

**Vergleich der Beanspruchungen der Mastgestänge
der Bl. 2337 Kelsterbach - Landesgrenze (Aschaffenburg),
Mast Nr. 1170 bis 200
im Hinblick auf eine Zubeseilung**

Projekt Nr. A2155/18-02

Auftraggeber: Westnetz GmbH
Spezialservice Strom
Leitungen/ Leitungstechnik
Florianstraße 15 - 21
44139 Dortmund

Das vorliegende Dokument umfasst

Seite 1 bis 12

Essen, 26.11.2018



Dr.-Ing. C. Ebenau

1. Inhalt

1. Inhalt	2
2. Aufgabenstellung	3
3. Leitungsverlauf	4
4. Vergleich der auftretenden Lasten	5
5. Bewertung gemäß VDE-AR-N 4210-4	8
6. Zusammenfassung	10
7. Literatur, Normen und Dokumente	11

2. Aufgabenstellung

Die Masten Nr. 1170 bis 200 der 110 kV-Leitung Bl. 2337 Kelsterbach - Landesgrenze (Aschaffenburg) werden derzeit mit einseitiger Belegung Al/St 265/35 betrieben. Nun soll die Beseilung beidseitig auf Al/St 265/35 ergänzt werden. Als Erdseil / SLH wird derzeit ein Al/St 185/30 verwendet, im Rahmen der Zubeseilung soll dieses auf AY/ACS 159/34-18.0 oder kleiner geändert werden.

Durch Auswertung der Bestandsunterlagen und einen Vergleich mit den Beanspruchungen gemäß der Errichtungsstatik soll abgewogen werden, ob durch die Umbeseilung

- die Errichtungsnorm DIN VDE 0210 (1930) weiterhin eingehalten wird,
- eventuell der Sachverhalt einer „erheblichen Gefährdung“ gemäß VDE AR N4210-4, Abschnitt 1 vorliegt und demzufolge Nachweise entsprechend VDE AR N4210-4 zu führen wären oder
- sogar eine tragfähigkeitsrelevante Nutzungserweiterung über die ursprüngliche Dimensionierung hinaus vorliegt und Nachweise nach DIN EN 50341 zu führen wären.

Bei der Beurteilung wird auch berücksichtigt, dass die Masten mutmaßlich aus Thomasstahl gefertigt wurden und bewertet ob die daher zu unterstellende Tragfähigkeitsminderung durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen wurde.

Die genaue Berechnung der Leitungsdurchhänge und Abstände ist nicht Gegenstand dieser Stellungnahme.

3. Leitungsverlauf

Der hier betrachtete Abschnitt der 110 kV-Leitung Bl. 2337 Kelsterbach - Landesgrenze (Aschaffenburg) von Mast Nr. 1170 bis 200 verläuft von Babenhausen nach Stockstadt am Main und damit vorwiegend in West-Ost-Richtung. Dieser Abschnitt der Leitung liegt in Windzone 1 und Eislastzone 1 gemäß DIN EN 50341-2-4. Er umfasst eine Gesamtlänge von 7,8 km mit insgesamt 6 Abspannabschnitten. Derzeit ist er einseitig mit Al/St 265/35, 110 kV-Isolierung belegt. Als Erdseil / SLH wird derzeit ein Al/St 185/30 verwendet.

Der Mast 1170 wurde als Mast für 1 System im Jahr 2004 neu gebaut. Der Mast wird nun entsprechend den Anforderungen für 2 Systeme umgebaut und die Standsicherheitsnachweise hierzu entsprechend der DIN EN 50341 geführt. Der Mast 1171 wird durch einen Neubau des Gestängetypes A78-16-11 WA2WE ersetzt. Am Mast 200 ändert sich der Leitungswinkel gegenüber der Berechnung zur Instandsetzung der Bauteile aus Thomasstahl [13]. Daher wird dieser Mast auch gemäß DIN EN 50341 neu nachgewiesen.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich daher nur auf die Masten Nr. 172 bis 199. Die Masten 172 bis 191 wurden 1936 mit dem Gestängentyp B5 bzw. B5A errichtet. Der anschließende Abschnitt der Masten 192 bis 200 wurde 1950 mit dem Gestängentyp B/2/47 errichtet [9], [11], [14].

Durch den Auftraggeber wurde auch eine Zuordnung der Masten zu den Zuverlässigkeitsniveaus gemäß VDE-AR-N 4210-4 zur Verfügung gestellt [9] (Tabelle 1).

Tabelle 1: Zuordnung der Masten Nr. 172 bis 199 zu den Zuverlässigkeitsniveaus gemäß VDE-AR-N 4210-4

Zuverlässigkeitsniveau	Anzahl Masten
2	3
3	8
4	5
5	12

4. Vergleich der auftretenden Lasten

Für den Lastvergleich werden die Beseilung der Errichtungsstatik sowie die Beseilung, die bei der Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl [13] berücksichtigt wurde, mit der geplanten Beseilung verglichen.

Die Höchstzugspannung der Leiterseile Al/St 265/35 beträgt zwischen den Masten 1171 und 200 einheitlich $76,5 \text{ N/mm}^2$, die Höchstzugspannung des geplanten Erdseils zwischen 88 N/mm^2 und $89,5 \text{ N/mm}^2$. Lediglich das Spannungsfeld zwischen den Masten 178 und 179 wird wegen der Kreuzung mit der Deutschen Bahn mit ca. der halben Seilzugspannung betrieben. Für den Standsicherheitsnachweis dieser beiden Abspannmasten ist aber dennoch der 2/3-Lastfall maßgebend.

Die Höhe der Seile über Erdoberkante variiert je nach Masttyp und Verlängerung. Bei Masten ohne Verlängerung liegt das Erdseil $33,50 \text{ m}$ über Erdoberkante. Für den höchsten Mast Nr. 178 mit einer Verlängerung von $5,0 \text{ m}$ liegt es $38,50 \text{ m}$ über Erdoberkante. Der kleinste Leitungswinkel tritt bei Mast Nr. 191 mit $121,3^\circ$ auf. Die größten Windspannweiten betragen für die Tragmasten des Gestängetyps B5 bzw. B5A 270 m und 320 m für die Tragmasten des Gestängetyps B/2/47 [9], [10], [11], [14].

Für die Tragmasten der Gestängetypen B5 bzw. B5A liegen Auszüge aus der Errichtungsstatik für eine Windspannweite von 260 m jedoch für einen größeren Seildurchmesser vor [12], [15]. Für den Gestängetyp B/2/47 liegt keine Errichtungsstatik vor, so dass der Lastvergleich sich nur auf die im Rahmen der Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl erstellten Berechnungen auf der Grundlage der Errichtungsvorschrift [4] beschränkt.

In Tabelle 3 werden die Beanspruchungen aus unterschiedlichen Beseilungen entsprechend der Norm, gemäß der die Standsicherheitsnachweise geführt wurden, für maßgebliche Lastfälle für die Gestängetypen B5 bzw. B5A verglichen. Die beiden ersten Zeilen behandeln die für Tragmasten relevanten Windlasten für eine Windrichtung quer zur Leitungsrichtung. Die unteren drei Zeilen der Tabelle 3 behandeln den Vergleich der für (Winkel-)Abspannmasten maßgebenden Lastfälle. Es zeigt sich, dass die Beanspruchungen aus der geplanten Beseilung stets kleiner sind als die der Errichtungsstatik und auch entsprechend der Statik zur Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl.

Für die Masten des Gestängetyps B/2/47 entspricht die geplante Beseilung mit 2 Stromkreisen Al/St 265/35 den Annahmen der Statik zur Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl. Damit erübrigt sich ein weiterer Vergleich.

Das Erdseil AY/ACS 159/34-18.0 entspricht weitgehend dem derzeit vorhandenen und bei der Nachrechnung zur Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl angesetzten Seiltyp Al/St 185/30 (Tabelle 2).

Bei den Tragmasten der Gestängetypen B5 bzw. B5A ist ein 2,0 m hoher Erdseilbock aus 2 U-Profilen ausgeführt. Die U-Profile sind so angeordnet, dass sie bei Beanspruchung in Leitungsrichtung auf Biegung beansprucht werden und bei Beanspruchung senkrecht zur Leitungsrichtung vorwiegend durch Normalkräfte. In der Errichtungsstatik für den Tragmast Typ T1 wird der Erdseilbock aus Profilen U 120, die mit 3 Schrauben Ø19 mm angeschlossen sind, für eine Kraft von 7 kN jeweils in beide Richtungen nachgewiesen. Quer zur Leitungsrichtung wird dabei jedoch nur ein Ausnutzungsgrad von 32% erreicht, so dass der Erdseilbock Windlasten von über 20 kN aufnehmen könnte. Diesbezüglich ist daher eine ausreichende Tragfähigkeit zweifelsfrei nachgewiesen. Bei Beanspruchung in Leitungsrichtung wird für den Ausnahmefall ein Ausnutzungsgrad von 80% erreicht, so dass die Tragfähigkeit gemäß Errichtungsstatik mit 8,7 kN angegeben werden kann. Da Tragmasten im Ausnahmefall 50% der Höchstseilzugkraft aufnehmen müssen, entspricht die Tragfähigkeit in der Errichtungsstatik auch der Beseilung mit AY/ACS 159/34-18.0 (50% von 17,26 kN gemäß Tabelle 2: 8,6 kN).

Tabelle 2: Vergleich der charakteristischen Daten der Erdseile

	Statik Instandsetzung Thomasstahl	Geplantes Erdseil
Seiltyp	Al/St 185/30	AY/ACS 159/34-18.0
Seildurchmesser	19 mm	19 mm
Querschnittsfläche	213,6 mm ²	192,8 mm ²
Höchstzugspannung	80 N/mm ²	≤ 89,5 N/mm ²
Höchstseilzugkraft	17,09 kN	≤ 17,26 kN

Tabelle 3: Vergleich der Beanspruchungen aus der gesamten Beseilung für wesentliche Lastfälle für die Gestängetypen B5 bzw. B5A

Beanspruchung (Resultierende Seilkräfte)	Errichtungsstatik (VDE 0210, 1930 [3])	Statik Instandsetzung Thomasstahl (VDE 0210, 1969 [5])	Geplante Beseilung (VDE 0210, 1930 [3])
Beseilung	Kupfer 210 $\sigma_H = 160 \text{ N/mm}^2$ Bronze 70 $\sigma_H = 200 \text{ N/mm}^2$	6 x Al/St 490/65 $\sigma_H = 60 \text{ N/mm}^2$ Al/St 185/30 $\sigma_H = 80 \text{ N/mm}^2$	6 x Al/St 265/35 $\sigma_H = 76,5 \text{ N/mm}^2$ AY/ACS 159/34-18.0 $\sigma_H \leq 89,5 \text{ N/mm}^2$
Wind bei +5°C (Windspannweite)	29,0 kN (260 m)	26,0 kN (270 m)	25,9 kN (270 m)
2/3-Lastfall Abspannmasten	143,7 kN	144,3 kN	102,6 kN
Resultierende Seilkräfte bei einem Leitungswinkel von 121,3° (Mast 191)	211,3 kN	212,2 kN	150,9 kN
Torsionsbeanspruchung Abspannmasten	226,8 kNm	224,3 kNm	153,8 kNm

5. Bewertung gemäß VDE-AR-N 4210-4

Der FNN-Hinweis „Bauliche Veränderungen an bestehenden Freileitungen, Hinweise zur Anwendung der VDE-AR-N4210-4“ [8] kann zur Beurteilung der geplanten Zubeseilung herangezogen werden. Gemäß diesem FNN-Hinweis handelt es sich hier um eine Änderung der Beseilung bei Ersatz durch äquivalente Leiterquerschnitte und um eine Zubeseilung auf freien Gestängeplätzen gemäß ursprünglich geplanter Belegung. Die Beurteilung dieser Maßnahmen darf auf Grundlage der VDE-AR-N 4210-4 [7] erfolgen. Nachweise nach DIN EN 50341 [1] sind nicht erforderlich.

Ein Tausch der Isolatoren bzw. Ersatz durch aktuelle Ketten erfordert gemäß dem FNN-Hinweis keinen Nachweis. Daher werden die Ketten in dieser Stellungnahme nicht weiter behandelt. Es wird jedoch unterstellt, dass bei den Tragmasten keine Hängeketten durch V-Ketten ersetzt werden.

Nachweise der Zuverlässigkeit bestehender Masten werden gemäß VDE-AR-N 4210-4 [7] erforderlich wenn dem Betreiber Erkenntnisse vorliegen, dass eine Tragfähigkeitsminderung aufgrund von Thomasstahl entsprechend VDE-AR-N 4210-3 [6] vorliegt oder der Betreiber aufgrund der Auswertung gezielter Inspektionsmaßnahmen oder sonstiger Betriebserfahrungen die Erkenntnis erlangt hat, dass zur Vorkehrung erheblicher Gefährdungen Dritter eine Nachweisführung erforderlich wird. Anhaltspunkte zur Prüfung, ob eine Nachweisführung im obigen Sinne erforderlich wird, sind,

- a) dass Stützpunkte in einem Gebiet stehen, in dem nach DIN EN 50341-2-4 [2] wesentlich höhere Beanspruchungen durch Wind- und/oder Eislasten zu erwarten sind, als sie bei ihrer Errichtung oder einer Ertüchtigung berücksichtigt wurden oder
- b) dass wiederholt Schäden an Stützpunkten in einer Region oder an Stützpunkten derselben Bauart aufgetreten sind.

Die genannten Kriterien sind bei der Bl. 2337 Masten Nr. 172 bis 199 hinsichtlich der neuen Beseilung jedoch nicht erfüllt, denn

- eine mögliche Verminderung der Zugtragfähigkeit von Bauteilen aus Thomasstahl wurde bereits ausgeglichen und die dabei berücksichtigten Beanspruchungen waren größer als die aus der jetzt geplanten Beseilung bzw. identisch,
- wegen der Einordnung der Maststandorte in Windzone 1 und Eislastzone 1 gemäß DIN EN 50341-2-4 kann gemäß VDE-AR-N 4210-4, Anhang B auf eine Nachweisführung der Masten im Zuverlässigkeitsniveau 2 oder größer verzichtet werden.
- Schäden an Stützpunkten in dieser Region oder an Stützpunkten der hier verwendeten Baureihen sind nicht bekannt.

Ein expliziter Nachweis der Zuverlässigkeit gemäß VDE-AR-N 4210-4 ist daher nicht zu führen.

6. Zusammenfassung

Die Masten Nr. 1170 bis 200 der 110 kV-Leitung Bl. 2337 Kelsterbach Kelsterbach - Landesgrenze (Aschaffenburg) sollen mit neuen Leiterseilen Al/St 265/35 zubeseilt werden. Als Erdseil / SLH wird ein AY/ACS 159/34-18.0 oder kleiner verwendet.

Die Beurteilung dieser Maßnahmen darf für die Masten 172 bis 199 auf Grundlage der VDE-AR-N 4210-4 erfolgen. Nachweise nach DIN EN 50341 sind nicht erforderlich. Eine mögliche Verminderung der Zugtragfähigkeit von Bauteilen aus Thomasstahl wurde bei diesen Mastgestängen bereits ausgeglichen. Durch den Vergleich der Beanspruchungen aus der geplanten Beseilung konnte gezeigt werden, dass diese gleich oder geringer sind als die in der Errichtungsstatik und bei der Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl angenommenen. Insofern gilt grundsätzlich Bestandsschutz für die betrachteten Mastgestänge. Schäden an Stützpunkten in dieser Region oder an Stützpunkten der Baureihen Typ B5, B5A oder B/2/47 sind nicht bekannt.

Demzufolge muss für die Masten 172 bis 199 kein Nachweis der Standsicherheit (technische Sicherheit) gemäß VDE-AR-N 4210-4 geführt werden. Dies bedeutet, dass für die einzelnen Masten keine Prüfung auf ausreichende Zuverlässigkeit nach einer der in Abschnitt 7 der VDE-AR-N 4210-4 beschriebenen Vorgehensweisen erforderlich ist.

Für die Masten Nr. 1170, 1171 und 200 ergibt sich jedoch eine geänderte Leitungssituation, so dass diese entsprechend der aktuell geltenden DIN EN 50341 nachzuweisen sind und teilweise umgebaut oder neu errichtet werden.

Die hier dargestellte Einschätzung gilt nur für Masten, die einen einwandfreien Erhaltungszustand aufweisen. Es wird davon ausgegangen, dass Korrosionsschäden oder sonstige Beschädigungen im Rahmen der regelmäßigen Inspektionen erkannt und behoben werden.

7. Literatur, Normen und Dokumente

- [1] DIN EN 50341-1: Freileitungen über AC 1 kV - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.- Ausgabe 11.2013.
- [2] DIN EN 50341-2-4: Freileitungen über AC 1 kV - Teil 2-4: Nationale Normative Festlegungen (NNA) für Deutschland.- Ausgabe 04.2016.
- [3] VDE 0210: Vorschriften für den Bau von Starkstrom-Freileitungen. Verband Deutscher Elektrotechniker, gültig ab 01.01.1930. Veröffentlicht: ETZ 1928, S. 1090 und 1132; ETZ 1929, S. 434, 726, 947, 1135 und 1821; ETZ 1930, S. 480. - Änderung von § 2 bis 4, 6 bis 14, 17, 20, 21, 23 bis 25, 28 bis 30, 32, 33, 35, 36 und Anhang gem. ETZ 1932.
- [4] DIN 57210: Vorschriften für den Bau von Starkstrom-Freileitungen. Vorschriftenausschuss Elektrotechnik, Ersatz für VDE 0210 08.1943.
- [5] VDE 0210: Bestimmungen für den Bau von Starkstrom-Freileitungen über 1 kV. Verband Deutscher Elektrotechniker, gültig ab 01.05.1969.
- [6] VDE-AR-N 4210-3: Prüf- und Bewertungsverfahren zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Bauteilen aus Thomasstahl in Stahlgitter-Freileitungsmasten mit Nennspannungen ab 110 kV.- Anwendungsregel des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Fassung Mai 2011.
- [7] VDE-AR-N 4210-4: Anforderungen an die Zuverlässigkeit bestehender Stützpunkte von Freileitungen.- Anwendungsregel des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Fassung August 2014.
- [8] FNN-Hinweis Bauliche Veränderungen an bestehenden Freileitungen: Hinweise zur Anwendung der VDE-AR-N4210-4, Anforderungen an die Zuverlässigkeit bestehender Freileitungen.- Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), Fassung August 2014.
- [9] Westnetz GmbH: Projektbegleitbogen und Mastliste Bl. 2337, Masten 1170 bis 200, Abteilung Leitungstechnik DRW-S-LT, Stand 11.10.2018, Datei <2337 Projektbegleitbogen Statik.xlsx>.
- [10] Westnetz GmbH: Profilpläne der Bl. 2337 Kelsterbach - Landesgrenze (Aschaffenburg), Masten 1170 bis 200, 10 PDF-Dateien.
- [11] Westnetz GmbH: Mastliste der Bl. 2337 mit Zuordnung der vorhandenen Zeichnungen, Masten 171 bis 200, Stand 19.11.2018, Datei <2337 Bauteilliste.xls>.
- [12] Westnetz GmbH: 2 Statische Berechnungen zur Fundamentertüchtigung von Tragmasten der Bl. 2337, Masttypen B5A T1 +0,0 und T1 +2,5, 13.05.1981, mit Auszügen der Errichtungsstatik, Dateien <B5a_T1+0_F8290.pdf> und <B5a_T1+2,5_F8293.pdf>.
- [13] Westnetz GmbH: Statische Berechnungen zur Instandsetzung von Bauteilen aus Thomasstahl zu den Masten der Bl. 2337, Masten 171 bis 200, insgesamt 17 statische Berechnungen.
- [14] Westnetz GmbH: Zeichnungen zu den Masten der Bl. 2337, Masten 171 bis 200, insgesamt 52 System- und Werkstattzeichnungen.

- [15] Westnetz GmbH: Statische Berechnungen nach VDE 0210 (1930), Tragmast B, Typ I, Verlängerungen +0,0, +2,5, +5,0 und +7,5, aufgestellt 09.12.1930, 11 Seiten, Datei <B5_TypI normal_T_15117_Eintragungen.pdf>.