



Bundesnetzagentur

# Untersuchungsbericht

über die Versorgungsstörungen im Netzgebiet des  
RWE im Münsterland vom 25.11.2005

durch die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,  
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Bonn, Juni 2006



## **Inhaltsübersicht**

Zusammenfassung	5
Ausgangslage	7
Schadensabfolge und Wiederinbetriebnahme	8
Untersuchungsumfang der Bundesnetzagentur	12
Vergabe eines Gutachtens	13
Ziel des Gutachtens	13
Ausschreibungsinhalte für das Gutachten	14
Beauftragung des Gutachters	16
Auswahl der Prüfstücke	16
Untersuchungsumfang, -chronologie	17
Ergebnisse verschiedener Gutachten und Berichte	18
Gutachten Deutscher Wetterdienst	18
Gutachten RWE	20
Gutachten der BAM	22
Stellungnahmen zum BAM-Gutachten von RWE und der Energieaufsicht des Landes NRW	32
Weitere Betrachtungen der Bundesnetzagentur	33
Lastannahme	33
Seil-Durchhangberechnungen	33
Normen für den Freileitungsbau	34
Situation der Stadtwerke im Münsterland	37
Weitere Maßnahmen (bei Vereisung und Schneeansatz)	39
Die wirtschaftlichen Fakten	39
Berichte über weitere wetterbedingte Stromausfälle	40
Niederlande	40
Belgien	40
Untersuchung TÜV Süd	41
Stahlgittermasten aus Thomasstahl bei anderen Netzbetreibern	42
Schlussfolgerungen	43
Wettersituation	43
Berücksichtigung von Wettersituationen im Netzbetrieb	43

Verfügbarkeit von Störfallmaterial	43
Netzaudit durch TÜV	44
Normung des Freileitungsbaus	44
Thomasstahl-Masten	45
Mastsanierung	46
Vorgaben für die Berichterstattung und Verhaltensweisen bei Großstörungen	46
Eigene Vorsorge	46
Anlagen:	47
1. Kurzgutachten RWE – Prof. Dr. Thierauf	47
2. Gutachten der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)	47
3. Abkürzungsverzeichnis	47

## Zusammenfassung

Die extreme Wettersituation hat für das Hochspannungsnetz im Münsterland ungewöhnliche Belastungen gebracht. Zu der Schadenssituation im Münsterland ist es nur gekommen, weil mehrere Schadensauslöser gleichzeitig aufgetreten sind.

Diese waren:

1. starker Wind (bis Orkanstärke), der das Anbacken des Schnees erst ermöglichte und der auch Staudruck auf die Leiterseile brachte
2. extreme Mengen an Schneefall
3. Temperaturen um 0 Grad Celsius
4. sehr nasser Schnee, mit hohem spezifischem Gewicht
5. einsetzender Regen, der die Schnee- und Eiswalzen weiter beschwerte
6. einseitige Belastung der Abspannfelder, die auf Abspannmasten torsionsauslösend wirkten
7. Windrichtung senkrecht zur Trassenführung
8. einzelne Leiterseile, die in sich drehbar sind und das Anwachsen auf allen Seiten ermöglichen

Diese Faktoren haben die Masten deutlich stärker beansprucht, als es die Errichtungsnorm von den Masten fordert. Die geforderten Normwerte wurden von den Freileitungen erfüllt.

Es wurde keinerlei Korrosion gefunden, so dass keine Mängel in Instandhaltung und Wartung erkennbar waren.

Als Lehre aus dem Großstörfall sollten Maßnahmen im Bereich der Normung erfolgen. Da es bereits vergleichbare Schäden in den letzten 25 Jahren gegeben hat, kann von einem Jahrhundertereignis nicht mehr gesprochen werden. Die Frage der anzusetzenden Zusatzlasten für Wind und Eis sowie die Zuordnung der Gebiete in Deutschland zu den anzusetzenden Eislastzonen sollten neu geregelt werden. Wesentlicher Diskussionspunkt muss die Frage des Bestandsschutzes der Norm sein, da Änderungen der Norm sich nur auf zukünftigen Neubau beziehen und somit eine verschwindend geringe Wirkung besitzen. Es ist zu definieren, in welcher Weise insbesondere bei Sanierungsmaßnahmen neuere Erkenntnisse auch auf alte Masten anzuwenden sind. Hier sind die normsetzenden Gremien des VDE / DKE gefordert, sehr schnell aktiv zu werden.

Die Bundesnetzagentur hält auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen verschiedener Institute (SAG, TESSAG, MPA NRW und BAM) eine Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit durch Thomasstahl für möglich und eine Sanierung im Rahmen wirtschaftlich zumutbarer Programme für notwendig. Bei Ansatz der gutachterlich gefundenen Wahrscheinlichkeiten der Minderung der Belastbarkeit der Bauteile kann es dazu führen, dass die Masten die Errichtungsnormen nicht mehr erfüllen. Das Sanierungskonzept des RWE scheint grundsätzlich geeignet, sollte allerdings beschleunigt werden. Die Sanierung von Thomasstahl-Masten sollte im Rahmen der wirtschaftlichen Zumutbarkeit

eine bundesweite Aufgabe sein. Die Bundesnetzagentur hat daher mit einer Erörterung dieser Problematik mit weiteren Netzbetreibern begonnen.

Im Rahmen der nachträglichen Bewertung der Maßnahmen zur Schadensbeseitigung haben sich Erkenntnisse ergeben, die sich unter der Überschrift „lessons learned“ als Handlungsempfehlung weitergeben lassen. Hierzu zählen die Verfügbarkeit von Störfallmaterialien, die Kartierung von Notstromaggregaten, der vorbeugende Aufbau von Kommunikationsnetzen und der Austausch von Ansprechpartnern für den Katastrophenfall. Auch die Zertifizierung von Instandhaltungsmaßnahmen ist eine Empfehlung im Rahmen der Vorbeugung zur Absicherung der Versorgungssicherheit.

Eine Erkenntnis aus den Ursachen der Versorgungsstörung im November 2005 ist, dass ein solcher Störfall sich überall erneut ereignen kann.

Die genannten Maßnahmen sind geeignet, die Gefährdung zu mindern, können aber einen Störfall nicht völlig verhindern.

## Ausgangslage

In Rundfunk- und Fernsehsendungen wurde Ende November 2005 von einer besonderen Versorgungsstörung berichtet. In Folge des plötzlich und nur in engem regionalem Rahmen aufgetretenen Winterwetters mit heftigem Schneefall und Sturmböen kam es dazu, dass etliche tausend Menschen im Münsterland ohne Strom waren. Die Versorgungsunterbrechungen begannen in der Nacht von Freitag, dem 25.11.2005, auf Samstag. Die Versorgung war in großen Teilen am Montag noch nicht wieder hergestellt. Diese Versorgungsstörung betraf ungewöhnlich viele Menschen und dauerte unerwartet lange, so dass sich die Frage stellte, ob hier ausreichende Maßnahmen zur Wahrung der Versorgungssicherheit ergriffen worden waren. Der örtlich zuständige Verteilnetzbetreiber, die „RWE Westfalen-Weser-Ems Verteilnetz GmbH“, hat wie in § 13 Abs. 6 i.V.m. § 14 Abs. 1 EnWG vorgeschrieben, die Bundesnetzagentur über den Störfall informiert.

In den folgenden Tagen waren die Zeitungen, Rundfunkberichte und Fernsehmeldungen voll von Informationen zu diesem Thema. Hervorzuheben ist ein Artikel im Nachrichtenmagazin „Der SPIEGEL“, der darüber berichtete, dass den Verantwortlichen des RWE seit vielen Jahren bekannt sei, dass Gitterstahlmasten aus Thomasstahl eine verminderte Standfestigkeit besitzen und daher eine potentielle Gefahr darstellen. Das Auftreten und die Folgen dieser Großstörung seien auf den Thomasstahl zurückzuführen, und daher träfe das RWE die volle Schuld für nicht ausreichende Vorkehrungsmaßnahmen. Zum Ablauf der Störung und zur Wiederherstellung der Versorgung ergeben sich weitere Fragen, die auch über den Einzelfall hinaus und daher auch bezogen auf andere Netzbetreiber, zu beantworten sind.

Im Juli 2005 ist das neue Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) in Kraft getreten. Dieses Gesetz überträgt eine ganze Reihe von Aufgaben der bisherigen Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP), die nun erstmals auch den Energiemarkt zu regulieren hat und seither „Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen“ heißt. §11 EnWG verpflichtet Energienetzbetreiber ein sicheres, zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz zu betreiben, zu warten und bedarfsgerecht auszubauen, soweit dies wirtschaftlich zumutbar ist. Dieses Gesetz schreibt den Netzbetreibern darüber hinaus eine umfangreiche Berichtspflicht vor. Die Überwachung, ob der regionale Verteilnetzbetreiber RWE seiner Verpflichtung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit nachgekommen ist, obliegt der Bundesnetzagentur, so dass hier entsprechende Maßnahmen eingeleitet wurden; insbesondere hat die Bundesnetzagentur von ihrem Recht nach § 69 EnWG Gebrauch gemacht und umfangreiche Informationen und Auskünfte angefordert.

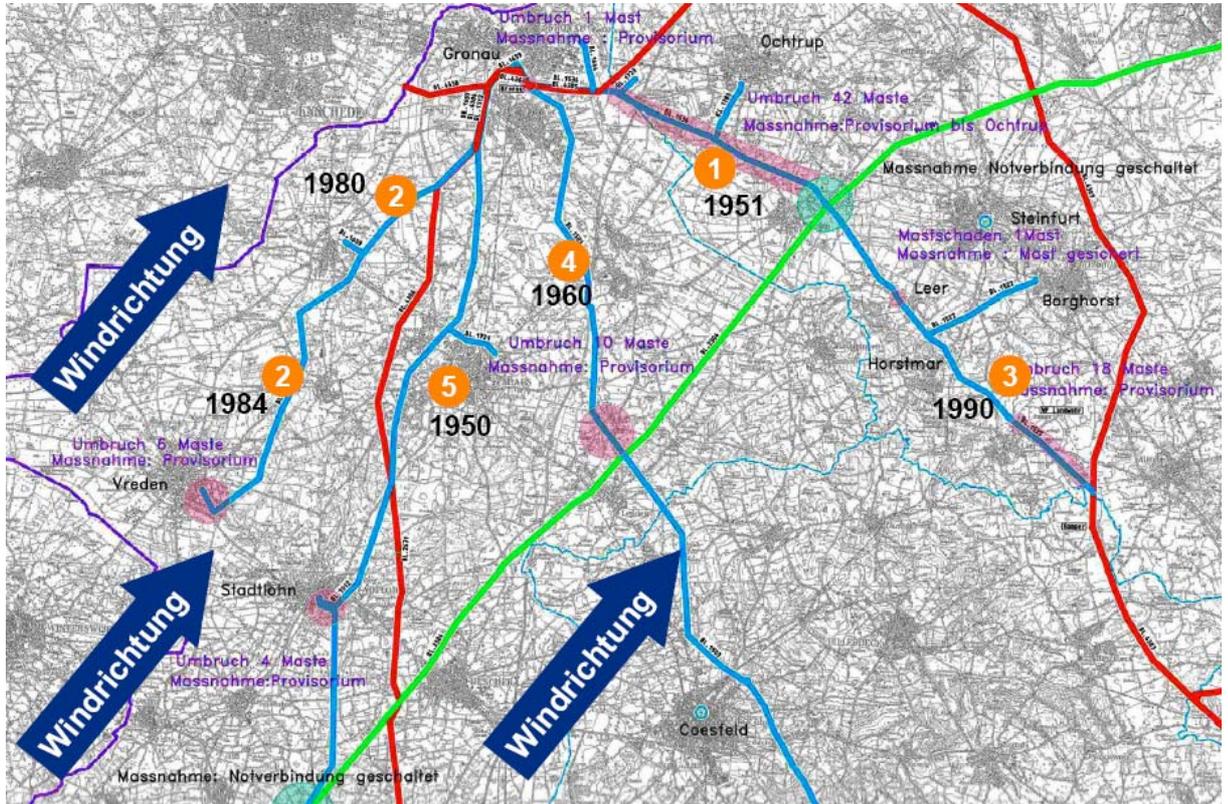
In diesem Bericht stellt die Bundesnetzagentur dar, welchen Fragen sie nachgegangen ist und zu welchen Schlussfolgerungen die Behörde gekommen ist. Die Untersuchungen und der Bericht befassen sich mit den Schäden und dem Zustand des Hochspannungsnetzes (110 kV-Verteilnetz), da die umfangreichen Schäden an den Hochspannungsfreileitungen sowohl maßgeblich für die Dauer des Ausfalles als auch verantwortlich für den großen Umfang des Schadens waren.

## Schadensabfolge und Wiederinbetriebnahme

Am 25./26.11.2005 kam es im nördlichen Münsterland zu einem großflächigen Stromausfall. Die Versorgungsunterbrechungen erstreckten sich vom 25. November 2005 17.25 Uhr bis zum 30. November 2005. Die Störungsübersicht der betroffenen 110kV-Freileitungen:

Leitung Nr.	Strecke	Baujahr	Schadensbeginn:	Schadensende:	Dauer in Std.	Beschädigte Masten: Tragmaste/ Abspannmaste
BL 1536	Gronau - Metelen	1951	25.11. 17:35	30.11. 17:35	46:37	36/6
BL 1661	Alstätte – Vreden	1984	25.11. 18:28	27.11. 17:05	26:55	4/2
BL 1536	Metelen – Roxel	1990/ 91	25.11. 20:36	30.11. 19:49	120:00	17/4
BL 1503 saniert	Gronau - Coesfeld	1960	25.11. 21:35	27.11. 17:51	34:00	kein Mast- schaden
BL 1503 saniert	Gronau - Coesfeld	1960	26.11. 02:26	29.11. 19:34	119:13	8/1
BL 1536	Gronau - Metelen	1951	26.11. 11:47	27.11. 21:47	89:08	0/1
BL 1520	Hervest - Stadtlohn	1950	26.11. 18:47	26.11. 21:42	44:16	3/1
						68/15

Ein Überblick über das betroffene Gebiet und die Verteilung der Schadensstellen. Quelle: RWE – Presseveröffentlichung vom 6.12.2005



rot: 380 kV Leitung  
 grün: 220 kV Leitung  
 blau: 110 kV Leitung  
 rosa schraffierte Flächen: Schadensstellen mit Mastumbrüchen  
 Jahreszahlen: Baujahr der Leitung

BL: Bauleitnummer, dient zum Kennzeichnen der einzelnen Leitungen

Zu den Ausfällen im Einzelnen:

### **Freitag, 25. November**

- Zunächst Ausfall der Versorgung in 25 Gemeinden mit rund 250.000 Einwohnern im westlichen Münsterland.
- Kurzfristige Ausfälle im Raum Osnabrück mit rund 600.000 betroffenen Einwohnern.
- gerissene Seile einer Hochspannungsleitung (BL 1536) stürzen auf die A31 – Sperrungen der Autobahn und Kappung weiterer Leitungen aus Sicherheitsgründen.

### **Sonntag, 27. November**

- Seit den Abendstunden sind große Teile des Münsterlandes und des Kreises Osnabrück wieder voll versorgt.
- In der Nacht zu Montag gelingt es, die Zahl der versorgten Haushalte im Münsterland um weitere rund 30.000 zu erhöhen.
- Wieder komplett angeschlossen an das Stromnetz sind zu diesem Zeitpunkt die Kreise Recklinghausen, Grafschaft Bentheim, Osnabrück, Vechta, Minden-Lübbecke, sowie die Gemeinden Ibbenbüren und Lenggerich im Kreis Steinfurt.

### **Montag, 28. November**

- Die 110-kV-Leitungen Metelen-Laer (BL 1525) und Gronau-Stadtlohn (BL 1512) müssen aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden. Durch den anhaltenden Regen nimmt der Eismantel zusätzliches Wasser auf, das die Last auf den Leitungen weiter erhöht. Die Leitungen senken sich dadurch gefährlich bis in Bodennähe ab. Durch die Abschaltung sind weitere 40.000 Personen in Borghorst und Steinfurt von der Stromversorgung abgeschnitten.
- Mitarbeiter vor Ort befreien die betroffenen Leitungen vom Eis. Bis zu 500 Mitarbeiter des RWE Netzservice und der Bereitschaftsdienste sowie 250 zusätzlich angeforderte externe Monteure sind seit Freitag ununterbrochen im Einsatz, um die Störungen zu beheben.
- Massiver Einsatz von zusätzlichen Notstromaggregaten, um Teile der Versorgung wieder herzustellen.
- Bis zum Abend sinkt die Zahl der nicht versorgten Haushalte im Münsterland von rund 50.000 auf ca. 25.000.

**Dienstag, 29. November:**

- Die Versorgung im Raum Steinfurt konnte in der Nacht wieder aufgenommen werden. Ein gefährdeter Mast wurde stabilisiert.
- Schwerpunkt der Arbeiten ist das Gebiet rund um Ochtrup. Dort wurden den Stadtwerken Notstromaggregate zur Verfügung gestellt, mit denen diese eine provisorische Versorgung ermöglichen. Insgesamt wurden rund 200 Aggregate aus dem gesamten Bundesgebiet im Krisengebiet zusammengezogen.
- Gleichzeitig Wiederaufbau einer komplett neuen Hochspannungsleitung inklusive Masten über die A 31 am Kreuz Gronau.
- Im Laufe des Tages sinkt die Zahl der nicht versorgten Personen unter 20.000.
- Ochtrup ist zu 95 % wieder versorgt

**Mittwoch, 30. November:**

- Noch knapp 2.000 Menschen ohne Strom. Überwiegend in abgelegenen und oft schwer zugänglichen Außenbezirken. Diese werden im Laufe des Tages über weitere Provisorien im Netz in Verbindung mit Notstromaggregaten beliefert.
- Der Bau der 110-kV-Ersatzleitung nach Ochtrup ist bis zum Abend abgeschlossen. Die Querung über die A 31 im Bereich des Autobahnkreuzes Gronau/Ochtrup konnte bereits um 4.30 Uhr am Morgen errichtet werden.
- 450 Netzmonteur arbeiten am sukzessiven Wiederanschluss des Mittel- und Niederspannungsnetzes.

**Donnerstag, 1. Dezember:**

Die Stromversorgung ist weitestgehend wieder hergestellt. In den kommenden Tagen und Wochen findet der Austausch der Provisorien statt. Innerhalb einer Woche wird die Netzkonstruktion für eine komplette Versorgung in allen Spannungsebenen wieder aufgebaut. Diese besteht zum Teil aus Provisorien, der Einsatz von Netzersatzanlagen wie Notstromaggregaten ist jedoch nicht mehr notwendig.

## **Untersuchungsumfang der Bundesnetzagentur**

Die Bundesnetzagentur hat einerseits gezielt Unterlagen ausgewertet, die die Vorwürfe aus dem Artikel des Magazins „Der SPIEGEL“ betreffen. Diese Unterlagen behandeln die Frage, welche Auswirkungen Thomasstahl auf die Standfestigkeit der Stahlgitterstahlmasten hat. Zum anderen waren das BAM-Gutachten und zahllose Informationen Basis der Untersuchung.

Die Untersuchungen, Aussagen und Bewertungen beziehen sich ausschließlich auf das Hochspannungsnetz. Im angestrebten Zeitrahmen wäre eine Ausdehnung des Untersuchungsbereiches auf andere Spannungsebenen nicht umzusetzen gewesen.

Der Umfang der Schäden an den Hochspannungsmasten war so groß, dass für Umfang und Dauer der Versorgungsunterbrechung diese hauptsächlich als Ursache anzusehen sind.

Es darf aber nicht übersehen werden, dass der Schadensumfang in der Mittelspannung beachtlich war. Im Münsterland wurden bei RWE Westfalen-Weser-Ems Verteilnetz GmbH mehr als 400 MS-Masten beschädigt. Darüber hinaus hat es auch MS- und NS-Schäden bei den betroffenen Stadtwerken gegeben.

Um die Situation im Bereich des MS-Netzes besser beurteilen zu können, hat RWE zugesagt, dass über den Mastbestand noch in 2006 ein Zustandsbericht vorgelegt wird, der gegebenenfalls auch konkrete Maßnahmenpläne enthalten wird. Es wird geprüft, ob das TÜV-Netzaudit auf den Bereich des MS-Netzes ausgedehnt werden kann.

## Vergabe eines Gutachtens

Zur Absicherung einer fachlich qualifizierten, neutralen und unbefangenen Aufklärung hat die Bundesnetzagentur zur Untersuchung des Störfalles ein Gutachten vergeben.

### Ziel des Gutachtens

Das Ziel des Gutachtens ist die Analyse der Schadensursache, die zu den großflächigen Stromausfällen im Münsterland am Wochenende des 25./26./27. November 2005 im Hochspannungsnetz der RWE Westfalen-Weser-Ems Verteilernetz GmbH geführt hat. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung der material-technischen und statischen Eigenschaften der umgestürzten bzw. beschädigten Strommasten und auf der Frage, ob schadhaftes Material mitursächlich für die Schadensereignisse war. Folgende Punkte waren dabei insbesondere zu untersuchen:

#### *1. Werkstoffzustand der Masten*

Der Stahl der Strommasten war auf seinen Werkstoffzustand und seine mechanisch-technologischen Eigenschaften hin zu untersuchen. Dabei war zu beantworten, ob der Stahl der geschädigten Masten nach dem Thomas-Verfahren hergestellt worden war, in welchem Umfang die Stahlkonstruktionen der Masten Versprödungen aufwiesen und in welchem Umfang hierdurch eine Minderung der Tragfähigkeit und Belastbarkeit der Maste gegeben war. In wie weit stellte diese eventuelle Materialveränderung eine Ursache der Beschädigungen dar?

#### *2. Analyse des Versagensmechanismus*

Der Versagensmechanismus sollte anhand einer Fraktographie, mittels einer metallographischen Untersuchung und anhand des Korrosionszustandes analysiert werden. Die umgebrochenen Masten wiesen u. a. Torsionen im Kopfbereich auf. Kann aus dem Schadensbild oder anderen Gegebenheiten die Primärversagensstelle benannt werden und daraus ein Ablaufszenario entwickelt werden, so dass auf die Kausalität der Schadensabläufe geschlossen werden kann?

#### *3. Normen und Regeln*

Wurden die jeweils gültigen einschlägigen Normen und Regeln beim Bau der Masten eingehalten? Wäre das Schadensausmaß geringer gewesen, wenn alle Masten den heute gültigen einschlägigen Normen entsprochen hätten? Reichen die geltenden Normen unter Berücksichtigung der aufgetretenen Belastungen aus?

#### *4. Eislastzonen*

Hätte der Ansatz anderer Eislastzonen und Windzonen in der Auslegung das Ausmaß des Schadens verringert oder ihn ganz vermieden?

## Ausschreibungsinhalte für das Gutachten

Im Einzelnen enthielt die Ausschreibung nachfolgende vier Themenschwerpunkte zur Klärung:

### 1. *Werkstoffuntersuchungen*

- Chemische Analyse der Werkstoffe
- Metallographie der Grundwerkstoffe
- Mechanisch technologische Prüfungen (Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Kerbschlagarbeit bei verschiedenen Temperaturen, u. a.) an den Werkstoffen
- Vergleich der Ist-Werkstoffeigenschaften mit den relevanten Regelwerken (Soll)
- ggf. Empfehlung für die Sanierung weiterer Stahlbauten aus diesen Werkstoffen

Dauer: ca. 3 Wochen.

### 2. *Versagensmechanismus*

- Ortstermin zur Besichtigung der abgeknickten Strommasten, Dokumentation, Auswahl und Kennzeichnung der Prüfstücke für Werkstoffuntersuchungen aus vier Strommasten
- Beurteilung des Korrosionszustandes der 9 besichtigten Masten
- Fraktographie (soweit aufgrund der Korrosion seit dem Abknicken noch möglich)
- Metallographie an ca. 10 Bruchkanten
- Feststellen der Primärversagensstelle und des Schadensablaufes. Da zum Zeitpunkt des Ortstermins 20.12.2005 die abgeknickten Strommasten weitgehend demontiert und beseitigt waren, könnte die Primärversagensstelle und das Ablaufszenario nur dann rekonstruiert werden, wenn detaillierte Dokumentationen zum Zustand aller Masten unmittelbar nach dem Abknicken und die Ergebnisse der vorher entnommenen Prüfstücke zur Verfügung gestellt würden.

Dauer: ca. 4 Wochen.

### 3. *Untersuchung von zwei Strommast-Konstruktionen, Vergleich mit Regelwerk VDE 0210*

- Vergleich der verschiedenen Ausgaben der Regelwerke 1950 bis heute
- Statische Berechnung mit den damaligen Lastannahmen und dem damaligen Standardwerkstoff
- Abhängig von den Ergebnissen aus 1.: Statische Berechnung mit den damaligen Lastannahmen unter Berücksichtigung der Ist-Werkstoffkennwerte
- Überprüfung der Konstruktion und Dimensionierung nach heutigem Regelwerk
- Überprüfung der Statik / Dimensionierung / Tragsicherheitsnachweise des Herstellers, Aufstellers/Betreibers

Dauer: ca. 5 Wochen.

#### 4. Analyse der Einwirkungen von Zusatzlasten aus Eis und Wind

- Abschätzung der tatsächlichen Eislasten am Seil, deren Querschnittsform und -größe, Abschätzung der Windlasten, Interaktion Eis mit Wind
- Vergleich mit den in Regelwerken definierten Zonen
- ggf. Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Regelwerke
- Dazu sind alle verfügbaren Dokumentationen der betroffenen Region zu Eis und Wind vom Zeitraum 25. bis 27. Nov. 2005 z. B. vom DWD, RWE, Presseinformationen... erforderlich.

Dauer: ca. 3 Wochen.

#### 5. Ergebnisdarstellung

- Detaillierte Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse, Vorlage des Gutachtens, Präsentation der Ergebnisse in Bonn
- Ggf. Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Regelwerke zur Dimensionierung

Dauer: ca. 2 Wochen nach Abschluss aller Untersuchungen.

#### 6. Experimentelle Ermittlung des realen Tragverhaltens mit Bauteilversuchen (Nachtragsoption)

Da die Möglichkeit besteht, dass sich mit den Untersuchungen 1 bis 4 die Ursache und der Umfang des Versagens der Maste nicht eindeutig klären lässt, sind möglicherweise folgende experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Ziel: Klärung des Schadensmechanismus und -ablaufs; Klärung des Temperatureinflusses der Thomasstahl-Versprödung auf die Belastbarkeit der Masten, Anpassung der Regelwerke und realistischere Bemessung. Auftragserweiterung und Definition des Prüfungsumfanges erfolgten erst im Februar 2006.

- Ermittlung der realen Tragfähigkeit der Masten unter Horizontal-Vertikal-Belastung
- Dazu experimentelle Untersuchung im 1:1 Versuch an Eckstiel/Diagonalverbindungen aus Stählen 1951 und 1960 der Masten M27 und M65
- Aufbringung von Zugbelastungen bis zum Bruch bei 0°C und 20°C
- ca. 16 Versuche am M65 und M22 incl. Vorbereitung  
ggf. ca. 8 weitere Versuche am M22 Bj 1990

Dauer ca. 4 Wochen nach Eingang der Auftragserweiterung

### Beauftragung des Gutachters

Wegen der sofortigen Verfügbarkeit, der vorhandenen fachlichen Qualifikation, des akzeptablen wirtschaftlichen Umfangs und unter besonderer Berücksichtigung der erforderlichen Neutralität wurde die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin (BAM) im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung mit der durchzuführenden Untersuchung beauftragt. Die BAM verfügt technisch über eine modernste Ausstattung, um kompetent alle Fragen untersuchen und beantworten zu können.

### Auswahl der Prüfstücke

#### **Leitung**

<b>BL-Nr.</b>	<b>Mast</b>	<b>Zustand</b>	<b>Prüfstück-Nr.</b>
1503	65	liegend	01, 02, 02A, 02B, 03, 04
1503	66	liegend	
1503	68	stehend	
1503	69	stehend	
1503	73	liegend	10, 11, 12, 13, 14
1536	27	liegend	20, 21
1536	26	stark beschädigt	
1536	22	Schrotthaufen	
1525	22	liegend	30, 31
1525	10	verformt	

Darüber hinaus wurden für die Bauteilversuche weitere Prüfstücke von der BAM bei RWE angefordert.

### Untersuchungsumfang, -chronologie

Die BAM hat am 20.12.2005 in Anwesenheit der Bundesnetzagentur vor Ort in Münsterland die Situation in Augenschein genommen und dabei festgelegt, von welchen Masten welche Probestücke zu entnehmen waren. Darüber hinaus wurden drei Masten vorläufig sichergestellt, für den Fall, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind. Die Schäden der Leitung BL1503 (Gronau - Coesfeld) wurden vollständig und intensiver inspiziert als andere Leitungsabschnitte.

Den zeitlichen Ablauf der Arbeiten der BAM zeigt folgende Übersicht:

25.–27.11.2005	Münsterland	82 Masten beschädigt, größtenteils genickt
19.12.2005	Bonn	Besprechung Bundesnetzagentur, Vorauswahl von 20 Masten
20.12.2005	Ortstermin	11 Masten besichtigt, 15 Prüfstücke gekennzeichnet, teilweise Maste bereits verschrottet
28.12.2005	Berlin	Prüfstückeingang in der BAM
03.01.2006	Berlin	Probenentnahme, Beginn der Untersuchungen
25.01.2006	Bonn	Zwischenbericht bei Bundesnetzagentur
01.02.2006	Dortmund (RWE)	Expertengespräch mit Prof. Dr. Thierauf
11.02.2006	Münsterland	aufgrund der Notwendigkeit Bauteilversuche durchführen zu müssen, werden zusätzliche Proben genommen
20.02.2006	Berlin	Auftragserteilung für optionale Bauteilversuche
03.03.2006	Bonn	Präsentation bisheriger Ergebnisse bei Bundesnetzagentur
16.03.2006	Münsterland	erneut werden Proben genommen, da weitere Bauteilversuche erforderlich sind
28.03.2006	Berlin	Präsentation der gesamten Untersuchungsergebnisse
11.04.2006	Berlin	Fertigstellung des Gutachtens

## Ergebnisse verschiedener Gutachten und Berichte

Insgesamt wurden zum Schadensfall im Münsterland mehrere Gutachten, Untergutachten und Stellungnahmen erstellt. Die Wesentlichsten, welche relevante Aussagen enthalten, sollen hier zusammengefasst dargestellt werden.

### Gutachten Deutscher Wetterdienst

Anlässlich der im Münsterland in Folge der widrigen Witterungsverhältnisse durch das Wittertief „Thorsten“ aufgetretenen Schäden an Freileitungen wurde beim Deutschen Wetterdienst (DWD) ein amtliches Gutachten von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) mit dem Ziel der Abschätzung der auf Freileitungsseile wirkenden Eislasten beauftragt. Weiterhin legt das DWD-Gutachten die charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Eisablagerungsarten und deren Entstehungsbedingungen dar. Das DWD-Gutachten wurde am 23. Januar 2006 fertig gestellt und stellt eine wesentliche Quelle für das Gutachten der BAM im Auftrag der Bundesnetzagentur dar.

Laut DWD kam es am 1. Adventswochenende des Jahres 2005 (25. bis 27.11.2005) unter anderem in weiten Teilen von Nordrhein-Westfalen sowie den grenznahen Gebieten der Niederlande wiederholt zu zeitweise äußerst intensiven Schneefällen in Verbindung mit stürmischen Windböen mit örtlich bis zu 70 km/h (20 m/s, Windstärke 8). Die mittlere Windgeschwindigkeit ist mit bis zu 10 m/s beschrieben.

Aufgrund der anhaltenden hohen Windgeschwindigkeiten und der sich nur knapp über dem Gefrierpunkt bewegenden Temperaturen konnte sich der feuchte Neuschnee besonders gut an den Stromleitungen anlagern.

Der DWD geht davon aus, dass es sich bei den Ablagerungen an den Seilen mit hoher Wahrscheinlichkeit um mehr oder weniger komprimierten Nassschnee handelte. Laut DWD kann von einer Schneewichte von  $2 \text{ kN/m}^3$  und einer Dicke der Schneeablagerung im Bereich zwischen 10 cm und 20 cm Durchmesser (inklusive Kabel) ausgegangen werden. Es ergibt sich bei Ansetzung eines mittleren Durchmessers der Leiterseile von 20 mm für die untere Lastgrenze ein Wert in Höhe von 15,1 N/m.

Die Bestimmung der *maximalen* Schneedichte erfolgte mit Hilfe der in vorhandenen Abbildungen zu erkennenden Ablagerungen. Nachdem es begonnen hatte auf den verdichteten Nassschnee (Packschnee) zu regnen, bildete sich völlig verharschter Altschnee. Er dürfte eine maximale Dichte im unteren Bereich des so genannten Schneesumpfs haben, das bedeutet etwa eine Dichte von  $0,6 \text{ g/cm}^3$ . Dies entspricht einer Wichte von  $5,9 \text{ kN/m}^3$ . Unter Verwendung eines maximalen Durchmessers von 20 cm ergibt sich für die obere Lastgrenze ein rechnerischer Wert von 183,1 N/m.

*Für die Durchführung der bestmöglichen Abschätzung geht der DWD von einer Schneedichte von  $0,3 \text{ g/cm}^3$  aus.*

Dieser Wert wurde angesetzt, da es als am wahrscheinlichsten erschien, dass es sich bei den aufgetretenen Ablagerungen um schweren Packschnee handelte.

Da sich die obigen Angaben zur Dicke der Ablagerungen derart deutlich unterscheiden, wurde die Berechnung des bestmöglichen Schätzwertes inklusive einer Fehlerfortpflanzung nach Gauß durchgeführt. Diese Vorgehensweise trägt dem Umstand Rechnung, dass die Dicke der Ablagerungsmassen entsprechend der meteorologischen Erwartung insbesondere räumlich offensichtlich nennenswert variierte.

Dementsprechend wurde für die Berechnung ein Wert von  $15 \pm 3$  cm angesetzt. Da für die Schneedichte hingegen weder von einer großen Unsicherheit noch von allzu deutlichen räumlichen Schwankungen zum Zeitpunkt der Schadensfälle auszugehen ist, wurde für diesen Parameter ein vergleichsweise geringer Fehler von  $\pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup> angesetzt.

*Somit ergibt sich für die nach den vorliegenden Erkenntnissen bestmögliche Abschätzung der Eislast der Wert  $51,1 \pm 22,5$  N/m (d.h.  $5,2$  kg/m  $\pm$   $2,3$  kg/m, also zwischen  $2,9$  kg/m und  $7,5$  kg/m).*

Sowohl die Streuung der Dichtewerte als auch der Durchmesser der Ablagerungen im Untersuchungsgebiet spiegeln laut DWD die mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgetretene räumliche Inhomogenität der Ablagerungen auf Grund unterschiedlicher meteorologischer, aber auch verschiedener Umgebungsbedingungen wider.

Im Zusammenhang mit den aufgetretenen Witterungsverhältnissen nimmt der DWD in seinem amtlichen Gutachten Stellung zur Vorhersagbarkeit derartiger Witterungsverhältnisse. Zur detaillierten Beurteilung der Vorhersagbarkeit ist es maßgebend, sowohl die Gesamtheit der relevanten meteorologischen Einflussgrößen als auch die Genauigkeitsanforderungen jedes einzelnen Parameters zu kennen. Da diese Informationen nicht vollständig vorliegen, ist laut DWD lediglich eine qualitative Bewertung möglich. Die Prognosegüte der Wetterbewertungen nimmt mit zunehmender Vorlaufzeit ab. Jedoch deutete sich bereits mittelfristig das Ereignis Niederschlag mit einem Gradienten in Höhe von 10mm/12h am 20.11.2005 (Vorhersagezeit von 5 Tagen) an. Es deutete sich der Durchzug einer Kaltfront an und daher wurde für die Nacht von 23.11.05 auf 24.11.05 auch ein Temperaturrückgang prognostiziert, was die Erwartung von Schneefällen nahe legte. Die wesentlichen Auswirkungen der Wetterfront wurden im Mittelgebirgsraum erwartet. Die Vorhersagen des DWD hinsichtlich der Temperatur erwiesen sich im Nachhinein als recht genau. Laut DWD lagen erst am 25.11.2005 früh Informationen von erheblichen Schneemengen bei Temperaturen um 0 Grad Celsius und Sturmböen vor. Möglicherweise ließe sich mit der Methode probabilistischer Vorhersagen (nach Definition exakter Warnkriterien durch DWD und durch Versorgungsunternehmen) ein Vorhersageverfahren aufbauen, das nach Festlegung bestimmter Gütemaße geeignet ist, Netzbetreiber mit mehr als einem Tag Vorlauf auf potentielle Gefährdungen hinzuweisen.

## Gutachten RWE

Auf der Pressekonferenz am 15.02.2006 hat das RWE der Öffentlichkeit das von ihm beauftragte Gutachten von Prof. Dr.-Ing. Georg Thierauf vorgestellt. Die Kurzversion wurde zum Herunterladen auch auf den Internetseiten des RWE verfügbar gemacht. Der Gutachter hat seinerseits weitere Untergutachten zu Einzelfragen eingeholt. So z.B. beim Deutschen Wetterdienst zur Witterungssituation am 25.11.2005 im Münsterland.

Bei der Ermittlung der Schadensursachen geht das Gutachten insbesondere folgenden Punkten nach:

- Entsprechen das Material, die Tragfähigkeit und die Statik der Strommasten den technischen Normen zum **Zeitpunkt der Errichtung**?
- Hat sich aufgrund des Alters der Strommasten und dadurch bedingter Materialermüdungserscheinungen oder anderer Umstände, wie z.B. Korrosion oder durch Stahlversprödung eine Reduktion der Standfestigkeit der Masten ergeben?
- Hätten Masten moderner Bauart, die nach heute gültigen technischen Baubestimmungen errichtet wurden, den Belastungen standgehalten?

Das Gutachten beinhaltet:

- die Untersuchung der Belastungen (Eis, Schnee, Wind) zum Zeitpunkt des Schadens
- die Prüfung der Standsicherheitsnachweise und Nachrechnung repräsentativer Masttypen unter normgemäßer Belastung
- die statisch-konstruktive Prüfung repräsentativer Masttypen unter Ansatz der am Schadenstag vorhandenen Belastung und
- Materialuntersuchungen an geschädigten Masten.

Herr Prof. Dr.-Ing. Georg Thierauf stellt zusammenfassend fest:

„Die Untersuchungen im Rahmen dieses Gutachten zeigen, dass das Versagen der Stahlgitter-Strommasten der 110 kV Hochspannungsleitungen keinesfalls auf eine nicht ordnungsgemäße Beschaffenheit oder nicht ordnungsgemäße Bemessung oder Ausführung der Strommasten zurückzuführen ist.“

Das Gutachten hebt weiterhin hervor, dass infolge der extremen Wetterbedingungen am 25./26.11.2005 an den Starkstromfreileitungen eine außerordentliche Zusatzlast durch Schneeanhaftungen entstand, welche die in den verschiedenen Ausgaben der Vorschriften für den Bau von Freileitungen (VDE 0210) vorgegebenen Eisgewichte um ein Mehrfaches überstieg.

Prof. Dr.-Ing. Georg Thierauf stellt fest, dass die berücksichtigte Zusatzlast durch Schneeanhaftungen gemäß den gültigen Vorschriften dem Zeitpunkt der Errichtung der Masten um das 6,3- bis 14,4-fache überschritten wurde. Nach Prof. Dr.-Ing. Georg Thierauf hätten unter diesen Belastungen auch Masten moderner Bauart, wenn sie nach heute gültigen technischen Bestimmungen errichtet worden wären, versagt.

Das Gutachten ist der Auffassung, dass der am Schadenstag vorhandene starke Wind eine wesentliche notwendige klimatische Bedingung für die Bildung der extremen Schneeanhaftungen war. Ausschlaggebend für das Versagen der Masten war laut Gutachten der durch die extremen Schneeanhaftungen stark

erhöhte Leiterzug, insbesondere wenn er feldweise unterschiedlich auftrat und zu einer Torsionsbeanspruchung der Masten führte.

Die Prüfung der Standsicherheitsnachweise an 7 ausgewählten Hochspannungsmasten ergab, dass keiner der Masten unter Normbelastung versagt hätte. Auch die Materialuntersuchungen zeigen, dass die untersuchten Stähle von Masten aus den fünf betroffenen Leitungstrassen im Wesentlichen den zum Zeitpunkt der Errichtung gültigen Normen entsprechen.

Prof. Dr.-Ing. Georg Thierauf fasst weiterhin im Gutachten zu Strommastschäden zusammen:

- Für einige untersuchte Bauteile wurde ein im Vergleich zu heute gültigen Normen zu hoher Stickstoffanteil im Stahl festgestellt und für einen Eckstiel (Baujahr 1960) und einen Diagonalstab (Baujahr 1951) eine zu niedrige Kerbschlagarbeit. Durch die aussagekräftigeren Bauteilversuche konnte aber in beiden Fällen eine ausreichende Tragfähigkeit nachgewiesen werden.
- Hinweise auf eine mögliche Materialversprödung als Schadensursache konnten nicht festgestellt werden. Es konnten auch keine Hinweise auf einen möglicherweise nicht ordnungsgemäßen technischen Zustand der Masten bzw. eine reduzierte Standsicherheit aufgrund des Alters der Masten gefunden werden. Korrosionsschäden wurden ebenfalls nicht festgestellt und sind als Schadensursache auszuschließen.
- Schadensursache ist daher alleine die extreme Wetterlage mit den beobachteten Schneeanhaftungen, die zu den extrem großen Zusatzlasten an den Seilen der Hochspannungs-Freileitungen führte. Dieses Ereignis liegt außerhalb der Lastdefinitionen sowohl der für Hochspannungsfreileitungen gültigen VDE-Normen als auch der bauaufsichtlich eingeführten Normen des allgemeinen Hochbaus, die Belastungssituationen erfassen, welche statistisch einmal in 50 Jahren auftreten. Somit handelte es sich um ein außergewöhnliches Ereignis, welches in diesem Ausmaß in NRW bisher nicht beobachtet wurde.

Sowohl die Ergebnisse als auch die gutachterlichen Ansätze wurden der BAM zur Kenntnis gegeben. Darüber hinaus gab es einen Termin, an dem die Gutachter ihre Ansätze gegenseitig kennen lernen und kritisch hinterfragen konnten. So kann im Ergebnis festgestellt werden, dass auch die Untersuchungsergebnisse der vergangenen Jahre von TESSAG, SAG und Prof. Thierauf (Zertifizierungsgutachten), bei der Bewertung durch die BAM berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stellen keinerlei Widersprüche zu den BAM-eigenen Erkenntnissen dar. Zum neuen Gutachten von Prof. Thierauf zum Schadensereignis Münsterland ergeben sich dagegen unterschiedliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Grundlage für die Aussagen der BAM sind ausschließlich die eigenen Untersuchungsergebnisse.

## Gutachten der BAM

### *Vorgehensweise*

Zur Untersuchung der Schäden, Ableitung des Versagensmechanismus und -ablaufs sowie Beantwortung der Fragen wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Beim Ortstermin wurde nach den Schadensteilen gesucht, die Primärversagen aufweisen könnten. Die Probenahme erfolgte entsprechend. Werkstoffversuche und metallographische Untersuchungen wurden zur Charakterisierung und Identifizierung der vorgefundenen Stahlsorten durchgeführt und hinsichtlich der maßgeblichen Regelwerke bewertet. Ebenso wurden fraktographische Untersuchung der Schadensbruchflächen zur Identifizierung der Bruchmechanismen durchgeführt.

Mit weiteren, unverbogenen Original-Prüfstücken wurden Bauteilversuche zur Ermittlung der tatsächlichen Bauteilbeanspruchbarkeit durchgeführt. Aus den zahlreichen und umfangreichen Unterlagen von RWE wurden die tatsächlichen Einwirkungen zum Schadenszeitpunkt in Form von Schneewalzen, deren Verteilung und Windbelastung rekonstruiert. Dabei sollte die Belastungssituation eines konkreten Winkelabspannmastes so rekonstruiert werden, dass:

- einerseits der Widerstand des Masts gegen die Einwirkungen bis kurz vor dem Umbruch (ca. 02:25 Uhr) und
- andererseits das Versagen des Primärbauteils und Umbruch des Masts um ca. 02:27 Uhr

erklärt werden kann. Dazu werden die rechnerischen Belastungen gesteigert und die Lastkonstellationen verändert, bis das „schwächste Glied der Kette“ entsprechend dem Versagensbild versagt. Dieser Lastfall wird dann Versagenslastfall genannt.

Mit diesem Versagenslastfall werden mittels statischer Berechnungen die Stabkräfte, Belastungen und Beanspruchungen aller Bauteile im Schadensbereich berechnet.

Durch Vergleich der Beanspruchbarkeit mit den abgeschätzten Beanspruchungen wird dann das Primärbauteil „als schwächstes Glied der Kette“ sowie dessen Versagensart identifiziert.

Daraus wird auf den Ablauf des weiteren Versagens, die Sekundärschäden, den Mastumbruch und den Beginn des Kaskadeneffekts geschlossen.

Die Bewertung der Ergebnisse anhand von Voruntersuchungen, des Regelwerks und der Literatur führt dann zu den Schadensursachen, einer Kombination mehrerer Einzelursachen.

Auf Basis der Schadensursachen werden technische Empfehlungen gegeben, die zur Vermeidung ähnlicher Mastumbrüche beitragen sollen.

### *Bestandsaufnahme, Ortstermin, Prüfstücke, Unterlagen*

Beim Ortstermin waren die Masten teilweise schon abgeräumt, so dass nur Prüfstücke aus den Leitungen BL 1503, 1536 und 1525 zur Entnahme markiert wurden. Bevorzugt wurden Prüfstücke genommen, die spröde Bruchflächen zeigten und selbst keine bzw. geringe Verformungen aufwiesen. Im weiteren Verlauf zeigt sich, dass die BL 1503 speziell der Winkelabspannmast 65 für die Untersuchung besonders interessant war.

Die Probeentnahmen konzentrierten sich auf die Schadensstelle der BL 1503 Gronau-Coesfeld bei Legden, weil hier noch alle beschädigten Masten vorhanden waren, einige sogar noch standen und so das gesamte Schadensbild begutachtet werden konnte. An den anderen Schadensstellen waren die Masten

bereits entfernt, oder gar nicht mehr verfügbar. Um im gegebenen Zeitrahmen ein Gutachten, auch zu vertretbarem Aufwand zu erstellen, war eine Untersuchung mehrerer oder gar aller Schadensstellen nicht möglich. Vielmehr war davon auszugehen, dass die Schadensstellen wesentliche Gemeinsamkeiten aufweisen. So hat sich bei der Prüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse herausgestellt, dass die wesentlichen Untersuchungsergebnisse widerspruchsfrei auf die anderen Schadensstellen übertragen werden können.

Die besichtigten Masten wurden während des Ortstermins auch allgemein hinsichtlich des Instandhaltungszustandes, insbesondere des Korrosionszustands visuell untersucht. Anhand der Dokumentationen vom Ortstermin sowie der Prüfstücke wurden offensichtliche Mängel am Instandhaltungszustand nicht gefunden.

#### *Literaturrecherche*

In der technischen Literatur sind die besonderen Eigenschaften des Thomasstahls lange bekannt und die Mechanismen des Alterns dokumentiert. Eine ausgeprägte Sprödbrechneigung kann insbesondere am Rand gestanzter Löcher oder an Scherenschnittkanten vorliegen: „Bei Vorliegen sprödbrechfördernder, konstruktiver Beanspruchungsbedingungen (größere Blechdicken, Kerben, tiefe Temperaturen, dynamische Belastungen) sowie eines alterungsempfindlichen Werkstoffs (Reckalterung im Lochrandbereich) kann es bereits bei üblichen Gebrauchstemperaturen zu Sprödbrechversagen des Bauteils kommen“. Auch über Freileitungen existieren umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Thomasstahlversprödung.

#### Großstörungen durch Eislasten im Hochspannungsnetz

Quelle: Dipl.-Ing. J. Ruhnau

Datum des Störungsbeginns	Störungsgebiet	Beschädigte oder umgebrochene Hochspannungsmasten
28. / 29.10 1956	Ostbayern, Inngbiet	69 Masten
07. / 08.12.1967	Ems-/Wesergebiet	127 Masten
29. / 30.03.1979	Ostbayern	42 Masten
24.04.1980	Ostbayern, Oberschwaben	150 Masten
02.03.1987	Südniedersachsen, Ostwestfalen, Oberschwaben	76 Masten
30.11. / 03.12.1988	Ostwestfalen	24 Masten
12. / 13.04.1994	Alpenvorland in Bayern und Schwaben	172 Masten
25. / 26.11.2005	Münsterland	83 Masten

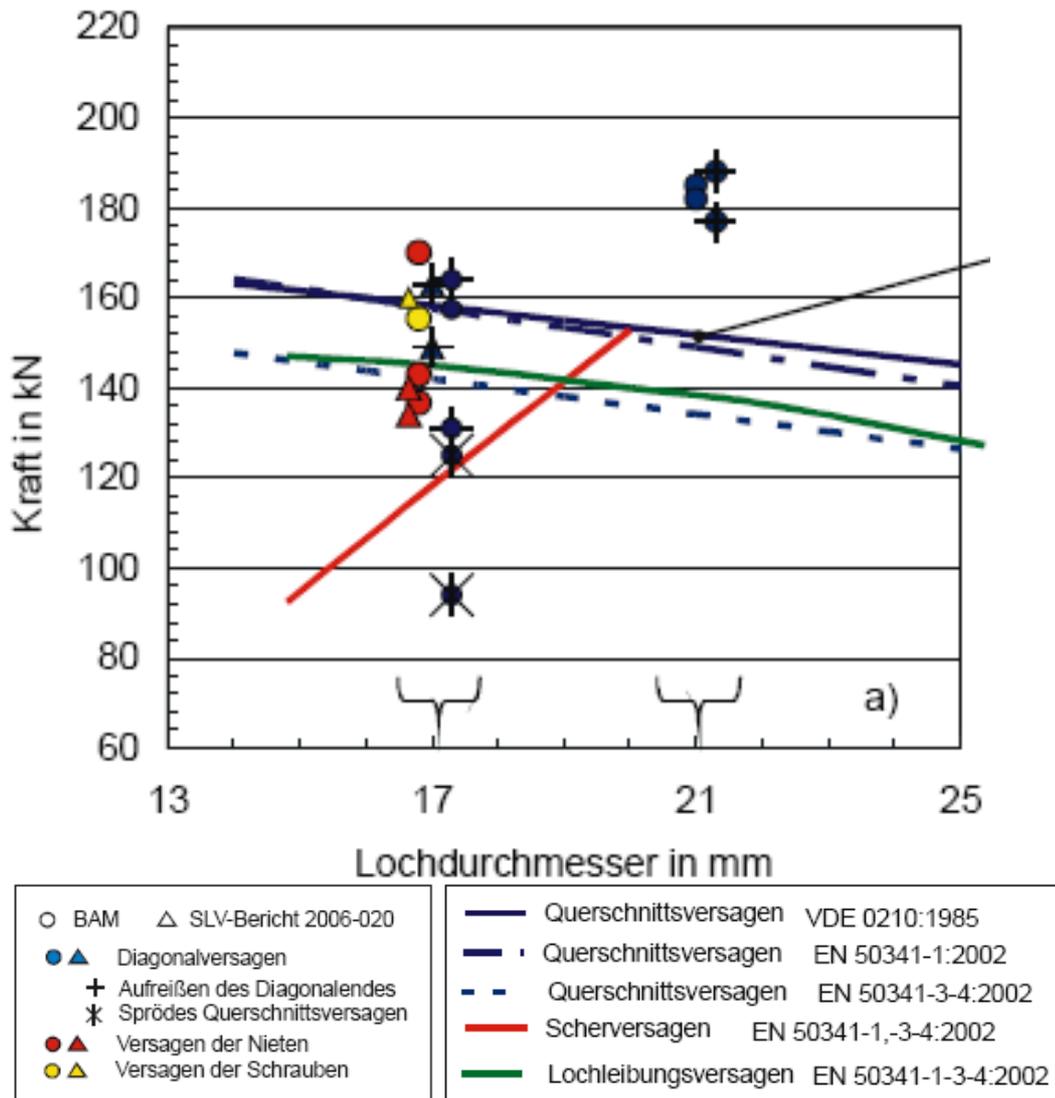
Von den bisherigen Großstörungen war auch RWE betroffen und hat in der Folge zwischen 1990 und 2006 eine Vielzahl von Untersuchungen durch die SAG durchführen lassen. Weitere Untersuchungen fanden bei TESSAG und MPA-NRW statt. Dabei wurden verschiedene Fragestellungen mit unterschiedlichen Methoden untersucht. Über alle Untersuchungen hinweg besteht Konsens, dass bei versprödeten Thomasstählen die Bruchkräfte bis zu 40% unter dem Mindestwert der Norm liegen können. Darauf wird auch bei der Zertifizierung des RWE-Mastsanierungsprogramms durch Prof. Thierauf eingegangen. Dort wird auf bereits eingetretene Schäden verwiesen und die Auftretenswahrscheinlichkeit räumlich begrenzter Schäden als hoch angenommen.

#### *Werkstoffuntersuchungen, Ergebnisse, Beanspruchung und Belastbarkeit*

Die chemische Untersuchung der Werkstoffe ergab, dass alle untersuchten Werkstoffe noch heute die Anforderungen der jeweiligen zum Zeitpunkt der Errichtung gültigen Baustahl- und Freileitungsnormen erfüllen. Aber nur 3 von 7 untersuchten Proben bestehen aus Werkstoffen, die auch heute noch für den Stahlgittermastbau zugelassen sind.

Bei der fraktographischen Untersuchung von gebrochenen Prüfstücken wurden eindeutig Gewaltbrüche mit duktilen und spröden Bruchflächen festgestellt. Zur weiteren Klärung wurden aus dem Mast 65 Bauteile ausgewählt und Zugversuche durchgeführt, um experimentell die Belastbarkeit der vorliegenden Verbindungen speziell der Diagonalen festzustellen. Es wurden Bruchkräfte von nur 94 kN bzw. 125 kN festgestellt. Im Ergebnis zeigen die aus den Bauteilzugversuchen gewonnenen Bruchflächen der Diagonalen mit den geringen Bruchkräften schadensäquivalente Spaltbruchanteile. Fraktographisch sind sie mit den vorgefundenen Schadensbrüchen vergleichbar. Damit können den Schadensbrüchen konkrete Bruchkräfte zugeordnet werden. Damit ist die auch bei den SAG-Untersuchungen gefundene thomasstahlbedingte Minderung der Bruchkraft um bis zu 40% erneut bestätigt.

Gemessene Bruchkräfte aus verschiedenen Untersuchungen im Vergleich zur Normanforderung. Quelle: BAM-Gutachten, Bild 110



### Einwirkungen, Belastungen

Für die Schadensuntersuchung und -beurteilung war es erforderlich, die wetterbedingten tatsächlich aufgetretenen Zusatzlasten nachträglich möglichst genau abzuschätzen - insbesondere für den Mast Nr. 65 der Freileitung BL 1503. Für die Beurteilung der Lasteinwirkungen wurde eine große Anzahl von Bildern der Fotodokumentation des Störfalls ausgewertet und die Ergebnisse aus den Modellberechnungen für den Seildurchhang herangezogen. Die BAM führte in diesem Zusammenhang anhand eines vorliegenden Fotos auch einen Geometrievergleich zur Abschätzung des Streckengewichts der Schneewalze für die 110-kV-Leitung BL 1503 durch.

Das Gutachten des Deutschen Wetterdienstes sowie Vorschriften für den Bau von Starkstrom-Freileitungen nach DIN EN 50341 und deren Vorgänger-Normen DIN VDE 0210 bildeten weitere Beurteilungsgrundlagen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die von der BAM getroffenen Annahmen hinsichtlich der Strecklasten aus Schneewalzen und deren Verwendung in der statischen Berechnung (vgl. Anlage zum BAM-Gutachten, Seite 100, Tabelle 23).

Quelle/Verwendung	Streckenlast [kg/m]	Anteil der Leiterbelegung	Rechnerische Streckenlast bei Vollbelegung [kg/m]
DWD	5,3	-	-
Durchgangsmodellrechnungen	6 ... 10	3/5	3,6 ... 6
Geometrievergleich	3,9	4/5	3,2
Statik Reallastfälle	-	5/5	5,3
Statik Versagensfall	-	5/5	3,9

Das Gutachten des DWD ermittelt als bestmögliche Abschätzung der aufgetretenen Zusatzlast infolge Schnee- und Eisanhaftungen einen Wert von 5,3 kg/m. Die Fotodokumentation und die Durchgangsberechnungen haben aber auch erwiesen, dass der Grad der Schneebelegung von Leitern in Spannungsfeldern auf ein Maß zwischen 3/5 bis 5/5 (60% bis 100%) abgemindert werden kann. Nach Auffassung der BAM war es für die statischen Berechnungen eher zweckmäßig eine Streckenlast-Vollbelegung der Leiter anzusetzen. Für die rechnerische Streckenlast unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den durchgeführten Durchgangsmodellberechnungen ergeben sich somit Werte zwischen 3,6 und 6 kg/m.

Für die Eingrenzung der Schadenszenarien wurde der Wert von 5,3 kg/m, welcher auch den statischen Berechnungen zu Grunde liegt (Reallastfälle), als plausibel angesehen. Um für den Versagensfall einerseits eine realistische Leiterbelegung berücksichtigen zu können und andererseits die geographische Lage möglichst genau in Betracht zu ziehen, wurde für diesen besonderen Fall auf der gesamten Leiterlänge von einer Streckenlast von 3,9 kg/m ausgegangen.

Im Gutachten der BAM wurden die für den Freileitungsbau geltenden VDE-Regelwerke hinsichtlich der Lastannahmen und Lastzonenmodelle insbesondere hinsichtlich Zusatzlasten durch Wind und durch Schnee und die daraus resultierenden Eisanhaftungen analysiert und gegenübergestellt. In den entsprechenden VDE-Regelwerken werden neben den Einwirkungen (Art und Höhe) auch die zu berücksichtigenden Lastfallkonstellationen für den Bau von Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV normativ festgeschrieben. Neben diesen Regelungen für Freileitungen bestehen aber auch für bauliche Anlagen Bemessungsvorschriften für Lastannahmen infolge Schnee und Eis (vgl. Einwirkungen auf Tragwerke – DIN 1055 Teil 5: Schnee- und Eislasten). Die DIN 1055-5 enthält sowohl Vorschriften zur Bemessung von Schneelasten im Sinne von Bauwerksauflasten als auch Vorschriften für Eislastannahmen hinsichtlich filigraner Bauelemente - wie beispielsweise Seile. Nach dieser Vorschrift ist zwischen Eis infolge gefrierenden Nebels, Regens oder Raueis zu differenzieren. Demnach ergibt sich nach der Norm 1055-5 für das Münsterland (Vereisungsklasse G2) ein Wert in Höhe von 2,4 kg/m.

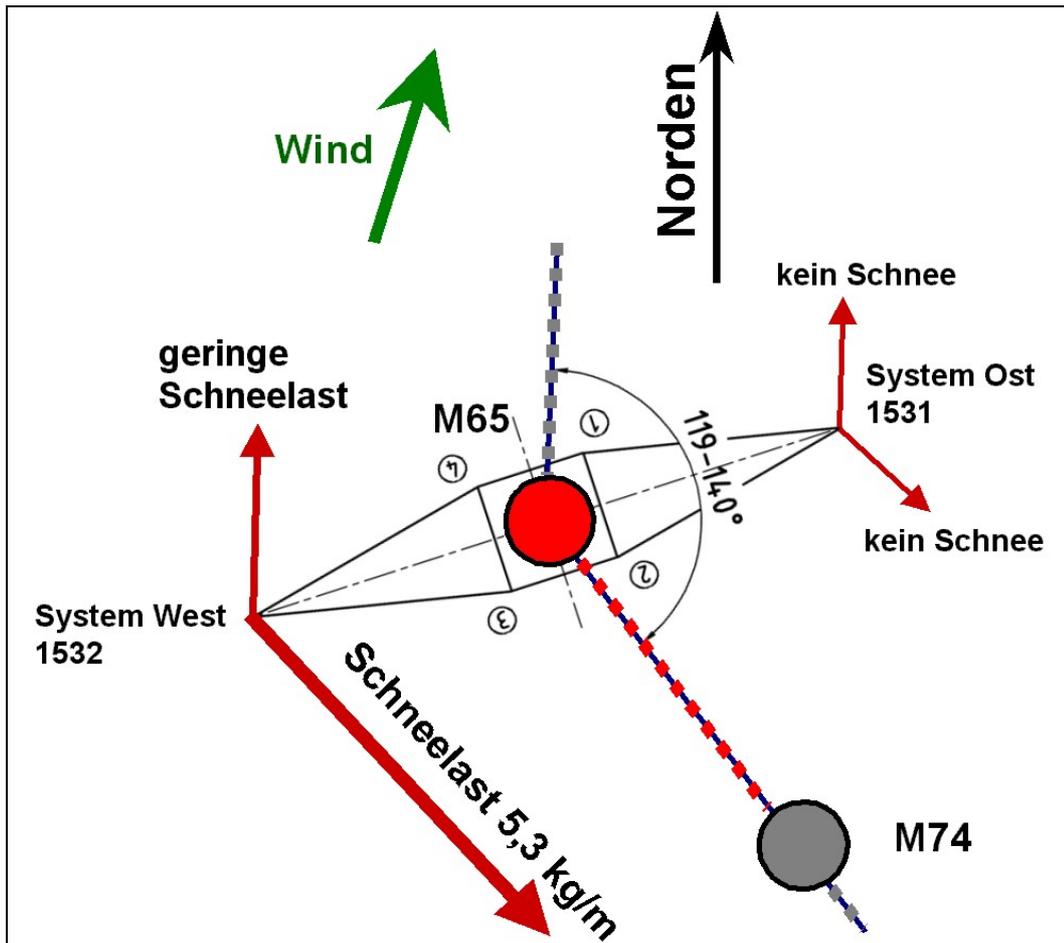
Das Münsterland wurde bislang vom RWE der Eislastzone I zugeordnet. Aus der aktuellen Errichtungsvorschrift für Freileitungen ergibt sich somit eine Zusatzlast infolge von Schnee- und Eisanlagerungen lediglich in Höhe von 0,7 kg/m. Dies entspricht 30% der nach DIN 1055-5 geforderten Einwirkungshöhe. Auch der Ansatz der Eislastzone II liefert einen geringeren Wert. Lediglich aus der Annahme der Eislastzone III (2,9 kg/m) würde ein höherer Wert resultieren. Ein Vergleich der Bauvorschriften für Freileitungen und für bauliche Anlagen zeigt, dass die Normen bei gleicher Prämisse (identischer Leiterdurchmesser von 21,7 mm) unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Einwirkungshöhe infolge Eislasten liefern.

Die BAM stellt in ihrem Gutachten heraus, dass nach DIN 1055-5 eine geographische Zuordnung von anzusetzenden Vereisungsklassen (sog. bundesweite Schnee- und Eislastzonenkarten) getroffen wird. Derartige Schnee- und Eislastzonenkarten sind in den Errichtungsvorschriften für Freileitungen nicht festgeschrieben.

Für die Analyse des Schadensherganges und für die damit verbundenen statischen Berechnungen spielte die Schneebelegung der Leiter eine wesentliche Rolle. Anhand vorliegender Fotos von Freileitungsabschnitten, welche nicht von Mastumbrüchen betroffenen waren, konnte die Schneebelegung näherungsweise ermittelt werden. Die BAM identifizierte einige fotografierte Leitungsabschnitte und konnte diese Bilder nachträglich eindeutig der untersuchten Freileitung BL 1503 von Mast Nr. 82 bis Mast Nr. 85 zuordnen. Alle identifizierten Bilder zeigen übereinstimmend, dass nur ein System der Freileitung BL1503 sowie das Erdseil mit Schnee behangen waren. Das andere Leitungssystem wies dagegen keine Schneeablagerungen auf.

Die beobachtete einseitige Systembelegung mit Schneewalzen erzeugte zusammen mit dem vorherrschenden Wind und der Windrichtung unterschiedliche Leiterzugkräfte, welche auf den Mast verdrehend einwirkten (Torsionslastfall). Die sich aus dieser Situation auf den Mast Nr. 65 ergebenden Kräfte wurden für die weiteren konstruktiven Betrachtungen und statischen Untersuchungen berücksichtigt.

Lasteinwirkung auf Mast 65. Quelle: BAM-Gutachten, Bild 50.



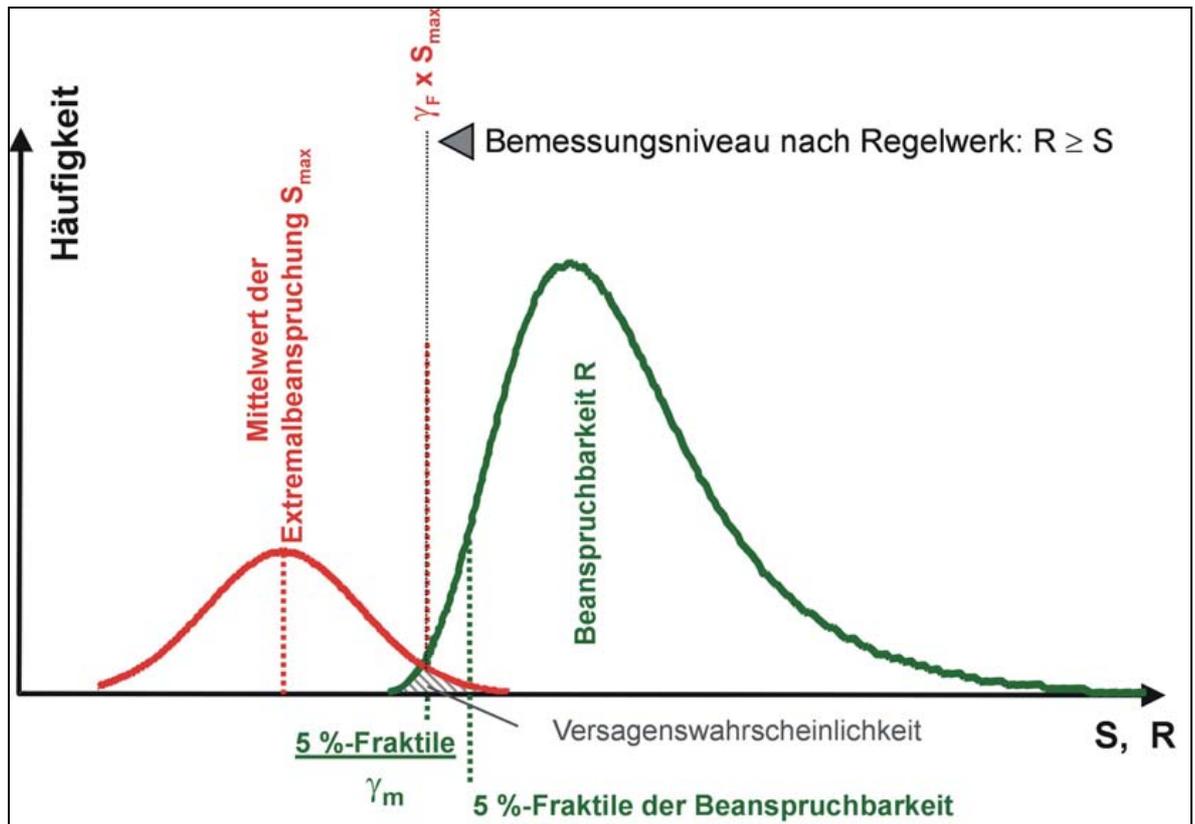
#### *Konstruktive Betrachtungen, statische Untersuchungen*

Aufgrund der starken Streuungen der versagensbeeinflussenden Parameter ist es nicht sinnvoll, Schadensfälle nur deterministisch zu betrachten. Ein realitätsnäheres Bild liefert die probabilistische Betrachtung. Bei der probabilistischen Betrachtung werden alle versagensbeeinflussenden Parameter als Zufallsvariablen mit entsprechenden Verteilungen berücksichtigt.

Das Bild 129 zeigt schematisch die Verteilungen bei den wichtigsten Basisvariablen Wettereinwirkung und Bauteilbeanspruchbarkeit.

Die Verteilungen sollen hier als die endgültige Summe aller Einflussparameter betrachtet werden (bei S: Wind, Schnee, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Geländeverhältnisse etc. und bei R: Materialeigenschaften, Grad der Versprödung, Bauteilabmessungen, Bauausführung, Eigenspannungen etc.). Der Überlappungsbereich der beiden Verteilungen von R und S ist ein Maß für die Ausfallwahrscheinlichkeit.

Während die Versprödung des Materials die Bauteilbeanspruchbarkeit herabsetzt und die R-Verteilungskurve in Bild 129 insgesamt nach links verschiebt, muss die S-Verteilungskurve wegen des seltenen Wetterereignisses vom November 2005 insgesamt nach rechts verschoben angenommen werden. Der Überlappungsbereich der beiden Verteilungen wird dadurch größer, daraus resultiert eine größere Ausfallwahrscheinlichkeit, wodurch es zum Schaden kommen kann.



Quelle: BAM-Gutachten, Bild 129

Durch das Sanieren der Maste steigt die Beanspruchbarkeit wieder und die R-Verteilungskurve wird wieder nach rechts verschoben. Das Sanierungskonzept berücksichtigt die werkstofftechnischen Erkenntnisse aus früheren Schadensfällen mit Versprödungsursachen durch den Austausch hoch zugbelasteter Thomasstahl-Bauteile gegen neue. Die Maßnahmen des RWE wurden bis zum Zeitpunkt des Schadens im Münsterland für die betroffenen Masten im Sanierungsplan nur für die BL 1503 umgesetzt. Für das RWE war somit der Mast 65 zum Zeitpunkt des Schadens bereits vollständig saniert.

Der Sanierungsumfang des Mastes, also die Anzahl der zu tauschenden oder zu verstärkenden Bauteile, ergab sich aus der statischen Berechnung aus dem Jahr 2003. Die Berechnung erfolgte auf Grundlage des Regelwerkes VDE 0210 aus dem Jahr 1954. Aus den Normen ergeben sich Dimensionierung und Auslegung der Maste. Aufgrund dieser Berechnungen ergibt sich nicht die Notwendigkeit, dass alle Bauteile auszutauschen sind.

Es ist darauf hinzuweisen, dass für den Mast 65 die im Rahmen des BAM-Gutachtens als Primärversagensbauteile detektierten Diagonalen nach dem RWE-Sanierungskonzept nicht getauscht oder verstärkt werden mussten, da die statischen Erfordernisse der Errichtungsnorm vom gesamten Mast eingehalten wurden.

#### *Statische Untersuchungen*

Als Grundlage für das statische Modell wurden die von RWE gelieferten Werkstattzeichnungen der Masten 65 und 66 der BL 1503 genutzt. Die Masten wurden als räumliche Stabwerke berechnet. Ausgehend von der Zielsetzung ergaben sich drei verschiedene Untersuchungsvarianten.

*Normlastfälle* zur Überprüfung der Konformität der Konstruktion mit derzeit gültigen Regelwerken. Grundlage bei der Ermittlung der Lastannahmen ist die DIN EN 50341-3-4 (Nationales Anwendungsdokument der im Jahr 2002 eingeführten Norm für Freileitungen DIN EN 50341-1:2002), weil sie den aktuellen und anerkannten Stand der Technik repräsentiert.

*Reallastfälle* zur Voruntersuchung und Eingrenzung der Schadensszenarien dienen als Grundlage des Versagenslastfalles. Hierbei finden die wahrscheinlich vorgeherrschten Einwirkungen Berücksichtigung.

*Versagenslastfall* zur Untersuchung bzw. Aufklärung der Primärschadensursache. Der Versagenslastfall berücksichtigt alle aufgrund der vorliegenden RWE-Unterlagen bekannten Gegebenheiten zum Versagenszeitpunkt.

Darüber hinaus wurden die Winddaten aus den Gutachten des DWD angesetzt. Es ist anzunehmen, dass zum Zeitpunkt des Umbruchs ein Wind mit einer Windgeschwindigkeit von 11 m/s aus 200 Grad Richtung wirkte.

Zudem konnte die einseitige Belegung der Leiter mit Schneewalzen rekonstruiert werden. Es ist demnach höchst wahrscheinlich, dass die Leiter im Feld zwischen Mast 65 und Mast 66 und folgende ausschließlich rechts mit Schnee belegt waren. Die Leiter werden mit einer Schneewalze von 13 cm auf der gesamten Länge belegt angenommen. Ein ähnlich großer Schneewalzendurchmesser ergibt sich ebenso nach der eingangs beschriebenen Vorgehensweise zur Versagensaufklärung, nach der die Beanspruchung von unten beginnend gesteigert wurde, bis das schwächste Glied in der Kette versagte.

Ab einem Schneewalzendurchmesser von 12 cm entstehen in den betroffenen Diagonalen Zugkräfte, die für das Versagen versprödeter Diagonalen relevant sind. Eine weitere Steigerung der Belastung über 13 cm ist nicht mehr erforderlich, zumal dann auch andere Versagensmechanismen wie Diagonalenknicken auftreten könnten.

### *Fazit*

Die Bewertung der Berechnungsergebnisse zieht neben der Betrachtung der Spröbruchgefahr ebenso die Möglichkeit des Stabilitätsversagens der Einzeldiagonalen in Erwägung. Bei der Beurteilung der Versagensursache ist nämlich von Bedeutung, ob zuerst das Ausknicken einer Druckdiagonalen oder das Abreißen einer kreuzenden Zugdiagonalen zum Versagen geführt hat. Im erstgenannten Fall könnte dann die Werkstoffalterung nicht als Grundlage der Primärschadensursache betrachtet werden.

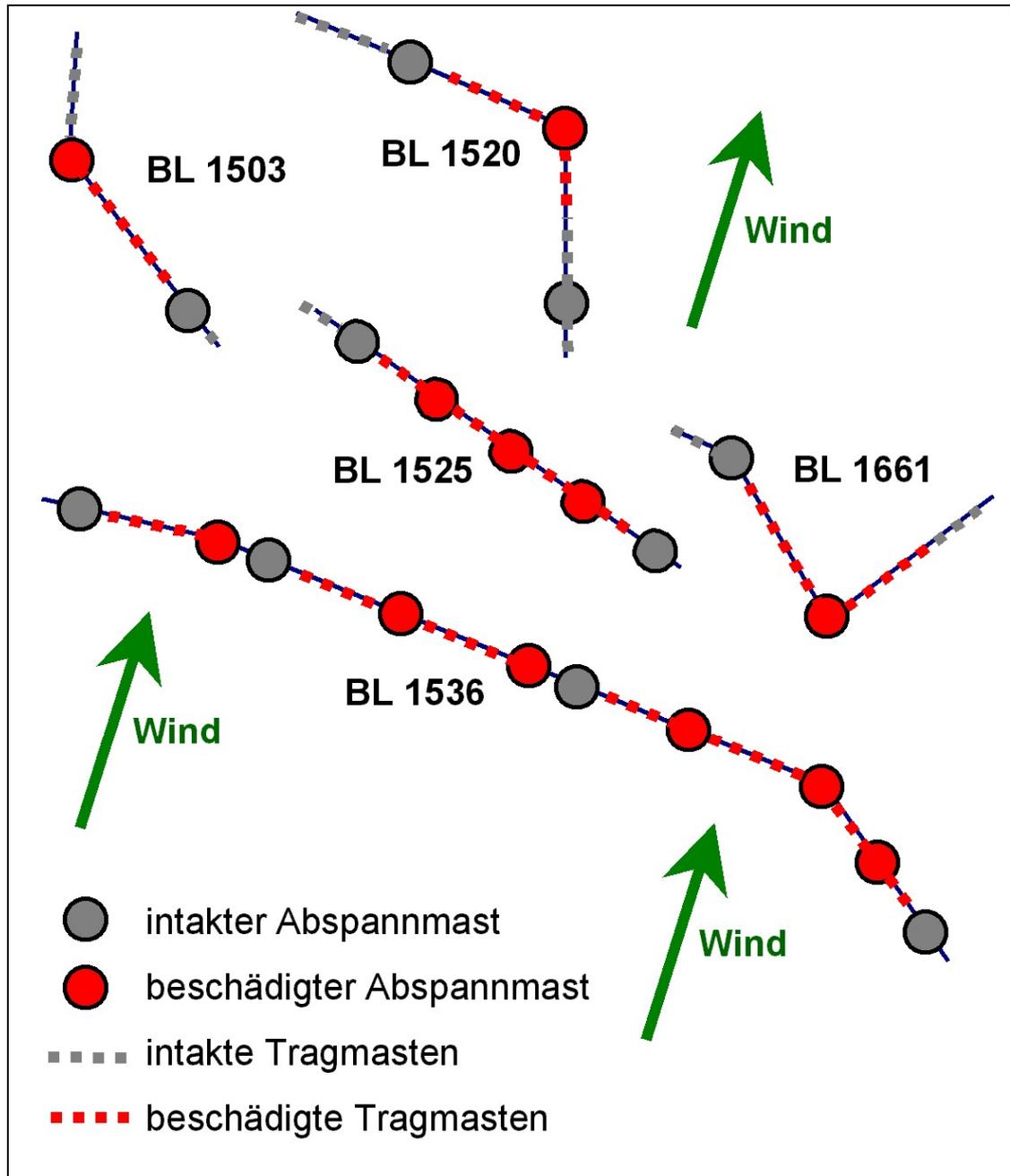
Für die Stabilitätsuntersuchung wurden ausgehend von den zur Verfügung stehenden Schadensbildern mögliche Knickformen in Betracht gezogen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei dem Versagenslastfall als Primärschadensursache ein Stabilitätsversagen der Druckdiagonalen im Schadensbereich höchst unwahrscheinlich und im unteren Bereich des Masts auf Grund des fotodokumentierten Zustandes auszuschließen ist.

### *Schlussfolgerungen und Empfehlungen*

Ziel war es, das erste versagende Bauteil im Mast 65 zu lokalisieren. Es wurde die Bruchfläche des sicher gestellten Schadensteiles mit dem Versuchsergebnis verglichen. Aus diesen Ergebnissen ermittelte die BAM die weitere Versagensart. Die berechneten Zugkräfte (113 - 119 kN) wurden den Maximalkräften (94 – 125 kN) aus den Bauteilversuchen gegenübergestellt. So konnte das Primärversagensteil, eine Zugdiagonale in einer Seitenwand des Winkelabspannmastes 65, gefunden werden. Die nachfolgenden Tragmasten sind da-

durch anschließend kaskadenartig umgestürzt. Das folgende Bild zeigt die Vergleichbarkeit dieser Situation mit allen anderen Schadensstellen.

Quelle: BAM-Gutachten, Bild 28



An *allen* Schadensstellen stand der Wind annähernd senkrecht auf den Leitersystemen. Zwei Beispiele von Mastschäden, welche vermutlich durch das Abschlagen der Eiswalzen ausgelöst wurden, zeigen, dass symmetrisch verteilte Lasten ertragen wurden, die unsymmetrischen Lasten hingegen nicht mehr. Die von umstürzenden Abspannmasten ausgelösten Umstürzkaskaden endeten stets an einem Winkelabspannmast oder einem Tragmast, bei dem die Freileitung annähernd parallel zum Wind verläuft.

Da die Schadensbilder und auch die herrschende Windrichtung an allen Schadensstellen gleich waren, wird davon ausgegangen, dass die Erkenntnisse von Mast 65 bezüglich ungleicher und einseitiger Einwirkungen, primäres Umstürzen des Winkelabspannmastes und Kaskadeneffekt auf die Schadensereignisse der anderen Bereiche übertragen werden können.

Speziell am Mast 65 ist nur die Kombination **aller Faktoren** (Schneewalzen, einseitig, feldweise ungleich, versprödeter Thomasstahl) ist eine hinreichende Begründung für den Schadensfall.

Aus der Bruchkraftuntersuchung der gebrochenen, versprödeten Diagonale schließt die BAM, dass bei einem Austausch dieser Diagonale gegen eine Diagonale aus neuem Stahl, der Winkelabspannmast 65 den Versagenslastfall (wie in Bild 50 dargestellt) und damit vermutlich auch das zum Umsturzeitpunkt 02:26 Uhr bereits nachlassende Wetterereignis sehr wahrscheinlich überlebt hätte und daher auch die folgenden Tragmaste der BL 1503 nicht umgestürzt wären.

Bei neueren Masten, die keinen Thomasstahl enthalten, lagen vermutlich noch höhere Belastungen (höheres Schneewalzenengewicht als 3,9 kg/m, größere feldweise Ungleichheiten) vor, so dass dort die Kombination der anderen Faktoren ohne Thomasstahl zum Umstürzen geführt hat.

### *Empfehlungen*

Die BAM hat ihre Untersuchungsergebnisse in mehrere Empfehlungen für zukünftiges Handeln münden lassen. Diese sind u. A.:

- Planungen für Reaktionsmöglichkeiten aufnehmen, um einseitige Belastungen durch witterungsbedingte Einwirkungen zu vermeiden (z.B. Abtauschaltung oder Eisabschlagen).
- Anpassung der Norm: Lastfälle neu aufnehmen, um eine relevante einseitige oder feldweise ungleiche Belastung zu berücksichtigen.
- Geografische Festlegung der Eislastzonen.
- Streckenlasten in der Norm so anpassen, dass Unwetter, die mindestens alle 50 Jahre einmal passieren, ausgehalten werden können.
- Im Münsterland ist zukünftig mindestens Eislastzone II anzusetzen.
- Sanierung von Thomasstahlmasten: Bezugsnorm für die Sanierung prüfen, d.h. Bestandsschutzregel prüfen.
- Priorisierung der Winkelabspannmaste bei Sanierung erhöhen.

### Stellungnahmen zum BAM-Gutachten von RWE und der Energieaufsicht des Landes NRW

Die Energieaufsicht des Landes Nordrhein-Westfalen und das RWE haben eine Kopie des Gutachtens erhalten und wurden um Ihre Stellungnahme dazu gebeten. Folgende Einlassungen haben uns zum Gutachten erreicht:

Das RWE hat an den Untersuchungsmethoden der BAM keine Zweifel geäußert, stellt aber den Untersuchungsansatz in Frage zieht daher die Untersuchungsergebnisse und insbesondere die Zulässigkeit von Analogieschlüssen in Zweifel. Eine Auswirkung auf die von der Bundesnetzagentur gezogenen Schlussfolgerungen können wir aber dadurch nicht erkennen.

Die Energieaufsicht des Landes Nordrhein-Westfalen würdigt das BAM-Gutachten kritisch und merkt an, dass aus Landessicht eine weitere Klärung erforderlich ist, ob Thomasstahl der Auslöser der Versorgungsstörung war. Eine abschließende Bewertung des Sanierungskonzeptes, der Frage des Bestands-

schutzes der Norm und ob ein Sanierungskonzept überhaupt ausreichend sein kann, sollte noch einmal mit den BAM-Gutachtern diskutiert werden.

## **Weitere Betrachtungen der Bundesnetzagentur**

### Lastannahme

Als eine entscheidende Kernfrage hat sich die Abschätzung der Lasten herausgebildet. Die Angaben zur Last an den Seilen reichen in den RWE-Darstellungen bis zu 18,9 kg/m oder dem Faktor bis zum 27-fachen der Normlast. In den Gutachten stützen sich sowohl BAM als auch Prof. Dr. Thier auf die gutachterliche Abschätzung des DWD (s. v.). Die dort ermittelte Bandbreite der möglichen Last macht deutlich, wie schwer eine genaue Angabe im Nachhinein ist. Die Obergrenze der möglichen Belastung ist allerdings nicht so hoch wie vom RWE angegeben, sondern wird durch das Reißen der Seile oder dem Aufliegen der Seile auf dem Boden begrenzt. Die Seile reißen bei einer Last von ca. 10 kg/m, und es wurden praktisch keine Seilrisse festgestellt, daher muss die aufgetretene Last unter diesem Wert gelegen haben.

### Seil-Durchhangberechnungen

Der Bundesnetzagentur wurde vom RWE umfangreiches Bildmaterial über die von Mastumbrüchen betroffenen Hochspannungsfreileitungen überlassen. Mit Hilfe der auf den Bildern dargestellten 110-kV-Hochspannungsfreileitungen konnte der durch Schneeanhaftungen verursachte Durchhang des Seiles anhand des nebenstehenden Monteurs als Bezugspunkt abgeschätzt werden. Auf dem zugehörigen Bild ist zu erkennen, dass der aus der Zusatzlast resultierende Abstand des Freileitungsseiles zum Erdboden im betreffenden Leitungsabschnitt lediglich ca. 1,2 m beträgt.

Anhand des aus dem Bodenabstand resultierenden Seildurchhanges kann mit Hilfe von Streckenlastannahmen und den daraus resultierenden Durchhängen auf die in den Bildern dokumentierten Zusatzlasten „rückgerechnet“ werden.

Für die nachträglich möglichst genaue Abschätzung von Zusatzlasten hat die Bundesnetzagentur die Erstellung von Durchhangsmodellberechnungen von RWE angefordert. Die Rückrechnung sollte mit Hilfe der Methode der Durchhangsgleichheit jeweils zu dem, auf dem Foto dokumentierten Seilzuständen erfolgen.

Die verschiedenen Nachrechnungen der Zusatzlasten erfolgten am Beispiel der Leitung BL 1503 mit den zugehörigen Freileitungskennwerten und –parametern. Die einzelnen Prämissen für die oben beschriebenen Modellrechnungen mit unterschiedlichen Streckenlastannahmen für die Schneeanhaftungen wurden zwischen RWE und Bundesnetzagentur abgestimmt.

Die Ergebnisse stützen die Zahlen des DWD, allerdings mit leichter Tendenz zu niedrigerer Last. Wir gehen daher von einer Zusatzbelastung von 5 kg/m Leiterseil aus, was eine 7-fache Last gegenüber der Normlast (unter Einbeziehung der Eislastzone I) bedeutet.

### Normen für den Freileitungsbau

Für den Bau von Freileitungen gibt es keine gesetzlichen Vorgaben oder Regelungen. Vielmehr findet sich in § 49 EnWG eine Vermutungsregel:

„§ 49 Anforderungen an Energieanlagen

(1) Energieanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.

(2) Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von

1. Elektrizität die technischen Regeln des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.,

2. Gas ...

eingehalten worden sind.“

Die Festlegungen erfolgen in Normen, welche durch den DKE im VDE formuliert und erarbeitet wurden.

Die erste Richtlinie für Freileitungen in Deutschland geht zurück auf das Jahr 1903. Die erste Ausgabe stellte Vorschriften über die Herstellung und Unterhaltung von Starkstrom-Freileitungen auf. Sie entstand durch Neubearbeitung und Ergänzungen zu Vorschriften über Holzgestänge. Seitdem wurden die nationalen Freileitungsvorschriften etwa alle 10 bis 15 Jahre überarbeitet.

Die nachfolgende Aufstellung zeigt die historische Entwicklung der nationalen Freileitungsnorm:

Norm / Jahr	Bezeichnung und Veränderungen
- / 1903	Normen für Starkstrom – Freileitungen  Die Normen für Starkstrom-Freileitungen sind entstanden durch Neubearbeitung und Ergänzung der früheren „Vorschrift über die Herstellung und Unterhaltung von Holzgestängen für elektrische Starkstromanlagen“
VDE 0210 / 1930	Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen V.S.F.  Ab 1. Januar 1930
VDE 0210 / X.38	Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen Sieben Änderungen seit 1.1.30 gegenüber den „Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen V.S.F.“
VDE 0210 / VIII.43	Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen  Eingeführt als Richtlinie für die Baupolizei durch Erlass des Reichsarbeitsministers vom 6. Dezember 1940 – IV c 4/IV-2 Nr.8710/60/40

DIN 57 210	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>Oktober 1947 Deutsche Norm, DK 621.315.1 Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>Ersatz für VDE 0210 / VIII, 43 Eingeführt als Richtlinie für die Baupolizei durch Erlass vom 6. Dezember 1940 – IV c 4/IV-2 Nr.8710/60/40</p>
VDE 0210 n / 2.51	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>13. Änderung der am 1. Januar 1930 in Kraft getretenen Fassung von VDE 0210, gültig ab 1. Februar 1951. Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Februar 1969. Durch Einfügung dieser Änderung in die Vorschrift VDE 0210 / VIII.43 erhält diese die Bezeichnung VDE 0210 / 2.51</p>
VDE 0210 / 2.51	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>2. Nachdruck 1952 ( komplett ) Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen Eingeführt als Richtlinie für die Baupolizei durch Erlass des Reichsarbeitsministers vom 6. Dezember 1940 – IV c 4/IV-2 Nr.8710/60/40 Die vorliegende Fassung ist verbindlich, bis eine Änderung oder Neufassung in Kraft tritt.</p>
VDE 0210o / 8.53	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>14. Änderung der ab 1. Januar 1930 gültigen Fassung Gültig ab 1. August 1953. Durch Einfügen dieser Änderung in die Vorschrift VDE 0210 / 2.51 erhält diese die Bezeichnung VDE 0210 / 8.53. Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Juni 1953</p>
VDE 0210 / 5.54	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>Eingeführt als Richtlinie für die Baupolizei durch Erlass des Reichsarbeitsministers vom 6. Dezember 1940 – IV c 4/IV-2 Nr.8710/60/40 Die vorliegende Fassung ist verbindlich, bis eine Änderung oder Neufassung in Kraft tritt.</p>
VDE 0210 / ...56	<p>Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen</p> <p>Status Entwurf Anwendung der noch nicht gültigen Fassung auf eigenes Risiko!</p>

VDE 0210 / 2.58	Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen
	<p>Der Abschnitt C dieser Vorschrift wurde mit Ausnahme der §§19 und 31 von den für die Bauaufsicht zuständigen Ministern ( Senatoren ) der Länder als Richtlinie für die Baugenehmigungsbehörden eingeführt; diese wurden außerdem auch noch auf die bautechnischen Angaben der übrigen Abschnitte hingewiesen.</p> <p>Die vorliegende Fassung ist verbindlich, bis eine Änderung oder Neufassung in Kraft tritt.</p>
VDE 0210 / 5.62	Vorschriften für den Bau von Starkstrom – Freileitungen
	<p>Diese Vorschriften traten am 1. Februar 1958 in Kraft. Die bisher gültigen Vorschriften VDE0210 / 1.56 traten am gleichen Tage außer Kraft. Mit der Änderung a gelten sie ab 1. Mai 1962.</p> <p>Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Dezember 1957.</p> <p>Der Abschnitt C dieser Vorschrift wurde mit Ausnahme der §§19 und 31 von den für die Bauaufsicht zuständigen Ministern ( Senatoren ) der Länder als Richtlinie für die Baugenehmigungsbehörden eingeführt; diese wurden außerdem auch noch auf die bautechnischen Angaben der übrigen Abschnitte hingewiesen.</p> <p>Die vorliegende Fassung ist verbindlich, bis eine Änderung oder Neufassung in Kraft tritt.</p>
VDE 0210 / 5.69	Bestimmungen für den Bau von Starkstrom – Freileitungen über 1 kV
	<p>Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Februar 1969.</p> <p>§§ 9 und 10 dieser Bestimmung gelten nach Bekanntmachung durch die für die Bauaufsicht zuständigen Minister ( Senatoren ) der Länder als Technische Baubestimmungen. Die Bauaufsichtsbehörden werden außerdem auf die bautechnischen Angaben der übrigen Abschnitte hingewiesen.</p>
DIN VDE 0210	Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV Deutsche Norm Dezember 1985
	<p>Ersatz für die VDE 0210 / 05.69</p> <p>Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter oben stehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und bekannt gegeben worden.</p>
DIN EN 50341 VDE 0210	Freileitungen über AC 45 kV Teil 1 Allgemeine Anforderungen - Gemeinsame Festlegungen Teil 3 Nationale Normative Festlegungen ( NNA )
	<p>Die EN 50341-3-4 wurde am 2001-01-01 angenommen.</p> <p>Ersatz für die DIN VDE 0210 ( VDE0210 ) : 1985-12</p> <p>Die Europäische Norm EN 50341 -1:2001 und die Europäische Norm EN 50341 -3-4:2001 haben den Status einer Deutschen Norm.</p>

Mit der Entwicklung der VDE-Regelwerke ging auch eine Vielzahl von technischen Anpassungen und Änderungen u. a. auch hinsichtlich der Lastannahmen von Wind und Eis einher (vgl. Tabellen- und Bildteil zum BAM-Gutachten, Tabellen 21 und 22). So wurde beispielsweise ab 1934 erstmals ein Verdrehungsfall berücksichtigt.

Nach der veröffentlichten Normenreihe DIN EN 50341 „Freileitungen über AC 45 kV“ liegt seit Anfang 2005 auch die Norm DIN EN 50423 „Freileitungen über AC 1 kV bis einschließlich AC 45 kV“ (MS-Freileitungen) vor. Demnach dürfen bis 1. Oktober 2007 Anlagen noch nach bisherigen Normen (DIN VDE) erstellt werden.

Die Norm DIN EN 50423 ist – so wie auch DIN EN 50341 - ebenfalls eine Errichtungsnorm und nicht auf bestehende Leitungsanlagen anzuwenden. Wegen dieses in den Normen formulierten Bestandsschutzes, gibt es keine Regeln oder Grenzen für die Ausführungen beispielsweise einer Mastsanierung, die bislang nur die frühere Errichtungsnorm erfüllen muss.

Die jeweils gültige Norm übt jedoch Einfluss auf bestehende Anlagen aus. Es liegt im Ermessen und der Verantwortung des Netzbetreibers, bei bestehenden Freileitungen auf der Grundlage dieser neuen Norm Anpassungen vorzunehmen.

Selbst der vom RWE beauftragte Gutachter Dr. Kießling kommt zu dem Ergebnis: „Hier sei noch einmal ausdrücklich erwähnt, dass die DIN EN 50431 (VDE 0210) eine Errichtungsnorm ist und auf bestehende Leitungsanlagen nicht anzuwenden ist. *Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass diese Norm den Stand der Technik bei Freileitungen darstellt und damit einen Einfluss auf bestehende Anlagen ausübt. Es liegt in der Verantwortung des Betreibers, bei bestehenden Anlagen auf der Grundlage dieser Norm gewisse Anpassungen vorzunehmen.*“

Die existierende Norm, welche für die Neuerrichtung anzuwenden ist, enthält keine Aussagen über Sanierungsmaßnahmen. Es wird geschlossen, dass hier stets die jeweilige frühere Errichtungsnorm anzuwenden sei. Auch aus den Darstellungen von Dr. Kießling ist erkennbar, dass hier Auslegungen möglich sind. Insbesondere, wenn die gültige Norm sich inhaltlich wesentlich von der früheren unterscheidet, ist die Frage angebracht, ob man bei umfänglichen Sanierungsarbeiten den heutigen Stand der Technik ignorieren darf. Aus dieser Situation heraus hält die Bundesnetzagentur eine Klarstellung des Umfangs des Bestandsschutzes für erforderlich.

#### Situation der Stadtwerke im Münsterland

Die betroffenen Stadtwerke im Münsterland wurden zu dem Schadensereignis befragt. Folgende Stadtwerke wurden angesprochen:

Stadtwerke Ahaus, Stadtwerke Coesfeld GmbH, Stadtwerke Gronau GmbH, Stadtwerke Ochtrup, SVS-Versorgungsbetriebe GmbH Stadtlohn.

Einerseits wurde die Meldung der Versorgungsstörung mit Umfang und Ursachen erbeten, aber auch die Angabe, ob die Störung auf das vorgelagerte Netz zurückzuführen ist. Es wurde auch die Einschätzung bzgl. der Kommunikation mit RWE und Hilfskräften Ende November im Schadensverlauf abgefragt. Darüber hinaus wollte die Bundesnetzagentur wissen, welche Erkenntnisse und Konsequenzen die Stadtwerke aus dem Geschehen gezogen haben.

Die Antworten der angefragten Stadtwerke:

- Spannungsschwankungen, Ausfall des vorgelagerten Netzes von 26.11.2005 8:59 bis 13:49 bei rd. 18.000 Kunden. Im eigenen Netz 6 MS-Störungen und 150 NS-Störungen. Ab dem 28.11.05 22:00 wieder alle

Kunden versorgt. Keine Kritik an der Kommunikation. Konsequenzen: Zukünftig Verwendung von Spannkabeln statt unisolierten Leiterseilen.

- zwei Störungen im vorgelagerten Netz am 26.11.05. längere Schäden im NS-Netz (betroffen etwa 10% des Freileitungsnetzes). Krisenkommunikation wird als sehr effektiv eingeschätzt. Konsequenz: Verkabelung des Freileitungs-NS-Netzes wird forciert.
- Ausfall durch vorgelagertes Netz in Teilen bis zu 2 Tagen, aufgrund der eigenen Schäden bis zu einer Woche. Kommunikation und Zusammenarbeit werden als gut eingestuft. Konsequenz: Verkabelung des Freileitungs-NS-Netzes wird forciert.
- Ausfall ist auf den Ausfall des vorgelagerten Netzes zurück zu führen. Im eigenen Netz kaum Schäden (unter 1%). Betroffen ca. 8.000 Kunden. Kommunikation sehr schleppend wegen Ausfall der Telefonanlagen. Konsequenz: Verkabelung des Freileitungs-NS-Netzes wird fortgesetzt.
- Stadt wird über eine 220 kV Hochspannungstrasse versorgt, die praktisch ungestört blieb.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass im Schadens- und Wiederherstellungszeitraum die Zusammenarbeit mit dem RWE als gut bezeichnet wird. Das RWE hat auch zahlreiche Notstromaggregate für Stadtwerke besorgt, um den Ausfall des Hochspannungsnetzes in den untergelagerten Netzen abmildern zu können. Die Schäden innerhalb der Netze der Stadtwerke waren ebenfalls erheblich, so dass die Auswirkungen nicht alleine der Hochspannungsstörung und damit dem RWE zugerechnet werden können. Grundlegende Konsequenz bei allen Stadtwerken: Ersatz der NS-Freileitungen durch weitere Verkabelungen.

Wir haben bei der Kommunikation und Zusammenarbeit an keiner Stelle eine mangelnde Aufgabenerfüllung des RWE erkennen können.

### Weitere Maßnahmen (bei Vereisung und Schneeanatz)

Es hat sich anfänglich die Frage gestellt, warum die Schäden der Mastumbrüche im 110 kV-Netz so umfangreich waren und bei den im gleichen Gebiet stehenden Höchstspannungsmaste (380 kV) keinerlei Mastschäden aufgetreten sind, obwohl die Leiterseile ebenfalls im gleichen Winkel zum Wind standen. Es ist davon auszugehen, dass die im Leiterbündel montierten Seile der 380 kV-Trassen verhindert haben, dass sich die einzelnen Seile gedreht haben. Dieser Effekt war aber ein wesentliches Moment, dass sich die Belastungen aus Nassschnee kreisförmig um den Leiter herum haben aufbauen können. Hiermit wurde eine plausible Erklärung für die unterschiedliche Schadenswirkung gefunden.

Die Bundesnetzagentur hat eine Vielzahl von Zuschriften erhalten, was alles zur Enteisung hätte getan werden können. Dabei waren auch nicht umsetzbare Vorschläge wie alle Freileitungen mit einem Hubschrauber abzufliegen und mit einer Enteisungsflüssigkeit zu besprühen. Viele dieser Vorschläge übersehen die extreme Wettersituation, die es ja bereits den Monteuren teilweise unmöglich machte, zu den Freileitungen zu gelangen. Eine technisch mögliche Maßnahme ist das elektrische Abtauen. Es existieren einige Freileitungen in Deutschland, von denen bekannt ist, dass sie wiederholt vereisen und die daher mit einem Trafo gekoppelt wurden, so dass man auf den beiden Systemen im Ring eine Last besitzt und so einen spürbaren Stromfluss bekommt, welcher zur Erwärmung der Seile und somit zum Abtauen eingesetzt werden kann. Die Systeme der betroffenen Freileitung im Münsterland waren aber nicht so ausgelegt, dass zwischen ihnen vorhandene Last hätte verschoben werden können (fehlende Schaltungsmöglichkeiten). Zudem war die vorhandene Last an diesem Wochenende sehr gering, so dass keine nennenswerten Stromflüsse vorhanden waren. Auch eine Stellungnahme von Prof. Dr. Haubrich, RWTH Aachen, belegt, dass eine Abtausaltung keine Maßnahme im vermaschten Flächennetz sein kann. Darüber hinaus ist zu beachten, dass derartige Maßnahmen mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden sind. Die einseitige Belastung von Systemen, wie sie im Münsterland vorgefunden wurde, scheint mit der Belastung der betreffenden Systeme plausibel zu sein. Allerdings liegen keine schlüssigen Beweise für diese Abhängigkeit vor. Darüber hinaus hat RWE Erkenntnisse, dass einseitige Vereisung auch an Systemen mit wesentlicher höherer Last zu finden waren. Die Frage, welche Belastung erforderlich ist, um einen spürbaren Abtaueffekt zu erzielen, und die entgegen gesetzte Erkenntnis, dass an erwärmten Leiterseilen verstärkt ein Anhaften von Schnee zu beobachten ist, ist noch nicht ausreichend erforscht.

### Die wirtschaftlichen Fakten

#### Investitionen, Sanierungskosten

Die wirtschaftlichen Kennzahlen aus dem Bereich Münsterland für 2004 hat RWE wie folgt ermittelt: etwa das Vierfache dessen, was investiert wurde, wurde abgeschrieben und das 160-fache davon wurde als Betriebsaufwand in das Netz gesteckt. Auf die Netzlänge umgerechnet (110kV, 30kV, 10kV und 1kV) bedeutet dies, dass in 2004 auf jeden km Netzlänge 2.500 Euro entfielen. Die Investitionen waren in den letzten Jahren auf sehr niedrigem Niveau, allerdings bei einem deutlich höheren Betriebsaufwand. Die Planungen für das Münsterland sehen für die Summe aus Investition und Betriebsaufwand innerhalb von zwei Jahren eine Steigerung auf fast das Doppelte vor. Dieser Wert soll bis vorerst 2010 gehalten werden.

## **Berichte über weitere wetterbedingte Stromausfälle**

Vom Schneetief „Thorsten“, welches vom Westen über die Nordsee ostwärts zog, waren auch unsere Nachbarländer Belgien und Niederlande betroffen. Das Ausmaß an Schneefall und Wind war allerdings nicht so groß wie im Münsterland. Dennoch werden aus beiden Ländern länger dauernde Stromausfälle und auch Schäden an Elektrizitätsversorgungsanlagen gemeldet, so u. a. ebenfalls Schäden an Stahlgittermasten. Im Einzelnen haben wir folgende Situationsbeschreibungen erhalten:

### Niederlande

In dem uns vorliegenden Kurzbericht des niederländischen „Dienstes für Sicherheitsstudien“, welcher nicht den Status eines regulären, vollständigen Untersuchungsberichtes besitzt, wird das Ergebnis der sondierenden Untersuchung des Stromausfalls in Haaksbergen am Wochenende vom 25. bis 27. November 2005 dargelegt.

In den Provinzen Zeeland, Brabant, Limburg, Gelderland und Overijssel entstanden an diesem Freitag zahlreiche Stromausfälle. Die Stromstörung mit der größten Auswirkung entstand in Haaksbergen, wo am Ende rund 25.000 Einwohner im Durchschnitt 30 Stunden, einige bis maximal 61 Stunden ohne Strom waren. Am 25. November 2005 sind in den Niederlanden an rund 30 weiteren Ortschaften Hochspannungsleitungen umgebrochen. In der Provinz Zeeland lag z. B. ein gerissenes Erdseil auf der Autobahn, und die Ortschaft Hulst (30.000 Einwohner) war für 24 Stunden ohne Strom.

Das Abknicken der Erdseile und der Konduktoren ist Folge der extremen Wetterumstände: eine Kombination aus Schnee, starkem Wind und einer Temperatur um den Gefrierpunkt.

In der Umgebung von Haaksbergen wurden z. B. die folgenden Werte gemessen: große Menge Niederschlag (45 mm) in Form von nassem Schnee (bis zu einer Schneedecke von 15 cm), eine Temperatur kurz über dem Gefrierpunkt und Windstärke 6. Aus dem Bericht geht hervor, dass die Kombination der Wetterfaktoren am 25. und 26. November 2005 außergewöhnlich war und seit 1951 nicht mehr vorgekommen war.

Das niederländische Versorgungsunternehmen Essent kündigte an, langfristig eine gemeinsame Bestandsaufnahme der Unterschiede in der Stromversorgung in den Niederlanden und in Deutschland mit dem Netzbetreiber RWE zu beabsichtigen.

### Belgien

Vom Belgischen Regulator haben wir einen Bericht des belgischen Übertragungsnetzbetreibers zur Situation am 25.11.2005 und den Folgetagen erhalten. Insgesamt hat es Stromausfälle bis über 4 Stunden gegeben. Es waren wegen der besondern Wetterlage auch Beschädigungen an den Netzanlagen (380kV, 150kV, 70kV) festzustellen. In Belgien hat es im Wesentlichen Seilschäden gegeben und nur in einem Fall einen Mastschaden. Wegen der besonderen Wetterlage waren Instandsetzungsarbeiten mit schwerem Gerät sehr zeitaufwän-

dig, daher auch hier eine lange Ausfallzeit. Die belgische Feststellung zu den Ereignissen lautet: „Grid incidents, 25 and 26 November as a result of exceptional weather conditions“.

Aus der Pressemeldung von elia:

“Despite the severe weather conditions, the engineers on call were able to re-establish services by activating other supply lines. For example, 36-kV connections were used to re-establish the power supply to the Flora substation in Merelbeke, which serves parts of Ghent. The power supply to a hospital in Wetteren, which had switched to its back-up generators, was quickly restored using another high-voltage line serving the area.

Altogether this resulted in 1006 MWh not-served energy.”

#### Untersuchung TÜV Süd

Im Rahmen seines gutachterlichen Auftrages für das RWE hat Herr Prof. Dr. Thierauf den TÜV Süd mit einem Sub-Gutachten beauftragt, den Schaden 1980 in Bayern darzustellen. Es liegen der Bundesnetzagentur Unterlagen vor, aus denen hervorgeht, dass es 1980 bereits einen Schadensfall in Oberbayern mit über 130 Mastschäden und Stromausfall über mehrere Tage gegeben hat. Dieser Schaden ereignete sich im Gebiet der ehemaligen Isar-Amper-Werke und war auch mit einem Toten durch einen herabstürzenden Mast verbunden. Ein ähnlicher Fall aus 1979 wird aus dem Gebiet der OBAG berichtet.

Der Schadensfall im Münsterland scheint eine Dublette von 1980 zu sein, wenn man sich die Schadensbeschreibung aus Bayern ansieht. Der Schaden vom 24.04.1980 in Bayern betrug alleine 20 Millionen DM. Auch hier waren starke Schneefälle bei 0 Grad, verbunden mit starkem Wind ursächlich. Es bildeten sich an den Seilen Schneewalzen von 15 – 20 cm Durchmesser. Insbesondere wird bereits von einseitiger und ungleicher Belastung berichtet, welche ursächlich Masten in Torsion versetzte und damit zerstörte und dadurch weitere Tragmaste in Kaskade umstürzen ließ. Laut Süddeutscher Zeitung hat das bayerische Wirtschaftsministerium eine sofortige Untersuchung der Schäden und Ursachen veranlasst und wollte von den Stromversorgungsunternehmen verlangen, dass Maßnahmen ergriffen werden, die ähnlichen Störungen künftig vorbeugen sollten. Als Ergebnis wurden in der Norm 1985 die Zusatzlasten in drei Stufen berücksichtigt. Der Ansatz der Stufen obliegt beim Neubau dem Netzbetreiber unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten. Hierdurch hat man eine Erhöhung der Mindesteislasten in der Norm vermieden. Zumindest ist es nach dem dritten Extremwetter mit einer Großstörung der Versorgung innerhalb eines Zeitraumes von 26 Jahren in Deutschland fraglich, ob noch immer von einem Jahrhundertereignis gesprochen werden kann.

## **Stahlgittermasten aus Thomasstahl bei anderen Netzbetreibern**

Die Bundesnetzagentur hat bei den Konzernen der Übertragungsnetzbetreiber angefragt und um Auskünfte für alle konzernzugehörigen Netzbetreiber gebeten. Gefragt war wie viele Masten aus welchen Jahren im Bereich der Hoch- und Höchstspannung betrieben werden. Mit diesen Antworten erhielten wir Informationen über den größten Teil der deutschen HS-Netze. Weiterhin wollten wir wissen, ob die Unternehmen die Thomasstahlproblematik kennen, seit wann sie davon Kenntnis haben und welche Maßnahmen sie diesbezüglich ergriffen haben. Außerdem hat die Bundesnetzagentur nach Mastschäden und der statischen Auslegung der Masten bezüglich der Eislastzonen gefragt.

Betrachtet man die Hochspannungsebene bei den Konzernen der Übertragungsnetzbetreiber und analysiert die Baujahre bis einschließlich 1965 als thomasstahlrelevante Baujahre, so kommt man zum Ergebnis, dass mehr als 57.000 Masten noch unsaniert in Betrieb sind.

Davon gehören 36% in den Bereich RWE, 46% in den Bereich E.ON, 17% in den Bereich EnBW und nur 1% in den Bereich Vattenfall (West). Die Freileitungsnetze der neuen Bundesländer gelten als nicht betroffen, da im Gebiet der ehemaligen DDR kein Thomasstahl verbaut wurde. Der dort hergestellte „KTS“-Stahl zeigt keine Versprödungseigenschaften.

Außer RWE hat zurzeit kein anderer Netzbetreiber ein spezielles Sanierungskonzept für Stahlgittermasten aus Thomasstahl.

Vom RWE wurden umfangreiche Untersuchungsunterlagen verschiedener Institute vorgelegt, die eine mögliche Versprödung von Thomasstahl belegen. Das RWE hat für sich daraus den Schluss gezogen, dass eine Sanierung der Masten erforderlich ist, und hat ein entsprechendes Sanierungskonzept erstellt.

Da Schäden alleine durch Thomasstahl praktisch nicht auftreten, sondern immer in Verbindung mit besonderen Witterungslagen (Sturm, Eis, Schnee), kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei den inzwischen zahlreichen Mastschäden (bezogen auf Masten der Baujahre vor 1966) der letzten Jahre um Thomasstahlschäden gehandelt haben kann. Eine Konsequenz aus dieser Erkenntnis sollte sein, dass zukünftig bei Mastschäden gezielt auf das Vorliegen von Versprödung hin untersucht wird, um die Beteiligung von Thomasstahl an den Schäden zu erkennen.

Die Bundesnetzagentur hat mit den Übertragungsnetzbetreibern und dem VDN einen Dialog zum Thema Thomasstahl und Mastsanierung begonnen.

## Schlussfolgerungen

### Wettersituation

Die Besonderheit der Wettersituation der im Münsterland am 25.11.2005 herrschenden Witterungslage wurde in der Öffentlichkeit nicht ausreichend wahrgenommen. Anfang März 2006 fielen in Bayern ebenfalls nicht gekannte Schneemengen, wobei der entscheidende Unterschied war, dass es in Bayern nicht zu Stromausfällen kam. Der Grund für die Schäden an den Freileitungen war allerdings das Zusammentreffen weiterer Einflussfaktoren: die Witterungslage im Münsterland betraf nur ein sehr kleines, eng umgrenztes Gebiet, dort kam es zu einer außergewöhnlichen Menge von Schneefall, der bei den herrschenden Temperaturen um 0 Grad extrem nass und zugleich haftend war. In diese Situation hinein kam starker Wind, mit Böen bis zur Windstärke 8. Dieser Wind hat den gut haftenden, schweren Schnee an den Leitungen zu in dieser Region nicht gekannten Schneewalzen anwachsen lassen, die mit sehr großem Gewicht die Freileitungen belasteten. Eine solche Witterungssituation hat es in den 100 Jahren zuvor im Münsterland nicht gegeben. Den Wiederholungszeitraum solcher Neuschneemengen schätzt der DWD in dieser Region auf mehr als 50 Jahre. Berücksichtigt man zeitgleich das Zusammentreffen der einzelnen Faktoren wie Nassschnee, eine Temperatur von 0 Grad und orkanartigen Wind, wird die Wiederholungswahrscheinlichkeit kleiner sein.

### Berücksichtigung von Wettersituationen im Netzbetrieb

Die Netzbetreiber sind aufgefordert zusammen mit dem Wetterdienst nach Verfahren zu suchen, mit denen eine Wetterwarnung möglichst frühzeitig präzisiert wird, damit entsprechende Gegenmaßnahmen möglich werden, z.B. Planung der Personalalarmierung, Anpassung der Netzfahrweise um gleichzeitige Belastungen zu erhalten oder zu erreichen, manuelle Eisentfernung etc. . In die Betriebsanweisungen sind entsprechende Reaktionsmaßnahmen zu möglichen Wetterwarnungen aufzunehmen.

Die Wirkung von der Netzfahrweise in Verbindung mit der Außentemperatur auf die Anhaftung von Nassschnee sollte gemeinschaftlich von den Netzbetreibern untersucht werden.

### Verfügbarkeit von Störfallmaterial

Ein weiterer Punkt, der zur Vorsorge notwendig ist, ist die Aufstellung von umfangreicheren Beständen an Entstörmaterialien, verbunden mit einer bundesweiten Übersicht über die verfügbaren Entstörmaterialien und Notstromaggregate bei anderen Netzbetreibern. Dies könnte auf der Basis der bei VDN begonnenen Arbeiten geschehen. Nach Aussage des Verbandes soll im Juni 2006 ein Leitfaden zum Krisenmanagement verabschiedet werden. Dieser soll Begriffsdefinitionen, Beschreibung von vorzuhaltender Infrastruktur, durchzuführenden Vorsorgemaßnahmen, Fragen zur Telekommunikation (Betriebsfunk, Funktelefone, Festnetz etc.) enthalten. Parallel wird auf freiwilliger Basis ein Register aufgebaut, in welchem die beteiligten Netzbetreiber Adressdaten hinterlegen von Personen, die im Krisenfall als Ansprechpartner dienen und weitere Unterstützungsmaßnahmen koordinieren können. In diesem Register soll in grober Form auch hinterlegt werden, über welche Entstörmaterialien und Notstromaggregate die Netzbetreiber verfügen. Dabei sei nicht an einen detaillierten Bestandsnachweis gedacht, da dies einen zu hohen Pflegeaufwand nach

sich ziehen würde. Die genauen Angaben sind bei den Ansprechpartnern erfragbar. Die Verfügbarkeit soll nur auf die sich beteiligenden Unternehmen beschränkt werden. Das Register soll noch in 2006 in Betrieb gehen.

Aus Sicht der Bundesnetzagentur muss das Ziel sein, dass sich hieran alle Netzbetreiber beteiligen, da nur eine bundesweite Basis die optimale Vorsorge darstellt. Auf Seiten der Netzbetreiber sind für die Notstromaggregate Katasterpläne anzulegen, aus denen erkennbar ist, an welchen Stellen mit welchem Material ein Aggregat angeschlossen werden kann und welche Leistung an diesen Punkten erforderlich ist.

In Nordrhein-Westfalen hat das Innenministerium damit begonnen, für den Katastrophenschutz ein datenbankbasiertes Kataster aller Notstromaggregate zu erstellen.

#### Netzaudit durch TÜV

RWE Energy hat der Bundesnetzagentur dargestellt, dass sie ein Netzaudit durch den TÜV beauftragt hat. Ziel dieses Audits ist „Der Nachweis des regelkonformen Prozesses für Planung und Bau sowie für die Instandhaltung von Hochspannungsfreileitungen“. Im Focus dieser Maßnahme steht die Prüfung des Prozesses, es handelt sich nicht um ein Organisationsaudit. Als Ergebnis wird ein entsprechendes Zertifikat erwartet. Ein erster Teil ist die Erstellung eines TÜV-Leitfadens. Hiermit wurden der TÜV-Rheinland und der TÜV Süd gemeinsam beauftragt. Ende Mai wird der Abschlussbericht erwartet.

Die Erstellung eines TÜV-Leitfadens, der gemeinsam von verschiedenen TÜV-Organisationen erstellt wird, ist sehr zu begrüßen. Es ist zu klären, ob alle relevanten Teile für Betrieb und Instandhaltung erfasst wurden. Insbesondere ist es anzustreben, dass diese Zertifizierung nicht nur die Hochspannungsebene, sondern alle Spannungsebenen umfasst. Dies könnte die Grundlage werden für eine allgemeingültige, verpflichtende Zertifizierung im Netzbereich.

#### Normung des Freileitungsbaus

Aus den Untersuchungsergebnissen und insbesondere aus der Erkenntnis, dass es sich nicht um den ersten Großschadensfall dieser Art im letzten Vierteljahrhundert gehandelt hat, muss die Frage nach Konsequenzen für die Regeln und Normen gestellt werden. Hier existiert die Erwartung, dass die Eigenverantwortung der Netzbetreiber und der zugeordneten Verbände zu einer raschen und sachgerechten Reaktion führt.

Der Deutsche Wetterdienst äußert die Einschätzung, dass sich Extremwittersituationen öfter und heftiger ereignen werden als dies in der Vergangenheit der Fall war. Dies sei eine klare Folge der Klimaverschiebung, die sich aus der globalen Erwärmung ergibt. Insoweit ist zu untersuchen, ob die anzusetzenden Zusatzlasten (für Eis und Wind) noch ausreichend dimensioniert sind, zumal die Norm darauf ausgelegt sein sollte, alle Wittersituationen zu berücksichtigen, die mit einer Wiederholungswahrscheinlichkeit von 50 Jahren oder öfter auftreten. Um die Anwendung einer Eislastzone nicht alleine dem Netzbetreiber zu überlassen, sollten hierzu regionale Gültigkeitsbereiche fest kartiert werden. Dies hat den Vorteil, dass eine deutschlandweite Einheitlichkeit in der Anwendung gegeben ist, und dass der Gültigkeitsbereich fest bestimmt ist. Sobald starke Schäden in einem Gebiet aufgetreten sind, ist in diesem Gebiet die Eislastzone II anzuwenden – aber der „Gebietsbegriff“ ist nicht definiert; umfasst er nur die betroffene Gemeinde, den Landkreis, einen bestimmten Radius oder

mehr? Darüber hinaus könnte man zu anderen Normen des Bauwesens Gleichartigkeit in der Anwendung herstellen.

Die auslösenden Lastfälle der einseitigen, feldweise ungleichen Belastung nur in einem Quadranten sollten unbedingt in die zu berücksichtigenden Lastfälle aufgenommen werden, um diese nun erkannte Ursache abzudecken.

Zu berücksichtigen ist, dass alle Änderungen der Normen nur eine sehr geringe Wirkung haben werden. Da es sich bislang um reine Errichtungsnormen handelt, sind die Veränderungen nur auf die Neubauten von Freileitungen anzuwenden. Dies betrifft nur einen sehr kleinen Bruchteil bezogen auf das gesamte Freileitungsnetz. Daher sind erst Änderungen in der Frage des Bestandsschutzes wirklich wirkungsvoll.

Die Forderung nach einer sofortigen Übernahme einer neuen Norm auf den gesamten Bestand ist allerdings wirtschaftlich nicht darstellbar. Da die neueste Norm alle heute bekannten Anforderungen an eine Freileitung enthält, wie diese heute nach dem Stand der Technik ausgelegt sein sollte, bleibt die Frage, ob eine über 80 Jahre alte Freileitung noch immer nach der damaligen Norm akzeptabel ist. Hier sind Anforderungen denkbar, die nach Alter oder z. B. im Falle von Sanierungen an den Masten definieren, wie neuere Erkenntnisse zu berücksichtigen sind.

Für alle vorgenannten Punkte gilt, dass die Festlegungen selbstverständlich auch die wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigen müssen. Es ist zwischen der Anforderung an die Versorgungssicherheit und den notwendigen Kosten ein Kompromiss zu finden. Dies sollte nach Auffassung der Bundesnetzagentur vom Normungsgremium möglichst transparent geschehen.

Da die Normungsgremien von Mitarbeitern der Branche dominiert werden, eine Kontrolle aber nicht vorgesehen ist, sollte darüber nachgedacht werden, ob dieser Kreis nicht durch neutrale Mitarbeiter erweitert werden kann. Möglicherweise könnte hier z.B. ein Fachmann aus der BAM gute Arbeit leisten.

#### Thomasstahl-Masten

Aufgrund der vorliegenden Unterlagen, hält die Bundesnetzagentur eine Beeinträchtigung der Versorgungssicherheit bei entsprechend hoher Belastung durch Thomasstahl für möglich.

Stahlgittermasten könnten, insbesondere auch bei geringeren Belastungen als im Münsterland, wegen der verringerten Tragfähigkeit versagen und zu Störungen in der Stromversorgung führen.

Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen:

- das vom RWE aufgelegte Sanierungskonzept erachtet die Bundesnetzagentur als grundsätzlich geeignet. Veränderungen sollten hinsichtlich der Priorisierung und der Zeitdauer geprüft werden. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse führen die Bundesnetzagentur zu der Einschätzung, dass die Sanierung bei RWE beschleunigt werden sollte.
- bei anderen Netzbetreibern, die bislang keine gezielte Thomasstahl-Mastsanierung betreiben, sollte im Rahmen wirtschaftlich zumutbarer Programme eine Sanierung vorgenommen werden.

Die Auswirkungen auf das Mittelspannungsnetz und die dort erforderlichen Maßnahmen müssen gesondert aufgearbeitet werden, da hier völlig andere Gegebenheiten als im Hochspannungsnetz zu berücksichtigen sind. Dies wird eine Aufgabe der Bundesnetzagentur in der nächsten Zeit sein.

#### Mastsanierung

Die Winkelabspannmasten sollten bei der Sanierung priorisiert werden und auch gegen die einseitige Belastung ausgelegt werden. Als Erkenntnis aus dem Störfall Münsterland resultiert die Tatsache, dass das wesentliche Auslöseelement die einseitige, ungleiche Belastung der Winkelabspannmasten war, daher sind Winkelabspannmaste in Hochspannungsleitungen, die nur einseitig mit einem System belegt sind besonders gefährdet. Diese tragen ein höheres Risiko zu ungleicher Belastung.

#### Vorgaben für die Berichterstattung und Verhaltensweisen bei Großstörungen

Für Störungsmeldungen nach § 13 (6) EnWG i.V.m. § 14 EnWG, die unverzüglich zu erfolgen haben, gibt es zurzeit keine Formvorgaben. Durch strukturierte Meldungen soll versucht werden, sehr schnell an relevante Informationen zu kommen, ohne jeweils erneut rückfragen zu müssen. Darüber hinaus sollen die Empfehlungen für Störfallbehandlung auch eine Untersuchung erleichtern. Daher sollten beschädigte Strommaste nicht beseitigt werden, bevor sie entsprechend dokumentiert wurden. Zu diesem Zweck wird die Bundesnetzagentur ein Meldungsregister und eine Verhaltensregel für Großstörungsfälle herausgeben.

#### Eigene Vorsorge

Abschließend der Hinweis, dass trotz bester Vorkehrung der Versorgungsunternehmen ein Stromausfall im Katastrophenfall auch über einen längeren Zeitraum nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann. Dies sollte bei allen Stromverbrauchern Grund genug sein, über eigene Vorsorgemaßnahmen nachzudenken. Hierzu kann man sich bei dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe über mögliche Vorsorgemaßnahmen umfangreich informieren <http://www.bbk.bund.de>.

Welche Maßnahmen jeder für sich ergreift, hängt von dem Gefährdungspotential ab und ist entsprechend anzupassen. Dies gilt auch für Gewerbebetriebe und landwirtschaftliche Betriebe, hier könnte das Vorhalten eigener Notstromaggregate sinnvoll sein, sofern nicht bereits gesetzlich vorgeschrieben.

## **Anlagen:**

### **1. Kurzgutachten RWE – Prof. Dr. Thierauf**

Siehe Internetveröffentlichung unter:

<http://www.rwe.com/app/Pressecenter/Download.aspx?pmid=4000991&datei=3>

### **2. Gutachten der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)**

Siehe Internetveröffentlichung unter:

<http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/6409.pdf>

### **3. Abkürzungsverzeichnis**

AKE	Arbeitskreis Energiepolitik (ein Kreis aus den Energieaufsichten der Bundesländer)
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informations- technik im DIN und VDE
MPA NRW	Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund (Landesbe- trieb)
RWE	Rheinisch Westfälisches Elektrizitätswerk
SAG	ursprünglich: Starkstrom-Anlagen-Gesellschaft
TESSAG	Technische Systeme & Services AG, ab 2001 RWE Solutions AG, in 2005 in der SAG aufgegangen
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
HöS	Höchstspannung (z.B. 220 kV und 380 kV)
HS	Hochspannung (z.B. 110 kV)
MS	Mittelspannung (z.B. 20 kV)
NS	Niederspannung (1 kV)