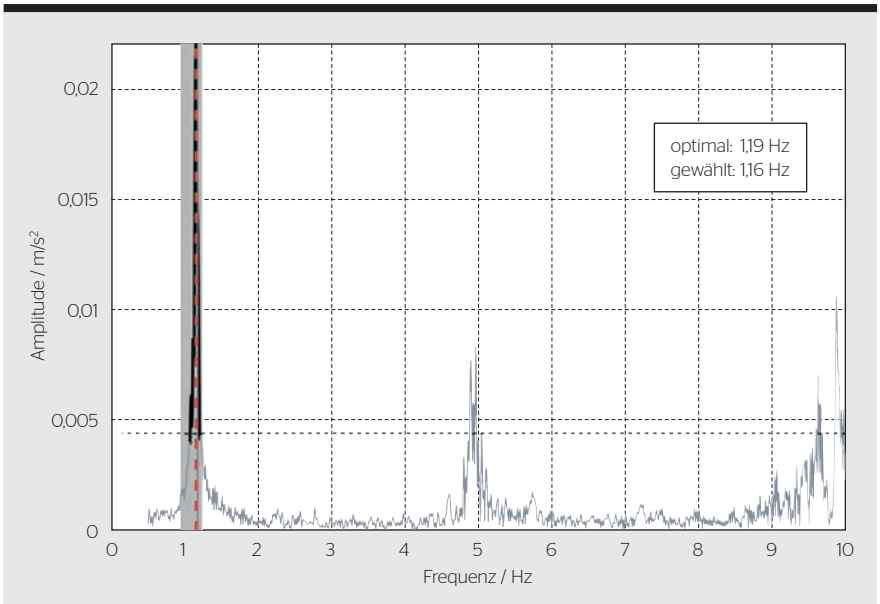
Auch das Anbohren von Holzmasten im kritischen Erdübergangsbereich, um je nach Bohrwiderstand die Qualität des Holzes zu beurteilen, ist nur eine Zufallsbeurteilung. So kann nur für den Bohrbereich eine Aussage über die Qualität des Holzes getroffen werden. Bereits im unmittelbar angrenzenden Bereich kann dagegen eine Faulstelle sein, die nicht erkannt wird, aufgrund deren jedoch der Mast als «schlecht» eingestuft werden müsste.

Bei Metallmasten können diese beiden Methoden nicht angewandt werden. Hier sind verschiedene Messmethoden auf dem Markt, mit denen auf Basis eines Zeit-Weg-Diagramms die Standsicherheit und die Materialprüfung durchgeführt werden können. Allerdings lässt sich damit eine Vorschädigung – vor allem im Gründungsbereich des Mastes – nicht erkennen, die jedoch bei einer nicht individualisierten Prüflast zu einer bleibenden Verformung des Mastes führen kann. Mit der Ultraschallmethode lässt sich der Schädigungsgrad – zum Beispiel durch Korrosion – im Messbereich feststellen. Weniger erfolgreich ist diese Methode jedoch bei der Feststellung der Lagesicherheit (Gründung) und der Materialbeurteilung im oberen Bereich des Mastes. Allfällige Korrosionsschäden beeinflussen die Lagesicherheit nur sekundär. Die Einbindung ins Erdreich wird mit dieser Methode nicht erfasst. Der Mast kann trotzdem kippen. Die Anbauteile verhindern oder schränken den möglichen Messbereich ein. Auch können bei Metallmasten die bisherigen Messsysteme die Vorgaben der vertikalen Verformungsgrenzen von 0,025 w (horizontale Auslegerlänge = Wippeffekt) gemäss DIN EN 40-3-3 nicht erfassen.

Beispiel eines Messsystems nach Stand der Technik

Das Mastap-Messsystem basiert auf der Eigenfrequenzmessung des jeweili-

Bild: SPET



Materialunabhängige Eigenfrequenzmessung eines Mastsystems.

gen Mastsystems. Berücksichtigt werden dabei alle individuellen Konstruktionsmerkmale (z.B. Material, Abmessungen/Gewicht des Mastes und seiner Anbauteile) sowie auch veränderbare Lasten am Mastkopf (z.B. Lampenkoffer, Schilder oder auch die Beseilung bei Masten in der Freileitung). Das Messsystem ist grundsätzlich werkstoffunabhängig und wird derzeit für Holz, Stahl, Aluminium und Betonmasten genutzt.

Die Eigenfrequenz und ihre Aussagekraft

Alle Objekte, also auch freistehende Masten und Kandelaber, welche frei schwingen können, haben ihre spezifische Eigenfrequenz. Diese hängt von der generalisierten Steifigkeit und der generalisierten Masse ab. Die generalisierte Masse ergibt sich durch die Transformation des kontinuierlichen Systems in einen äquivalenten Einmassenschwinger. Dabei sind alle Massen und deren Höhe und Auslenkung relevant. Je höher die Masse am Mast angebracht ist, umso grösser ist ihr Einfluss auf die Eigenfrequenz. Die Beseilung wird im mathematischen Modell mittels Biegefedern abgebildet.

Das Mastap-Messsystem berechnet nach Eingabe der individuellen Mastgeometrie – mit all seinen Anbauteilen – den optimalen statischen Zustand des zu untersuchenden Mastsystems in Abhängigkeit der Umgebungsstrukturen (insbesondere unter Berücksichtigung der standortabhängigen Windlasten gemäss DIN EN 1991-1-4 sowie der Geländekategorien).

Auf dieser Grundlage wird die optimale Eigenfrequenz des jeweiligen Mastes berechnet. Die Messung mit dem Mastap-System ergibt die tatsächliche Eigenfrequenz des Mastes zum Zeitpunkt der Messung. Aus der Abweichung der berechneten und der gemessenen Eigenfrequenz wird der jeweilige Schädigungsgrad des Mastes ermittelt.

Die etwaige Beeinträchtigung der Standsicherheit wird durch einen iterativen statischen Vergleich von Tausenden unterschiedlichen Schadensbildern vorgenommen, bis die gemessene Eigenfrequenz mit der berechneten Eigenfrequenz nahezu übereinstimmt.

Damit ist der Schaden des gesamten Mastsystems beurteilt und kann ober- und unterirdischen Schäden zugeordnet werden.

Die ermittelte Standsicherheitsqualität bestimmt automatisch das neue Inspektionsintervall. Dieses wird in enger Anlehnung an die in der DIN 1076 (Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken) dargelegten Prüfintervalle festgelegt.

Aufgrund der genauen Messung ermöglicht dies zudem eine Lebensdauerprognose und die Ableitung von Handlungsanweisungen für notwendige Sanierungsmassnahmen.

Wirtschaftlichkeit

Wenn mit dem Mastap-Messsystem die Standsicherheit objektiv und ganzheitlich hinsichtlich der Lage- und Tragfähigkeit beurteilt werden kann, lässt sich auch durch Mehrfachmessungen die Schädigungsgeschwindigkeit und die Lebensdauer des jeweiligen Mastes prognostizieren. Das ist die Grundlage für weitere Überlegungen: Ist es gegebenenfalls erforderlich, Wartungsarbeiten regelmässig durchzuführen? Wäre die Beobachtung des Netzes und dessen Entwicklung möglicherweise für Budget-Entscheidungen ausreichend? Könnte so nicht auch der Sicherheitspuffer reduziert werden, da das Versagungsrisiko belastbar vorhergesagt und gesteuert werden kann? Lassen sich dadurch auch die eingesetzten Arbeits- und Materialressourcen deutlich reduzieren? Diese Überlegungen führen zu einem neuen Blick auf die Kosten und Investitionsentscheidungen – und u. U. zu einem reduzierten und damit wirtschaftlicheren Einsatz von Arbeit und Material. So ergeben sich aus den objektiven technischen Aussagen neue technische und wirtschaftliche Möglichkeiten für die Netzbetreiber.

Autor
Fabian Wespi ist Geschäftsführer der SPET.
→ Schweizer Prüfstelle für Elektrotragwerke GmbH
3703 Aeschi bei Spiez
→ fabian.wespi@spet.ch

Bild: SPET