

Positionspapier

für die Tragwerksinspektion mit
Hilfe eines Multikopters

Inhalt

1. Vorbemerkung	2
2. Rechtliche Grundlagen und organisatorischer Prozessablauf	2
3. Personalqualifikation	4
4. Ausrüstung	4
5. Vorbereitung der Tragwerksinspektion	5
5.1. Vorbereitung der Durchführung	5
5.2. Vorbereitung der Ausrüstung	5
5.3. Vorbereitung der Umgebung	6
6. Durchführen der Tragwerksinspektion	6
6.1. Inspektionsanweisung	6
6.2. Dokumentation und Prüfbericht	7
7. Bewertung der Ergebnisse der Tragwerksinspektion	8
8. Festlegen der weiteren Schritte	8
9. Abbildungsverzeichnis	9
I. Literaturverzeichnis	10
II. Anhang	11
Anhang 1: Test-Charts	11
Anhang 2: Allgemeine kritische Punkte des Krantragwerks	12

1. Vorbemerkung

Krane werden im Allgemeinen nicht dauerhaft ausgelegt, sondern sind zeitfeste Konstruktionen. Erreicht die Spannungsspielzahl im Betrieb die bei der statischen Berechnung des Krans festgelegte Spannungsspielzahl, ist die Lebensdauer des Krantragwerks verbraucht.

Auch wenn der Kran noch eine theoretische Restlebensdauer hat, kann es vorkommen, dass vor dem Erreichen dieser theoretischen Grenze Teile des Tragwerks bereits Schäden in Form von Rissen im Material oder durch Korrosion aufweisen können.

Gründe für solche Schäden können sein:

1. Konstruktionsfehler von Schweißdetails (z.B. eine ungünstige Gestaltung, oder eine Schweißnahtkonstruktion, die den erforderlichen Kerbfall nicht erreicht)
2. Qualitätsmängel bei der Fertigung
3. Ungenügender Korrosionsschutz

Solche Schäden lassen sich nur durch eine regelmäßige Inspektion des Tragwerks rechtzeitig erkennen. Bei einer solchen Inspektion müssen unter Umständen Stellen des Tragwerks erreicht werden, die über die vorhandenen Laufstege nicht erreichbar sind und können deswegen im Allgemeinen nicht im Rahmen der jährlichen Prüfung durch einen Sachkundigen (zur Prüfung befähigte Person) durchgeführt werden. Für die Durchführung einer solchen Inspektion sind außerdem entsprechende Fachkenntnisse notwendig.

2. Rechtliche Grundlagen und organisatorischer Prozessablauf

Arbeitsmittel müssen nach § 5 Abs. 1 und § 10 Abs. 1 Betriebssicherheitsverordnung sicher sein, in einem sicheren Zustand gehalten werden und dem Stand der Technik entsprechen (Nr. 2.2 Abs. 1 EmpfBS 1114).

Sind Arbeitsmittel Schäden verursachenden Einflüssen ausgesetzt, die zu Gefährdungen der Beschäftigten führen können, hat der Arbeitgeber dieses nach § 14 Abs. 2 Betriebssicherheitsverordnung wiederkehrend von einer zur Prüfung befähigten Person prüfen zu lassen.

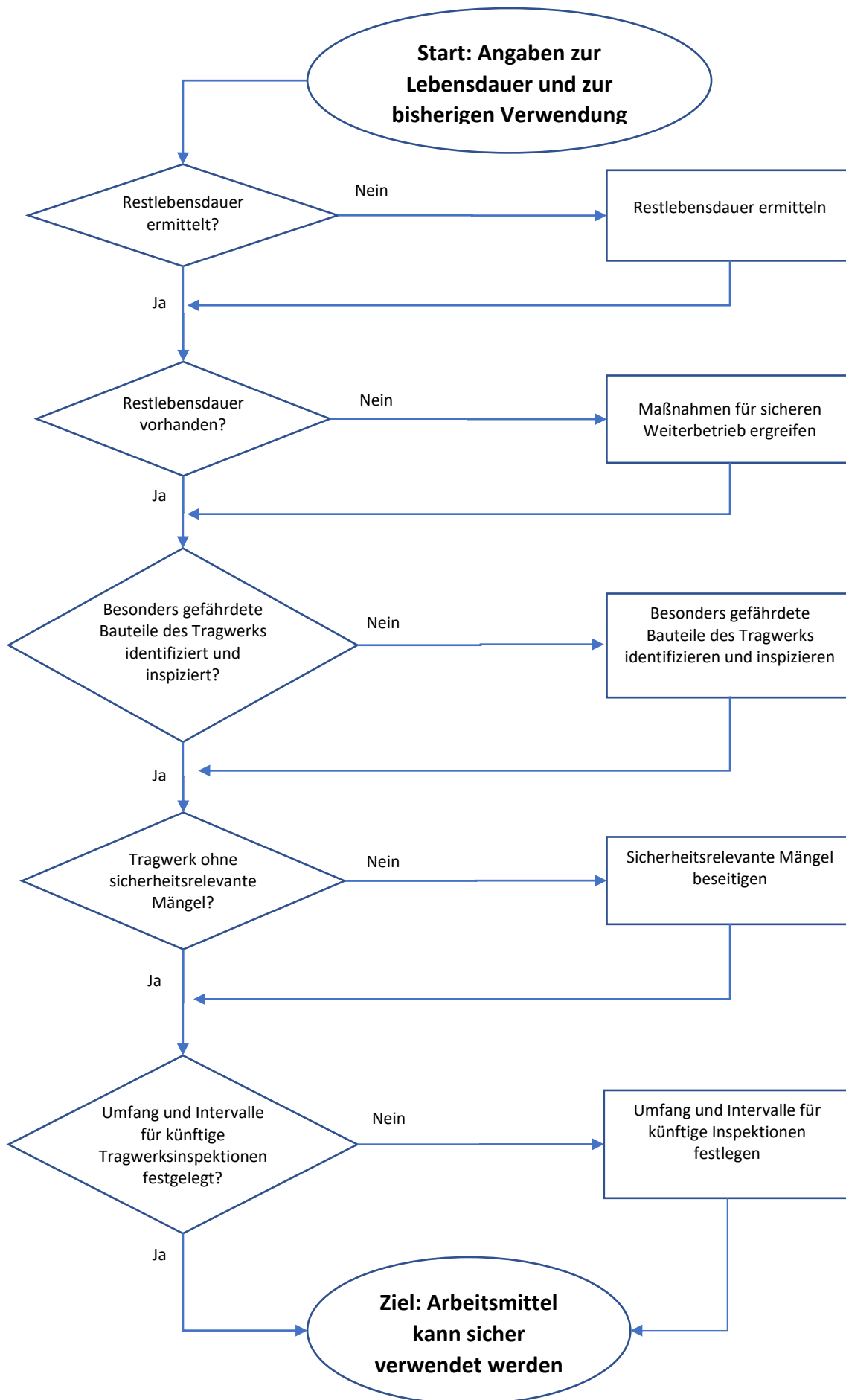


Abbildung 1: organisatorischer Prozessablauf

3. Personalqualifikation

Die erforderliche Personalqualifikation für die Durchführung der Tragwerksinspektion kann aus der nachstehenden Qualifikationsmatrix entnommen werden.

Qualifikationen für Tragwerksinspektionen	Fliegen einer Drohne	Identifikation und Dokumentation von Verdachtsstellen	Dokumentation der Ergebnisse der Kranprüfung (DGUV Grundsatz 309-001)	VT-Prüfung von Schweißnähten (DIN EN 13018)	Aufzeichnen und Auswerten der Bildaufnahmen (DIN EN ISO 5817)	Überprüfung/Kalibrierung der Ausrüstung
Drohnen-Pilot (Eg-V-2019/947)	+	-	-	-	-	-
Sachkundiger	-	+	+	-	-	-
Kransachverständiger	-	+	+	-	-	-
Schweißfachingenieur	-	+	-	+	+	+
VT Prüfer Stufe 2 (DIN EN ISO 9712; Produktsektor (w) oder Industriegesektor (s))	-	+	-	+	+	+

Tabelle 1: Qualifikationsmatrix

Hinweis: Die Anforderung an die Qualifikation eines Drohnenpiloten richtet sich unter anderem nach Größe, Gewicht und Einsatzort. Details über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge sind in der Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 geregelt.

4. Ausrüstung

Bei einer Inspektion mit einer Kamera an einer Drohne muss die Qualität der Ergebnisse, mindestens denen einer konventionellen Sichtprüfung entsprechen. Insbesondere ist es notwendig Schweißnahtunregelmäßigkeiten, wie sie in der DIN EN ISO 5817 beschrieben sind zu erkennen

Verwendete Hilfsmittel müssen für die entsprechende Aufgabe geeignet sein, damit Fehl- und Verdachtsstellen zuverlässig erkannt werden können. Um die Eignung für die Prüfaufgabe bewerten zu können, sind nicht nur einzelne Komponenten (Multikopter, Fernbedienung, Kamera, Bildschirm) sondern das ganze System als Einheit zu prüfen:

- Multikopter und Gimbal müssen für die verwendete Kamera geeignet sein
- Eignung für gegebene Umgebungsbedingungen:
 - Windstabilität
 - Feuchtigkeitsresistenz
 - Lichtverhältnisse
 - Temperaturbereich

Weitere beispielhafte Punkte, die bei der Eignung berücksichtigt werden sollten, können der untenstehenden Tabelle entnommen werden.

Foto-/ Videokamera	Monitor	Fernbedienung
- Belichtungszeit, Lichtempfindlichkeit - Sensorgröße, Auflösung - Kontrast, Weißabgleich - Brennweite - Zoom, Autofokus - Speicherformat und Speicherplatz - Aufzeichnung des Datums, der Zeit und der eindeutigen Identifizierung	- Größe - Mehrfarbigkeit - Auflösung - Kontrast - Bereich des Blickwinkels - Methode der Bilddatenübertragung	- Bewegungsbereich - Geschwindigkeit und Kontrollierbarkeit - Positionierungsgenauigkeit (z.B. Distance Lock)

Tabelle 2: Beispielhafte Spezifikationen von Einheiten eines Multikoptersystems

5. Vorbereitung der Tragwerksinspektion

5.1. Vorbereitung der Durchführung

Im Vorfeld sind besonders gefährdete Bauteile des Tragwerks zu identifizieren. Besonders gefährdete Bauteile an Krantragwerken in Fachwerkbauweise sind zum Beispiel:

1. Abspannungen, die unter Zug stehen (Anhang 2, Abbildung 4)
2. Gurte von Fachwerkträgern, einschließlich eventuell vorhandener geschweißter Bedarfsstöße der Gurtprofile (Anhang 2, Abbildung 5)
3. Aufhängungen von Fachwerkträgern an den Stützen (Anhang 2, Abbildung 6)

Weitere Stellen mit hoher Beanspruchung im Tragwerk ergeben sich aus der statischen Berechnung. Ist die statische Berechnung nicht vorhanden, kann es sinnvoll und effizienter sein diese neu aufzustellen, um den Umfang der Inspektion auf das wirklich Notwendige anzupassen.

Zur nachvollziehbaren Dokumentation können die zu inspizierenden Teile des Tragwerks nummeriert und dies in eine Zeichnung eingetragen werden.

Hinweis:

- Beim Betrieb von Multikoptern im Luftraum sind die jeweiligen regionalen Bestimmungen einzuhalten. Sensible Bereiche in denen häufig Portalkrane zu finden sind, sind zum Beispiel Wasserstraßen, Industrieanlagen und Eisenbahnstrecken. Vor dem Einsatz sind Erkundungen und gegebenenfalls Genehmigungen einzuholen.
- Eine spezielle Drohnenhaftpflichtversicherung ist obligatorisch und deckt Schäden ab, die ein Multikopter verursachen könnte.

5.2. Vorbereitung der Ausrüstung

Bevor eine Kamera an einer Drohne zur Inspektion des Tragwerks verwendet wird, ist es notwendig, dass diese kalibriert wird. Zusätzlich ist die verwendete Ausrüstung am Ende einer jeden Inspektion sowie alle vier Stunden einer Funktionskontrolle zu unterziehen. Hierzu können Testcharts (siehe Anhang 1) verwendet werden. Diese sollten geeignet sein sowohl die Auflösung als auch Kontrast und Farbechtheit des Bildmaterials zu bewerten.

Der Multikopter ist einem Funktionscheck zu unterziehen und auf äußere offensichtliche Schäden (z.B. beschädigte, angerissene Rotoren) zu untersuchen.

Es ist sicherzustellen, dass alle Akkus ausreichend geladen sind, um den geforderten Prüfumfang unter den gegebenen Umweltbedingungen abdecken zu können.

5.3. Vorbereitung der Umgebung

Die Umgebung des Krans ist so zu kennzeichnen und abzusperren, dass:

- Pilot und Inspekteur von eventuellem Werksverkehr nicht gefährdet werden
- Unbeteiligte nicht aus Versehen in die Flugzonen und eventuelle Absturzzonen betreten

Des Weiteren sind mit dem Betreiber des Krans organisatorische Maßnahmen zu treffen, um weitere eventuelle Gefährdungen (z.B. Lieferverkehr) zu vermeiden.

6. Durchführen der Tragwerksinspektion

Das Tragwerk wird mit dem Multikopter nach dem zuvor festgelegten Plan abgeflogen, dieser enthält alle zuvor identifizierten und festgelegten zu untersuchenden Teile des Tragwerks. Für die Vorgehensweise gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten:

- Inspektion und Bewertung erfolgt in Echtzeit vor Ort, Dokumentation erfolgt zeitlich versetzt
- Fotos und Videos werden zur späteren Inspektion, Bewertung und Dokumentation erstellt

Folgende Punkte können Auswirkungen auf die Identifikation von Rissen haben:

- Helligkeit: Sonnenschein/ Bewölkungsgrad/ Schattenbildung
- Reflexionsgrad der Oberfläche
- Farbe/ Kontrast der Oberfläche
- Verschmutzungen
- Auflösung der eingesetzten Ausrüstung
- Abstand zur Prüffläche
- Fluggeschwindigkeit des Multikopters
- ...

Im Rahmen der Inspektion sind diese Punkte gegebenenfalls unter anderem durch folgende Maßnahmen zu berücksichtigen:

- Aufnahme unterschiedlicher Blickwinkel
- Verwendung unterschiedlicher Belichtungszeiten
- Gesonderte Dokumentation nicht bewertbarer Stellen
- Aufnahme mit unterschiedlichen Vergrößerungen
- Aufnahmen zu unterschiedlichen Tageszeiten und nur bei guten Lichtbedingungen
- Verwendung von Technologien zur Abstandsregulierung gegenüber dem Tragwerk

Es wird empfohlen den Multikopter von einer Person fliegen und das Bildmaterial von einer weiteren zur Prüfung befähigten Person sichten zu lassen. So wird die Ergonomie der Inspektion und die Konzentrationsfähigkeit der inspizierenden Person verbessert.

Ein qualifizierter Prüfer sollte die Inspektion in Echtzeit begleiten, um die Aussagekraft des Bildmaterials beurteilen und gegebenenfalls gemäß der oben aufgeführten Punkte nachsteuern zu können.

6.1. Inspektionsanweisung

a) Inspektionsgegenstand, -position, Zugänglichkeit und Geometrie

- Portalkran
 - Marke
 - Baujahr

- Bauweise
- ...
- Standort
 - In einem Gebäude/ unter freiem Himmel
 - Zugänglichkeit
 - Umgebung (z.B. kritische Infrastruktur)
- b) Umfang
 - Sichtung der vorab definierten kritischen Schweißnähte
- c) Technik und Reihenfolge der Abwicklung
 - Spezifikationen der Kameratechnik
 - Spezifikationen des Multikopters
 - Reihenfolge der definierten Inspektionspunkte
- d) Oberflächenbeschaffenheit
 - Farbe
 - hell/ dunkel
 - glänzend/ matt
 - Vorschädigungen wie z.B. Korrosionsspuren
- e) Oberflächenvorbehandlung
 - keine Vorbehandlung/ Reinigung
 - ggf. Definition von Referenzstellen
- f) Fertigungs- oder Betriebszustand zum Zeitpunkt der Inspektion
- g) Anforderungen an das Prüfpersonal
 - Siehe Tabelle 1
- h) Zulässigkeitskriterien für Unregelmäßigkeiten
 - In der Statik festgelegte erforderliche Bewertungsgruppen zum Beispiel nach DIN EN ISO 5817, aktuelle Normenreihe DIN EN 13001, ...
 - Herstellerangaben
 - ...
- i) Beleuchtung (Art, Stärke und Richtung)
 - Tageslicht: DIN EN ISO 17637 Kapitel 4
 - gleichmäßige Ausleuchtung (Vermeidung von Schattenwurf)
- j) zu verwendende Sichtprüfgeräte
 - Eignung der Multikoptersysteme, zum Beispiel auf Grund von:
 - Erfahrung (bewährt in der Praxis)
 - Herstellerangaben (gefertigt für Prüfaufgaben)

6.2. Dokumentation und Prüfbericht

Aufbau und Inhalt des Prüfberichtes sollte nach DIN EN ISO 13018 erfolgen. Er sollte u.a. so gestaltet sein, dass die Vorgehensweise und der Kranzustand nachvollzogen werden können. Eine lückenlose Dokumentation aller begutachteten Punkte ist wichtig, um ein Übersehen von kritischen Stellen auf Grund folgender beispielhafter Einflüsse zu vermeiden:

- Ähnlichkeit von Schweißnähten
- Vielzahl/ Menge der Inspektionspunkte
- Unaufmerksamkeit/ Müdigkeit
- Unterbrechungen im Arbeitsablauf (Pausen, Störungen, Verbindungsabbrüche des UAS)

7. Bewertung der Ergebnisse der Tragwerksinspektion

Die Bilder bzw. Videos müssen von einer Person mit der entsprechenden Qualifikation ausgewertet werden.

Ist eine Bewertung anhand des Bildmaterials nicht möglich oder handelt es sich um sogenannte Verdachtsstellen, sollte immer eine zusätzliche direkte Sichtprüfung vor Ort durchgeführt werden. Wenn erforderlich ist ein ergänzendes zerstörungsfreies Prüfverfahren nach DIN EN ISO 17635 wie z. B. Eindringprüfung oder Magnetpulverprüfung einzusetzen.

Bei Scheinanzeigen handelte es sich um Unregelmäßigkeiten, die als solche erscheinen, aber sich nicht verifizieren lassen (zum Beispiel abgeplatzte Farbreste). Diese sollten zur besseren Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse mit dokumentiert werden, um dies auch für Folgeinspektionen verfügbar zu haben.

8. Festlegen der weiteren Schritte

Werden Schäden im Tragwerk erkannt, kann der Kran nicht weiterverwendet werden (§5 Abs. 2 BetrSichV). Eine weitere Verwendung darf erst erfolgen, wenn die Mängel so eingestuft wurden, dass sie nicht kritisch sind und zu einem späteren Zeitpunkt beseitigt, werden können, oder wenn die sicherheitsrelevanten Mängel beseitigt sind (§ 11 DGUV Vorschrift 1).

Reparaturen am Tragwerk sind eine prüfpflichtige Änderung § 14 Betriebssicherheitsverordnung.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: organisatorischer Prozessablauf.....	3
Abbildung 2 Testchart USAF	11
Abbildung 3 Beispiel für Kamera Testchart.....	11
Abbildung 4 Abspannung als Zugelement.....	12
Abbildung 5 Gurte von Fachwerkträgern	12
Abbildung 6 Aufhängung von Fachwerkträgern an Stützen	13

I. Literaturverzeichnis

- Ausschus für Betriebssicherheit. (2018). *EmpfBS 1114 Empfehlungen zur Betriebssicherheit Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln*.
- Bundesministeriums der Justiz. (2015). *Betriebsicherheitsverordnung*.
- Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2013). *Merkblatt OV 01 Teil 1 Auswahl und Erstprüfung von optischen Sichtprüfgeräten (Endoskope, Videoskope, Inspektionskameras)*. Berlin: DGZfP.
- Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (2013). *Merkblatt OV 01 Teil 2 Überprüfung (Wiederholungsprüfung) von optischen Sichtprüfgeräten (Endoskope, Videoskope, Inspektionskameras) durch den Anwender*. Berlin: DGZfP.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2003). *DIN EN 13927:2003-03 Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Geräte*. Berlin: DIN Media.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2006). *DIN EN 10219-1:2006-07 Kaltgeformte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen - Teil 1*. Berlin: DIN Media.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2015). *DIN EN 13001 Normenreihe*. Berlin: DIN Media.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2022). *DIN EN ISO 9712:2022-09 Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*. Berlin: DIN Media.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2023). *DIN EN ISO 5817:2023-07 Schweißen – Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) – Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten*. Berlin: DIN Media.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2024). *DIN EN 1090-2:2024-09 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken Teil 2*. Berlin: DIN Media.
- DGUV Deutsche gesetzliche Unfallversicherung . (2013). *DGUV Vorschrift 1 Grundsätze der Prävention*.
- DGUV Deutsche gesetzliche Unfallversicherung. (2012). *DGUV Grundsatz 309-001 Prüfung von Kranen*. Mainz: BGHM.
- DGUV Deutsche gesetzliche Unfallversicherung. (2013). *DGUV Vorschrift 52 Krane*. Mainz: BGHM.
- Europäische Kommission. (2019). *Delegierte Verordnung (EU) 2019/945 über unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Drittlandbetreiber unbemannter Luftfahrzeugsysteme*.
- Europäische Kommission. (2019). *Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge*.

II. Anhang
Anhang 1: Test-Charts

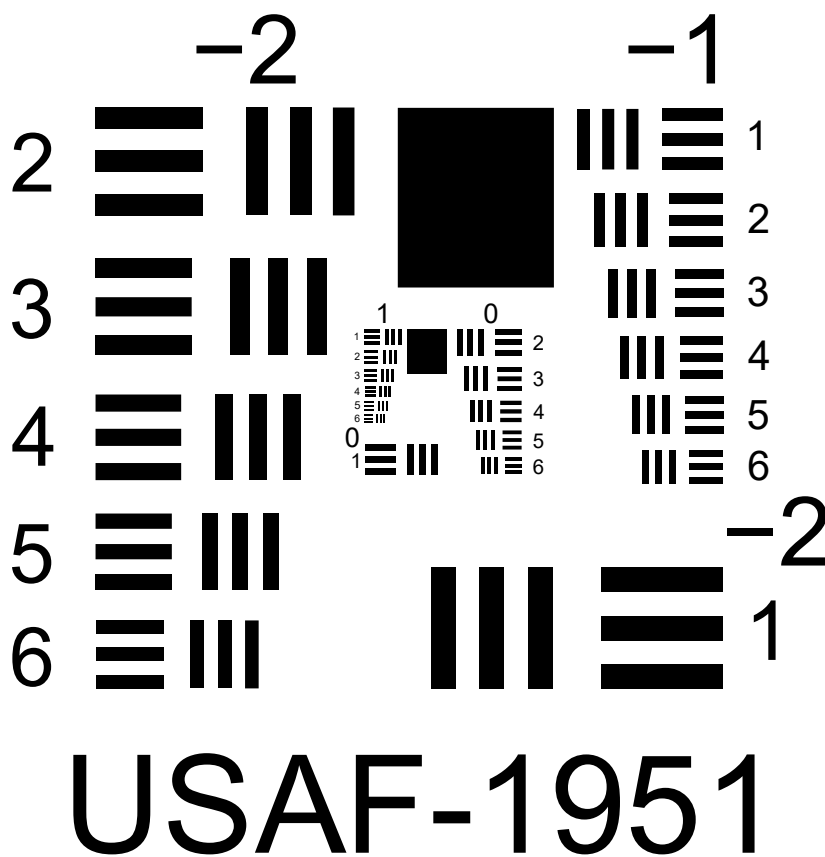


Abbildung 2 Testchart USAF

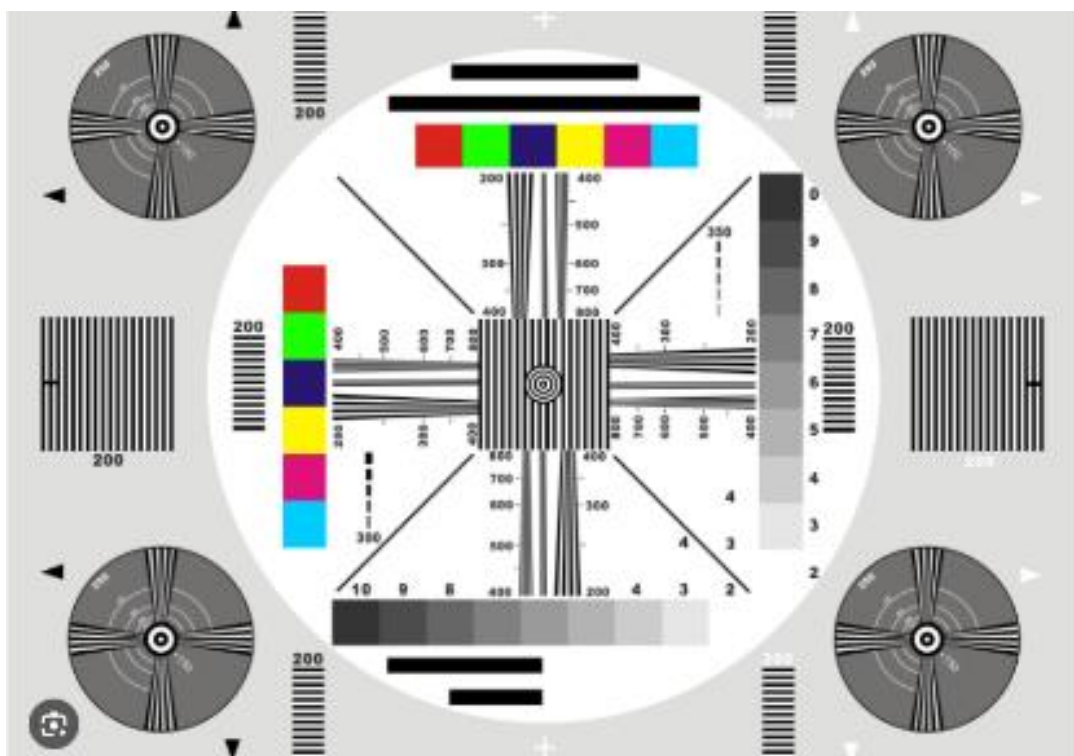


Abbildung 3 Beispiel für Kamera Testchart

Anhang 2: Allgemeine kritische Punkte des Krantragwerks

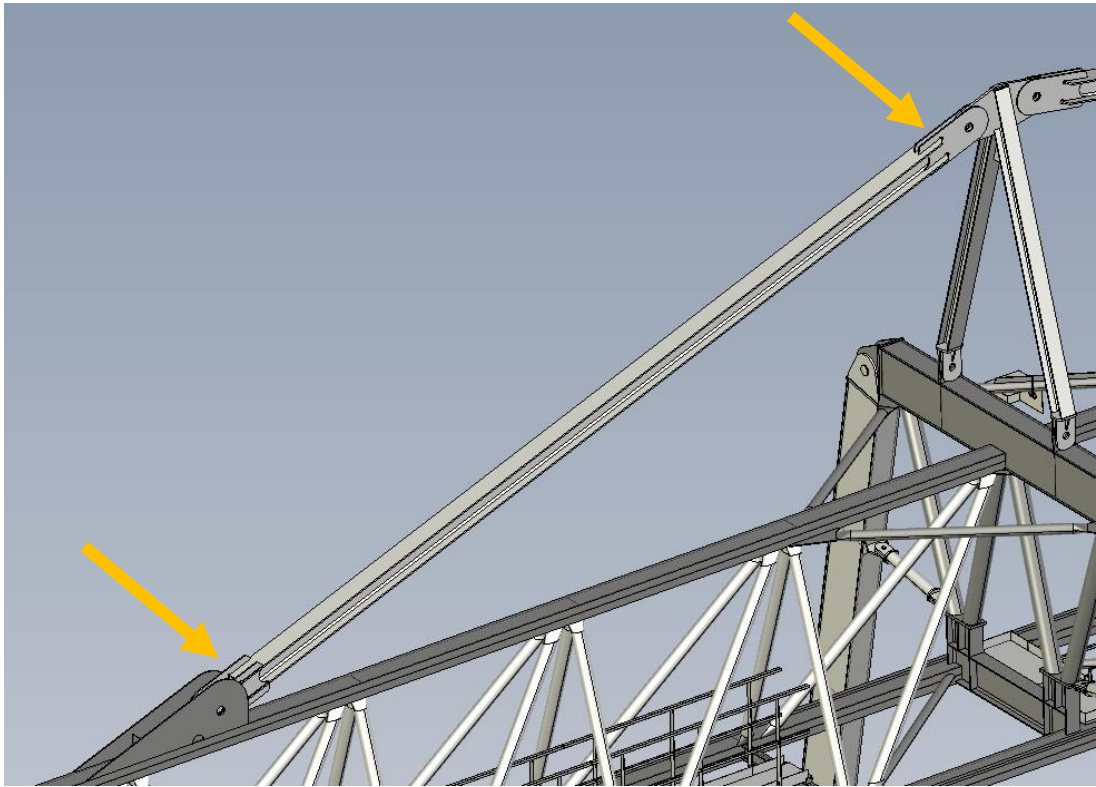


Abbildung 4 Abspannung als Zugelement

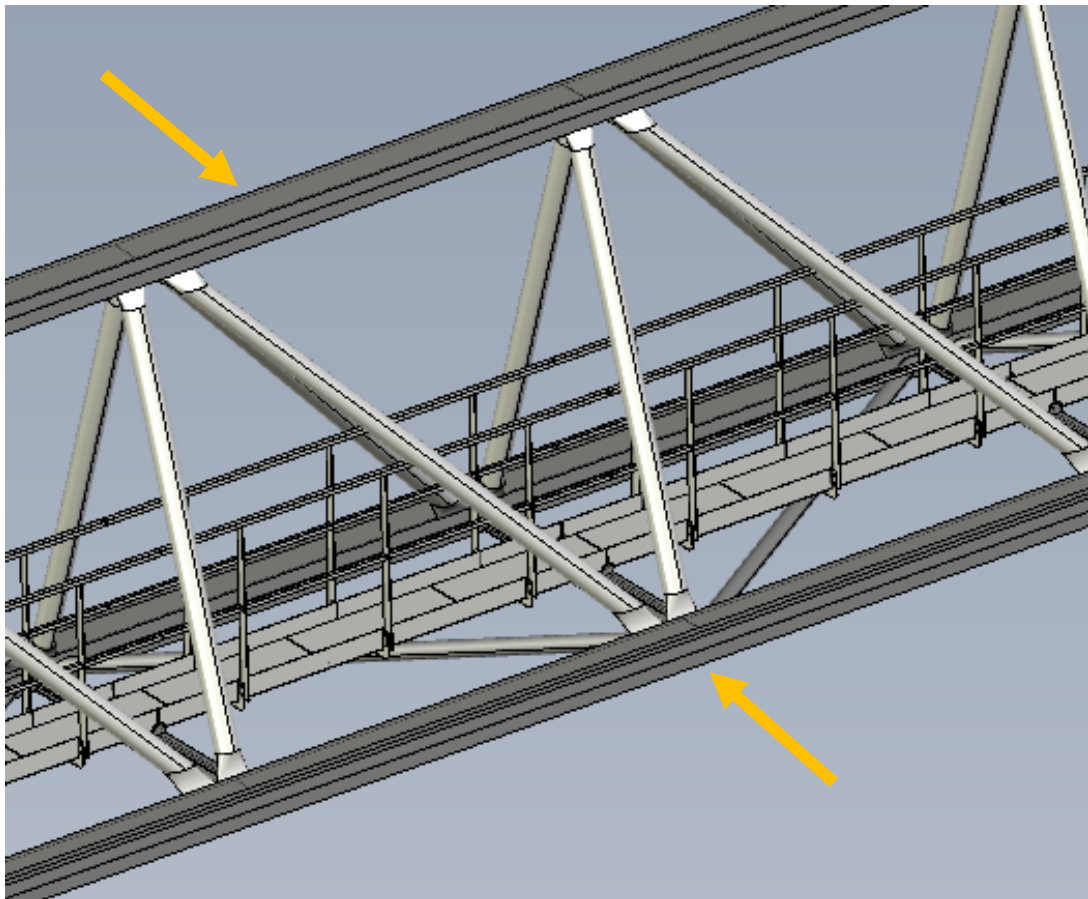


Abbildung 5 Gurte von Fachwerkträgern

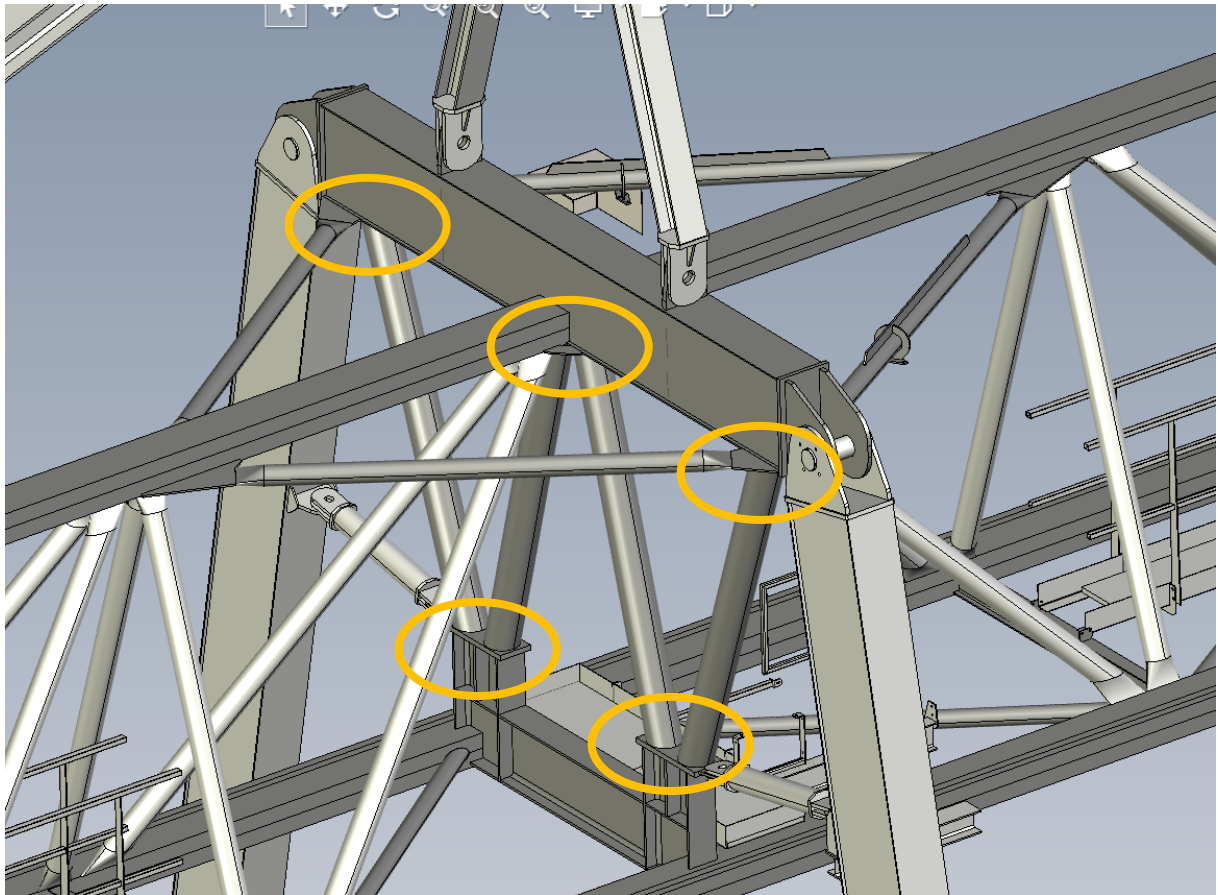


Abbildung 6 Aufhängung von Fachwerkträgern an Stützen