



RIGGING SERVICE
Veranstaltungstechnik

Dominic Tomazsewski

Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik

Einsatz, Überwachung
und Sicherheit im
Rigging

Version 1.0, 09. März 2025

2025

Die korrekte Lastüberwachung ist in der Veranstaltungstechnik ein zentraler Sicherheitsfaktor. Dieses Whitepaper bietet praxisnahe Lösungen, standardisierte Prozesse und technische Empfehlungen für den professionellen Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) im Rigging.

Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik: Einsatz, Überwachung und Sicherheit im Rigging

Normen | Best Practices | Prozessoptimierung | Sicherheit

Inhaltliche Schwerpunkte

- Grundlagen und Funktionsweise von Lastmesszellen (LMZ)
- Einhaltung von Normen (DIN EN 17206, DGUV Vorschrift 17/18, IGWV SQQ2)
- Praxisanwendungen in Messehallen, Arenen und Open-Air-Events
- Qualifikation von LMZ-Operatoren
- Automatisierte Überwachung und Sicherheitsmaßnahmen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	6
1.1 Relevanz und Notwendigkeit von Lastmesszellen (LMZ) in der Veranstaltungstechnik.....	7
1.1.1 Technische Notwendigkeit und sicherheitsrelevante Herausforderungen.....	7
1.2 Technische und organisatorische Einordnung.....	8
1.2.1 Zweck und Hintergrund.....	8
1.2.2 Zielsetzung.....	8
1.2.3 Abgrenzung und Geltungsbereich.....	9
2. Rechtliche Grundlagen & Normen.....	10
2.1 Gesetzliche Vorgaben für den Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) in der Veranstaltungstechnik.....	10
2.1.1 Allgemeine rechtliche Rahmenbedingungen.....	10
2.1.2 Verantwortung von Betreibern und Rigging-Firmen.....	11
2.2 Technische Normen für den sicheren Einsatz von Lastmesszellen.....	12
2.2.1 Allgemeine sicherheitsrelevante Normen.....	12
2.2.2 Spezifische Normen für Lastmesszellen und LED-Wände.....	13
2.3 Anforderungen an die Dokumentation von Lastmesswerten.....	13
2.3.1 Pflicht zur Lastdokumentation gemäß DGUV und IGWV.....	13
2.3.2 Anforderungen an ein standardisiertes Messprotokoll.....	14
2.3.3 Langzeitaufzeichnung und elektronische Archivierung.....	14
2.3.4 Herausforderung bei der Beweissicherung.....	15
3. Funktionsweise und Messprinzipien von Lastmesszellen (LMZ).....	17
3.1. Dehnungsmessstreifen (DMS) als Standardtechnologie.....	17
3.2 Unterschiedliche Bauformen von Lastmesszellen.....	18
3.2.1 Schäkel-Lastmesszellen.....	19
3.2.2 Drahtlose Lastmesszellen.....	21
3.3 Messgenauigkeit und Kalibrierung von Lastmesszellen.....	23
3.3.1 Genauigkeitsklassen und Fehlerquellen.....	23
3.3.2 Kalibrierung von Lastmesszellen.....	24
3.3.3 Prüf- und Dokumentationsanforderungen.....	25
3.4 Einflussfaktoren auf die Messergebnisse und deren Kompensation.....	25
3.4.1 Umweltfaktoren und ihre Auswirkungen.....	25
3.4.2 Mechanische Einflussfaktoren.....	26
3.4.3 Systembedingte Einflussfaktoren.....	26
3.4.4 Übersicht: Einflussfaktoren und Kompensationsmaßnahmen.....	27
4. Auswahlkriterien für Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik.....	28
4.1. Standardisierte Schäkel-Lastmesszellen als bevorzugte Lösung.....	28
4.2 Messgenauigkeit und Tragfähigkeit.....	29

4.3 Kabelgebundene vs. drahtlose Systeme.....	30
4.3.1 Energieversorgung und Batteriemanagement.....	31
4.4 Schutzart und Umwelteinflüsse.....	32
4.5 Einbau und Installation von Lastmesszellen.....	33
4.5.1 Vorbereitende Maßnahmen für den Einsatz von Lastmesszellen.....	33
4.5.2 Spezifische Installationsrichtlinien für Schäkel.....	34
4.5.3 Installationsrichtlinien für drahtlose Lastmesszellen.....	40
4.5.4 Installationsfehler und deren Vermeidung.....	43
4.6 Interpretation der Messwerte und Fehleranalyse.....	44
4.6.1 Grundlagen der Messwertinterpretation.....	44
4.6.2 Häufige Fehlerquellen und deren Auswirkungen.....	45
4.6.3 Analyseverfahren zur Fehlersuche.....	46
4.6.4 Maßnahmen bei Verdacht auf Fehlmessungen oder Überlastungen.....	46
4.6.5 Resultierende Messergebnisse aus Fehlbelastungen in nicht überwachten Punkten.....	47
4.7 Maßnahmen bei Überlastungen und unplausiblen Werten.....	47
4.7.1 Sofortmaßnahmen bei erkannten Überlastungen.....	48
4.7.2 Maßnahmen zur Lastreduzierung bei drohender Überlast.....	49
4.7.3 Fehlermöglichkeiten und Maßnahmen bei unplausiblen Werten.....	49
4.7.4 Dokumentation und Berichterstellung.....	50
4.7.5 Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Überlastungen.....	50
4.7.6 Automatische Abschaltung von Motoren bei Überlastungen.....	51
5. Einsatz von Lastmesszellen in Messehallen, Arenen und Open-Air-Events.....	52
5.1 Von der statischen Theorie zur realen Baupraxis: Der risikobasierte Einsatz.....	53
5.2. Messehallen: Ausgangslage und Rahmenbedingungen für den Riggingbetrieb.....	54
5.2.1 Kompensationsmaßnahmen bei begrenztem Einsatz von Lastmesszellen.....	65
5.3 Lastmesszellen in Arenen und Mehrzweckhallen.....	70
5.4 Lastmesszellen bei Open-Air-Veranstaltungen.....	73
5.5 Anforderungen an Kunden und Fremdfirmen.....	75
5.5.1 Herausforderungen in der Zusammenarbeit.....	75
5.5.2 Kommunikation und Schnittstellenmanagement.....	76
5.5.3 Anforderungen an Kunden und Fremdfirmen.....	76
5.5.4 Sicherstellung der Lastüberwachung durch Fremdfirmen.....	76
5.5.5 Übergabeprotokoll und Lastabnahme.....	76
5.5.6 Eskalationsmaßnahmen bei Nichteinhaltung.....	76
5.5.7 Verantwortlichkeiten nach relevanten Normen und Vorschriften für Veranstaltungen.....	77
5.5.8 Fazit: Klare Verantwortlichkeiten für Rigging und Lastmessungen.....	77
5.6 Anforderungen an einen LMZ-Operator.....	77
5.6.1 Schulungsanforderungen für LMZ-Operatoren.....	78

5.6.2 Verantwortlichkeiten eines LMZ-Operators vor, während und nach einer Veranstaltung.....	78
6. Drahtlose Lastmesssysteme und WLAN-Infrastruktur: Risiken, Konflikte und Lösungsansätze.....	79
6.1 Lösungsansätze für den sicheren Einsatz drahtloser LMZ trotz WLAN-Belastung.....	79
6.2 Technologietransfer: Intelligente Funkstrategien für zukünftige LMZ-Systeme.....	81
6.2.1 Potenziale intelligenter HF-Architekturen für drahtlose Lastmesssysteme.....	83
6.3 Optimierung der WLAN-Performance für Lastmesszellen in Veranstaltungsumgebungen.....	83
7. Handlungsempfehlungen.....	85
7.1 Checkliste für den sicheren Einsatz von Lastmesszellen.....	85
7.2 Empfehlungen für Unternehmen und Einzelpersonen.....	86
7.3 Zukunft der Lastmessung in der Veranstaltungstechnik.....	87
8. Meine Gedanken.....	88
Anlage 1: Standardprozess für den Einsatz von Lastmesszellen.....	89
Anlage 2: Standardprotokoll für Lastmesszellen.....	91
Anlage 3: Grundprinzipien der Kräfteverteilung und Praxisbeispiele für den gezielten Einsatz von Lastmesszellen.....	94
Quellenverzeichnis.....	99
Bildquellen.....	103

1. Einleitung

Die Veranstaltungstechnik hat sich in den letzten Jahren zu einem hochspezialisierten Feld entwickelt, das zunehmend durch komplexe technische Anforderungen und einen hohen sicherheitstechnischen Anspruch geprägt ist. Insbesondere im Rigging, dem temporären Aufbau von Tragwerken zur Aufnahme von Beleuchtungs-, Ton-, Video- oder Dekorationselementen, steigen die Erwartungen an präzise Planung, fachgerechte Ausführung und lückenlose Überwachung.

Neben der statischen Auslegung von Konstruktionen rückt dabei vor allem die kontinuierliche Überwachung realer Lastverhältnisse in den Fokus. Temporäre Zusatzlasten, Windbeanspruchung, dynamische Effekte oder nachträgliche Eingriffe Dritter können erhebliche Abweichungen vom geplanten Lastverhalten verursachen.

Genau an dieser Stelle kommen Lastmesszellen (LMZ) zum Einsatz: Sie ermöglichen die punktgenaue Erfassung aktueller Belastungen und dienen somit als unverzichtbares Werkzeug zur Betriebssicherheit temporärer Tragwerke.

Dabei darf der Einsatz von LMZ jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Ihr Nutzen steht und fällt mit der fachgerechten Auswahl, der sinnvollen Platzierung im System sowie der qualifizierten Interpretation der ermittelten Daten. Falsch verstandene Messwerte oder unbeobachtete Strukturbereiche können zu einem trügerischen Gefühl von Sicherheit führen. Es bedarf daher eines übergeordneten Konzepts, das sowohl technische als auch organisatorische Aspekte umfasst von der Planung über die Implementierung bis hin zur Übergabe und Dokumentation.

1.1 Relevanz und Notwendigkeit von Lastmesszellen (LMZ) in der Veranstaltungstechnik

Die präzise Erfassung und kontinuierliche Überwachung von Lasten ist in der modernen Veranstaltungstechnik längst keine Kür mehr, sondern ein sicherheitsrelevanter Standard. Temporäre riggingtechnische Konstruktionen unterliegen zahlreichen Einflüssen, die sich auf die tatsächliche Belastungssituation auswirken, etwa durch variable Einbauten, dynamische Beanspruchungen, Wettereinflüsse oder nachträgliche Eingriffe. Die statische Planung liefert unter diesen Bedingungen nur eine eingeschränkte Aussagekraft über das tatsächliche Belastungsverhalten im Betrieb. Hier schaffen Lastmesszellen (LMZ) Abhilfe: Sie ermöglichen eine Echtzeitanalyse der anliegenden Kräfte und erhöhen so die strukturelle Sicherheit.

Gerade bei komplexen Konstruktionen mit mehreren Anschlagpunkten, etwa in Bridle-Systemen, bei Mehrpunktabhängungen oder dynamisch beanspruchten Systemen, lässt sich die reale Lastverteilung rechnerisch oft nur unzureichend abbilden. Es handelt sich um statisch unbestimmte Systeme, bei denen rechnerische Methoden an ihre Grenzen stoßen. LMZ werden in solchen Fällen zum sicherheitsrelevanten Messinstrument, um Lastverlagerungen frühzeitig zu erkennen, kritische Zustände zu dokumentieren und auf Grundlage objektiver Werte Maßnahmen zu ergreifen.

Auch die organisatorische Komplexität temporärer Konstruktionen erhöht den Bedarf an Echtzeit-Lastüberwachung. Wiederholte Auf- und Abbauten, wechselnde Hallenbedingungen und unterschiedlich erfahrene Beteiligte erfordern eine objektive Grundlage zur Lastbewertung. Unklare Gewichtsangaben durch Kunden, spontane Änderungen oder zusätzliche Lasten durch Technikkomponenten machen die ursprüngliche Planung schnell hinfällig.

1.1.1 Technische Notwendigkeit und sicherheitsrelevante Herausforderungen

LMZ leisten in der Praxis einen wesentlichen Beitrag zur Betriebssicherheit, insbesondere durch:

- Früherkennung von Überlasten: Echtzeitmessung ermöglicht ein sofortiges Eingreifen bei kritischen Zuständen. (bevor Materialversagen droht)
- Visualisierung asymmetrischer Belastungen: Besonders bei statisch unbestimmten Systemen kann sich die tatsächliche Lastverteilung stark von der Planung unterscheiden.
- Vermeidung von Schadensfällen: LMZ helfen, Lastspitzen frühzeitig zu erkennen und präventive Maßnahmen wie Umverteilungen umzusetzen.
- Analyse bei Störungen: Im Fehlerfall ermöglichen LMZ-Protokolle eine fundierte Rückverfolgung der Belastungshistorie und potenzieller Schwachstellen.

Lastmesszellen werden besonders dann sicherheitsrelevant, wenn mit Mehrpunktabhängungen oder unsymmetrischen Belastungen gearbeitet wird. In diesen Fällen liegt häufig ein rechnerisch schwer zu erfassendes Verhalten vor. LMZ bieten hier Transparenz durch direkte Messung. Laut IGWV SQP2 und DIN EN 17206 sind solche objektiven Messdaten die Grundlage für eine technisch belastbare Beurteilung. Die IGWV SQO2 fordert bei hoch ausgelasteten, in sich geschlossenen Systemen sogar eine flächendeckende Überwachung aller Hängepunkte. Einzelmessungen gelten dort als unzureichend.

1.2 Technische und organisatorische Einordnung

1.2.1 Zweck und Hintergrund

Die typischen Rahmenbedingungen unterstreichen die Notwendigkeit:

- Temporäre Konstruktionen mit wechselnden Belastungsszenarien erfordern eine dynamische Erfassung der tatsächlichen Lastverteilung.
- Dynamische Einwirkungen wie Bewegungen, Wind oder Schwingungen sind rechnerisch oft nur eingeschränkt abbildbar.
- Unklare Lastangaben seitens Auftraggeber oder Fremdfirmen machen eine messtechnische Absicherung notwendig.
- Rechtliche Verpflichtungen zur Absicherung von Tragwerken ergeben sich aus der DGUV Vorschrift 17/18 sowie der IGWV SQQ2.
- Technische Entwicklungen ermöglichen den wirtschaftlich vertretbaren Einsatz drahtloser Systeme – auch bei Multisystemen mit vielen Messpunkten.

Dieses Whitepaper verfolgt daher das Ziel, die Nutzung von LMZ im Riggingbereich praxisnah, standardisiert und rechtssicher abzubilden, sowohl aus technischer Sicht als auch unter Berücksichtigung organisatorischer, personeller und dokumentarischer Anforderungen.

1.2.2 Zielsetzung

Ziel dieses Whitepapers ist es, eine klare, normenkonforme und praxistaugliche Vorgehensweise für den sicheren Einsatz von Lastmesssystemen in der Veranstaltungstechnik zu formulieren. Die Schwerpunkte liegen auf:

- **Normen- und Regelwerksüberblick**
Darstellung der relevanten Vorschriften (u. a. DGUV, IGWV, DIN), inklusive Verantwortlichkeitsverteilung zwischen Betreiber, Fachkräften (Sachkundige für Veranstaltungstechnik) und Sachverständigen.
- **Praxistauglicher Leitfaden für die Anwendung**
Empfehlungen zur Auswahl, Positionierung, Installation und Kalibrierung von LMZ; Darstellung typischer Einsatzbereiche wie Bridle-Systeme, LED-Wände oder Mehrpunkt-Abhängungen.
- **Fehlervermeidung & Risikominimierung**
Identifikation häufiger Fehlerquellen bei Bedienung und Dateninterpretation; Umgang mit Umgebungseinflüssen (Funkstörungen, Temperatur, Witterung); kritische Bewertung statischer Berechnungsgrundlagen.
- **Dokumentation & Nachweisführung**
Erstellung praxisgerechter Prüf- und Übergabeprotokolle; Anforderungen an Langzeitdatenarchivierung und Beweissicherung; Formulierung einer normgerechten Checkliste für den Betrieb.

1.2.3 Abgrenzung und Geltungsbereich

Dieses Whitepaper behandelt ausschließlich den Einsatz elektronischer Lastmesszellen in temporären und permanenten Rigging-Systemen innerhalb der Veranstaltungstechnik.

Nicht enthalten sind:

- Mechanische oder hydraulische Messsysteme ohne digitale Auswertung
- Bauwerksstatik im klassischen Hoch- oder Bühnenbau
- Industrie- oder Offshore-Anwendungen außerhalb der Veranstaltungstechnik
- Seiltechnik und allgemeine Hebetechnik außerhalb riggingrelevanter Kontexte

2. Rechtliche Grundlagen & Normen

2.1 Gesetzliche Vorgaben für den Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) in der Veranstaltungstechnik

Der Einsatz von Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik wird durch verschiedene gesetzliche Bestimmungen und technische Normen geregelt. Diese Vorschriften definieren die Anforderungen an die Sicherheit temporärer Tragwerke, die Verantwortung von Betreibern und ausführenden Firmen sowie die Bedingungen für die Dokumentation und Auswertung von Lastmessungen.

2.1.1 Allgemeine rechtliche Rahmenbedingungen

Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

- Verpflichtet Arbeitgeber zur Prävention betrieblicher Gefahren.
- Der Einsatz von Lastmesssystemen gilt als geeignete Maßnahme zur Risikominimierung im Bereich temporärer Tragstrukturen.

DGUV Vorschrift 17/18 – Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung

- Definiert allgemeine Sicherheitsanforderungen an den Betrieb von Veranstaltungsstätten.
- Betreiber sind verpflichtet, Rigging-Strukturen regelmäßig zu kontrollieren und die statische Tragfähigkeit der eingesetzten Systeme sicherzustellen.

DGUV Regel 115-002 – Konkretisierung sicherheitsrelevanter Anforderungen

- Legt fest, dass technische Anlagen wie Hebezeuge, Traversen oder Anschlagmittel nach dem Stand der Technik betrieben werden müssen.
- Der Einsatz von Lastmesszellen wird als anerkannte Maßnahme zur Erhöhung der Betriebssicherheit gewertet.

DGUV Information 215-310 – Sicherheit bei Veranstaltungen und Produktionen

- Enthält Handlungsanweisungen für die sichere Nutzung von Anschlag- und Tragmitteln.
- Thematisiert insbesondere zulässige Lastgrenzen und die statische Belastbarkeit von Anschlagpunkten.

DGUV Information 215-313 – Arbeiten mit Lasten über Personen

- Schreibt besondere Sicherheitsvorkehrungen bei Lasten über Personen vor.
- Anforderungen umfassen redundante Sicherungssysteme und die Nutzung von Überwachungseinrichtungen – darunter explizit Lastmesszellen.

2.1.2 Verantwortung von Betreibern und Rigging-Firmen

Die rechtliche Verantwortung beim Einsatz von LMZ ist auf mehrere Akteure verteilt und wird in verschiedenen Regelwerken konkretisiert:

- Betreiber von Veranstaltungsstätten sind gemäß DGUV Vorschrift 17/18 verpflichtet, die Tragfähigkeit aller verwendeten Bauteile und Anschlagpunkte regelmäßig zu prüfen. Sie tragen die Gesamtverantwortung für die Einhaltung der Sicherheitsvorgaben.
- Rigging-Firmen und ausführende Rigger müssen im Rahmen der IG VW SQQ2 sicherstellen, dass Lasten innerhalb zulässiger Grenzen verteilt und keine Bauteile überlastet werden. Dazu gehört auch die sachkundige Bedienung und Interpretation von LMZ.
- Sachverständige und Prüfsachverständige haben auf Basis der DGUV Regel 115-002 die Befugnis, den Einsatz von Lastmesszellen für sicherheitskritische Hängepunkte zu fordern, insbesondere dann, wenn statische Unklarheiten oder potenzielle Überlastsituationen bestehen.
- Fremdgewerke, wie z. B. Messebauer oder Technikdienstleister, sind verpflichtet, sich vor dem Einbringen eigener Lasten mit der verantwortlichen Rigging-Firma abzustimmen, um Überschreitungen von Traggrenzen zu vermeiden. Die Integration von Fremdlasten muss sowohl dokumentiert als auch sicherheitstechnisch bewertet werden.

Wann sind Lastmesszellen (LMZ) sinnvoll, wann Pflicht?

Die Relevanz von Lastmesszellen (LMZ) reicht von einer sinnvollen Maßnahme bis zu einer gesetzlich geforderten Notwendigkeit, abhängig vom Grad des Risikos.

- **Sinnvoll (Stand der Technik):** LMZ sind grundsätzlich immer eine sinnvolle Maßnahme zur Steigerung der Betriebssicherheit. Sie liefern eine Echtzeit-Verifizierung der Lastverteilung und sind eine anerkannte Maßnahme zur Erhöhung der Betriebssicherheit gemäß DGUV Regel 115-002. Ihr Einsatz ist daher in jedem Rigging-System zu empfehlen, um zusätzliche Transparenz zu schaffen
- **Pflicht und Unumgänglich (Gefährdungsbeurteilung):** Der Einsatz von LMZ wird zur Pflicht, wenn die Gefährdungsbeurteilung des Arbeitgebers gemäß Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und DGUV Vorschrift 17/18 ergibt, dass die Sicherheit nur durch eine fortlaufende Lastüberwachung gewährleistet werden kann. Dies gilt insbesondere für folgende sicherheitskritische Anwendungen:
 - Lasten über Personen:
 - Mehrpunktabhängungen und statisch unbestimmte Systeme

Sachverständige und Prüfsachverständige haben auf dieser Grundlage die Befugnis, den Einsatz von LMZ in diesen Fällen zur Pflicht zu machen.

2.2 Technische Normen für den sicheren Einsatz von Lastmesszellen

Neben den gesetzlichen Bestimmungen existieren zahlreiche technische Normen, die Anforderungen an Rigging-Konstruktionen und die Nutzung von Lastmesssystemen präzisieren. Diese Normen sorgen für einen einheitlichen sicherheitstechnischen Standard bei der Auswahl, Montage und Dokumentation von Lastmesszellen.

2.2.1 Allgemeine sicherheitsrelevante Normen

DIN EN 17206:2022-02 Veranstaltungstechnik - Maschinen für Bühnen und andere Produktionsbereiche, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen

- Legt sicherheitstechnische Anforderungen für Traversen, Hebezeuge und Anschlagmittel fest.
- Enthält Vorgaben zu Prüfpflichten, Wartungsintervallen und dem bestimmungsgemäßen Betrieb beweglicher Konstruktionen.

DIN EN 818-7 – Anschlagketten für Hebezwecke

- Regelt die technischen Spezifikationen und Tragfähigkeiten von Kettengehängen.
- Definiert maximale zulässige Belastungen (Working Load Limit, WLL) sowie Sicherheitsfaktoren für Anschlagketten im Veranstaltungsbereich.

DIN EN 12195-1 – Berechnung von Zurrkräften

- Gibt Methoden zur Berechnung von Zurr- und Sicherungskräften bei der Verwendung von Anschlag- und Hebemitteln vor.
- Unterstützt die korrekte Dimensionierung und Befestigung von Lasten an Riggingpunkten.

DIN 56950-5 (Sicherheitstechnische Anforderungen an Elektrokettenzüge)

ISO 4309 – Prüfung von Drahtseilen in Hebezeugen

- Beschreibt Prüfverfahren zur Ermittlung des Verschleißzustands von Drahtseilen.
- Stellt sicher, dass Drahtseile rechtzeitig ausgetauscht werden und keine sicherheitsrelevanten Defekte auftreten.

2.2.2 Spezifische Normen für Lastmesszellen und LED-Wände

DIN EN 13889 – Schäkel für Hebetechnik und Basis für Lastmessschäkel

- Definiert Materialanforderungen, Tragfähigkeiten und Prüfmethoden für Schäkel im Hebebereich.
- Diese Norm bildet die Grundlage für Lastmessschäkel, die auf Basis eines genormten Schäkels gefertigt und zusätzlich mit Messelektronik ausgestattet werden.

DIN 56929 – Sicherheit und Statik von LED-Wänden und deren Rigging

- Stellt Anforderungen an Tragkonstruktionen für LED-Installationen, inklusive statischer Berechnung, mechanischer Befestigung und elektrischer Absicherung.
- Insbesondere bei großflächigen LED-Wänden wird der Einsatz von Lastmesssystemen empfohlen, um dynamische Zusatzlasten und Lastverschiebungen kontrollieren zu können.

2.3 Anforderungen an die Dokumentation von Lastmesswerten

Eine nachvollziehbare und manipulationssichere Dokumentation der Lastmesswerte ist unverzichtbar für die rechtliche Absicherung von Veranstaltungen. Sie bildet die Grundlage für Nachweise gegenüber Behörden, Versicherungen und Sachverständigen und ist Bestandteil eines regelkonformen Sicherheitsmanagements.

2.3.1 Pflicht zur Lastdokumentation gemäß DGUV und IGWV

Die DGUV Information 215-310 und die IGWV SQQ2 verlangen eine prüffähige Dokumentation eingeleiteter Lasten als Bestandteil des Sicherheitsprozesses. Diese Dokumentation sollte daher in den standardisierten Prüf- und Abnahmeprozess der Veranstaltungstechnik integriert werden.

Pflichten im Überblick:

- Regelmäßige Aufzeichnung: Die Lastverläufe müssen lückenlos dokumentiert werden, insbesondere bei sicherheitskritischen Szenarien wie Lasten über Personen.
- Langzeitarchivierung: Daten sind so aufzubewahren, dass sie auch im Nachhinein überprüfbar und gegen Veränderungen geschützt sind.
- Sachkundige Prüfung: Nur fachkundiges Personal darf die Messwerte bewerten, dokumentieren und freigeben, inkl. Unterschrift.

2.3.2 Anforderungen an ein standardisiertes Messprotokoll

Ein normgerechtes Lastmessprotokoll sollte mindestens folgende Inhalte umfassen:

Messparameter	Erforderliche Angaben
Datum & Uhrzeit	Zeitpunkt der jeweiligen Messung
Standort	Halle, Veranstaltungsstätte, Messpunkt oder Rigging-Bereich
Verantwortliche Person	Name und Funktion
Verwendetes LMZ-System	Hersteller, Modell, Seriennummer, Kalibrierdatum
Max. Last pro Punkt	Gemessene Werte im Verhältnis zu den zulässigen Grenzlaster
Dynamische Lastspitzen	Aufzeichnung und Bewertung kurzzeitiger Überlastungen
Dokumentation der Maßnahmen	Reaktionen auf kritische Werte, z.B. Entlastung, Umverteilung

2.3.3 Langzeitaufzeichnung und elektronische Archivierung

In vielen Fällen, etwa bei mehrtägigen Produktionen oder Dauerinstallationen, ist eine automatisierte, elektronische Datenaufzeichnung sinnvoll. Moderne drahtlose Systeme (z. B. Broadweigh oder vergleichbare) bieten diese Möglichkeit serienmäßig.

Wichtige Punkte:

- Archivierungsdauer: Die Daten sollten mindestens für die Dauer der Veranstaltung bzw. bis zur Abnahme durch Behörden oder Dritte verfügbar bleiben.
- Dateiformate: CSV oder Excel-Tabellen sind verbreitet, jedoch nicht fälschungssicher.
- Beweiskraft: Nur manipulationsgeschützte Formate (z. B. PDF/A mit Prüfsumme) sind im Schadensfall gerichtsfest.

Beispiel Logfile:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Date	Time	Elapsed mS	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7	Channel 8	Channel 9	Channel 10
24.04.2025	11:50:22	5	42,776	100	200	300	-33,694	83,943	64,337	-9999999	64,301	93,113
24.04.2025	11:50:22	10	43,901	100	200	300	-31,922	84,086	65,162	-9999999	54,435	91,391
24.04.2025	11:50:22	15	45,027	100	200	300	-30,15	84,229	65,988	-9999999	52,612	89,67
24.04.2025	11:50:22	20	46,153	100	200	300	-28,378	84,372	66,813	-9999999	50,79	87,948
24.04.2025	11:50:22	25	47,278	100	200	300	-26,606	83,643	67,639	-9999999	48,967	86,226
24.04.2025	11:50:22	47	48,404	100	200	300	-24,834	82,914	68,464	-9999999	47,145	84,504
24.04.2025	11:50:22	52	49,53	100	200	300	-23,062	82,184	69,262	-9999999	45,322	82,783
24.04.2025	11:50:22	57	50,655	100	200	300	-21,29	81,455	70,115	-9999999	43,499	81,061
24.04.2025	11:50:22	62	51,781	100	200	300	-19,518	80,726	70,94	-9999999	41,677	79,339
24.04.2025	11:50:22	67	52,907	100	200	300	-17,746	79,997	71,766	-9999999	39,854	77,618
24.04.2025	11:50:22	72	54,032	100	200	300	-15,974	79,267	72,591	-9999999	38,032	75,896
24.04.2025	11:50:22	77	55,158	100	200	300	-14,202	78,538	79,214	-9999999	36,209	74,174
24.04.2025	11:50:22	82	56,284	100	200	300	-12,43	77,809	74,242	-9999999	34,386	72,452
24.04.2025	11:50:22	87	57,409	100	200	300	-10,658	77,079	75,067	-9999999	32,564	70,731
24.04.2025	11:50:22	92	58,535	100	200	300	-8,886	76,35	75,893	-9999999	30,741	69,009
24.04.2025	11:50:22	97	59,661	100	200	300	-8,669	75,621	76,718	-9999999	28,918	67,287
24.04.2025	11:50:22	102	60,786	100	200	300	-8,451	74,891	77,543	-9999999	27,096	65,565
24.04.2025	11:50:22	107	61,912	100	200	300	-8,234	74,162	78,369	-9999999	25,273	63,844
24.04.2025	11:50:22	112	63,038	100	200	300	-8,016	73,433	79,194	-9999999	23,451	62,122
24.04.2025	11:50:22	117	64,163	100	200	300	-7,799	72,703	80,02	-9999999	24,839	60,4
24.04.2025	11:50:22	122	65,289	100	200	300	-7,581	71,974	80,845	-9999999	19,805	58,679
24.04.2025	11:50:22	127	66,415	100	200	300	-7,364	71,42	81,67	-9999999	17,983	56,957
24.04.2025	11:50:22	132	68,475	100	200	300	-7,146	70,865	82,496	-9999999	16,16	55,235
24.04.2025	11:50:22	138	68,666	100	200	300	-6,929	70,31	83,321	-9999999	14,338	53,513
24.04.2025	11:50:22	143	68,583	100	200	300	-6,711	69,756	82,345	-9999999	15,079	51,792
24.04.2025	11:50:22	148	68,5	100	200	300	-6,494	69,201	81,368	-9999999	15,82	50,07
24.04.2025	11:50:22	153	68,416	100	200	300	-6,276	68,647	80,392	-9999999	16,381	48,348
24.04.2025	11:50:22	158	68,333	100	200	300	-6,059	68,092	79,209	-9999999	16,943	46,627
24.04.2025	11:50:22	164	68,25	100	200	300	-5,841	66,23	78,027	-9999999	17,505	44,905
24.04.2025	11:50:22	169	68,167	100	200	300	-5,624	64,368	76,845	-9999999	18,067	43,183
24.04.2025	11:50:22	174	68,083	100	200	300	-5,406	62,506	75,662	-9999999	18,629	41,461
24.04.2025	11:50:22	179	68	100	200	300	-5,189	60,643	74,48	-9999999	19,191	39,74
24.04.2025	11:50:22	184	67,917	100	200	300	-4,971	61,25	73,298	-9999999	19,753	38,018
24.04.2025	11:50:22	189	67,834	100	200	300	-4,754	60,353	72,116	-9999999	20,315	36,296
24.04.2025	11:50:22	195	68,11	100	200	300	-4,536	60,208	72,431	-9999999	20,877	34,574
24.04.2025	11:50:22	200	68,386	100	200	300	-4,319	60,063	72,747	-9999999	21,439	32,853
24.04.2025	11:50:22	205	68,663	100	200	300	-4,101	59,918	73,063	-9999999	22,001	31,131
24.04.2025	11:50:22	210	68,939	100	200	300	-3,884	61,802	73,379	-9999999	22,563	29,409
24.04.2025	11:50:22	215	72,662	100	200	300	-3,666	63,687	73,695	-9999999	23,125	27,688
24.04.2025	11:50:22	220	69,492	100	200	300	-3,449	65,571	74,011	-9999999	23,687	25,966
24.04.2025	11:50:22	225	69,768	100	200	300	-3,231	67,455	74,327	-9999999	24,249	24,244
24.04.2025	11:50:22	232	70,045	100	200	300	-3,014	68,605	74,643	-9999999	24,81	22,522
24.04.2025	11:50:22	240	70,321	100	200	300	-2,8	76,784	77,371	-9999999	25,372	20,801
24.04.2025	11:50:22	245	70,598	100	200	300	-3,017	70,906	75,275	-9999999	27,446	19,079
24.04.2025	11:50:22	252	70,874	100	200	300	-3,235	72,056	75,591	-9999999	26,496	17,357
24.04.2025	11:50:22	257	71,151	100	200	300	-3,452	73,206	75,907	-9999999	27,058	15,635

2.3.4 Herausforderung bei der Beweissicherung

Viele derzeit verfügbare Systeme exportieren Daten in offenen, veränderbaren Formaten, was im Ernstfall zur rechtlichen Unsicherheit führt. Eine unzureichende Protokollierung kann die Beweislastumkehr zu Ungunsten des Veranstalters zur Folge haben.

Empfohlene Maßnahmen:

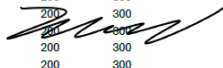
- Signierte Protokolle:
 - Speicherung im dokumentenechten Format (z. B. PDF/A), idealerweise mit digitaler Signatur oder Hashwert.

Beispiel mit Adobe Sign:

 Zertifiziert durch Adobe Acrobat Sign, prod-kms, Zertifikat ausgestellt von Intesi Group EU Qualified Electronic Seal CA G2.

Date	Time	Elapsed mS	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
24.04.2025	11:50:22	5	42,776	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	10	43,901	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	15	45,027	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	20	46,153	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	25	47,278	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	47	48,404	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	52	49,53	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	57	50,655	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	62	51,781	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	67	52,907	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	72	54,032	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	77	55,158	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	82	56,284	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	87	57,409	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	92	58,535	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	97	59,661	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	102	60,786	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	107	61,912	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	112	63,038	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	117	64,163	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	122	65,289	100	200	300
24.04.2025	11:50:22	127	66,415	100	200	300

✓



- Schutz vor nachträglicher Manipulation.
- **Unterschriften durch Verantwortliche:**
 - Die Protokolle sollten vor Ort durch Rigger, Techniker und ggf. den Auftraggeber gegengezeichnet werden.
 - Das erhöht die Beweiskraft und stellt sicher, dass alle Parteien über die tatsächlichen Lasten informiert waren.
- **Zusätzliche Prüfmechanismen:**
 - Regelmäßige Backups, ggf. redundante Speichermedien.
 - Kombination aus digitaler Aufzeichnung und schriftlichem Protokoll.
 - Prüfung auf Konsistenz mit Live-Daten aus der LMZ-Software.

Zusätzlicher Hinweis zur Normenbindung

Die DGUV Information 215-310 und die IGWV SQQ2 verlangen eine prüffähige Dokumentation eingeleiteter Lasten als Bestandteil des Sicherheitsprozesses. Diese Dokumentation sollte daher in den standardisierten Prüf- und Abnahmeprozess der Veranstaltungstechnik integriert werden.

Außerdem gilt:

- Nur qualifiziertes Fachpersonal darf mit der Bewertung, Protokollierung und Weitergabe von LMZ-Daten betraut werden.
- Die Interpretation der Messdaten erfordert technisches Verständnis, Erfahrung und normatives Hintergrundwissen, wie es zum Beispiel im Rahmen der IGWV-Qualifizierungsstandards SQQ2 vermittelt wird.

3. Funktionsweise und Messprinzipien von Lastmesszellen (LMZ)

Lastmesszellen sind elektronische Sensoren, die mechanische Kräfte in elektrische Signale umwandeln. In der Veranstaltungstechnik werden sie eingesetzt, um die eingeleiteten Kräfte an Rigging-Punkten, Traversen, Kettenzügen und Anschlagmitteln in Echtzeit zu überwachen. Sie dienen als sicherheitstechnisches Überwachungsinstrument, um Überlastungen, asymmetrische Belastungen oder dynamische Lastspitzen frühzeitig zu erkennen und dokumentieren zu können.

3.1. Dehnungsmessstreifen (DMS) als Standardtechnologie

Die Mehrheit aller in der Veranstaltungstechnik eingesetzten Lastmesszellen basiert auf dem Prinzip des Dehnungsmessstreifens (DMS). Dabei werden ein oder mehrere elektrische Widerstände auf einen elastischen Metallkörper aufgebracht. Wird dieser Körper durch eine eingeleitete Kraft verformt, verändert sich der elektrische Widerstand der DMS-Elemente. Diese Veränderung wird elektronisch erfasst, verstärkt und in eine Lastangabe:

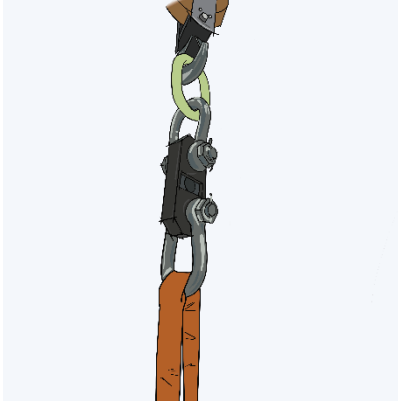
typischerweise in Kilogramm (kg) oder Kilonewton (kN) umgerechnet.

Dieses Verfahren ermöglicht eine sehr präzise Erfassung mechanischer Kräfte in Echtzeit. Je nach Einsatzbereich und Qualitätsanforderung erreichen DMS-basierte Lastmesszellen eine Messgenauigkeit zwischen $\pm 0,1\%$ und $\pm 1\%$ der maximalen Nennlast.

Dank ihrer geringen Baugröße, der Langlebigkeit sowie der Unempfindlichkeit gegenüber vielen Umwelteinflüssen haben sich DMS-Systeme in mobilen, temporären Anwendungen der Veranstaltungstechnik etabliert. Sie werden u. a. in Zug-, Druck- und Biegekräftmesszellen verwendet und bilden die technische Grundlage nahezu aller marktüblichen Lastmesssysteme.

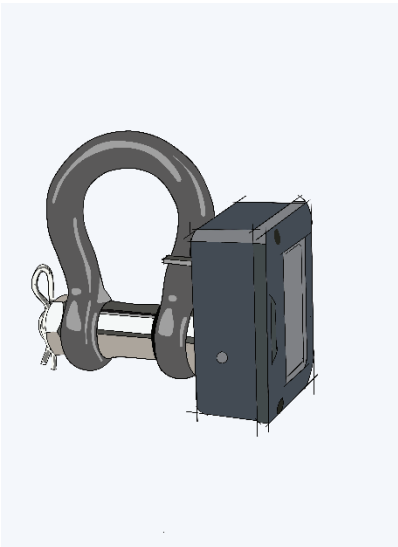
3.2 Unterschiedliche Bauformen von Lastmesszellen

In der Veranstaltungstechnik kommen je nach Anwendung unterschiedliche Bauformen von Lastmesszellen zum Einsatz. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer mechanischen Integration, Messrichtung, Baugröße und Montageart. Die Auswahl der geeigneten Bauform hängt vom konkreten Einsatzszenario ab, z. B. ob es sich um temporäre Traversensysteme, fliegende Lasten, stationäre Hängepunkte oder mobile Hebeprozesse handelt.



Zugmesszellen

Eher in der Industrie angesiedelt: **Zugmesszellen (Tension Load Cells)** erfassen Zugkräfte, die über Anschlagmittel wie Drahtseile, Ketten oder Schäkel eingeleitet werden. Sie werden häufig inline, also direkt in die Kraftleitung montiert. Ein klassisches Beispiel sind kompakte Inline-Zellen in Mehrpunktabhängungen oder Bridle-Systemen.



Schäkel-Lastmesszellen

Schäkel-Lastmesszellen integrieren die Messmechanik direkt in einen genormten Hochleistungsschäkel, meist nach DIN EN 13889. Sie sind kompakt, robust und prädestiniert für mobile Anwendungen. Dank ihrer geringen Einbauhöhe und hohen mechanischen Festigkeit lassen sie sich problemlos in bestehende Rigging-Systeme integrieren, etwa zur Echtzeitüberwachung von Halblendach-Abhängungen oder bei synchronisierten Hebevorgängen mit mehreren Motorzügen.



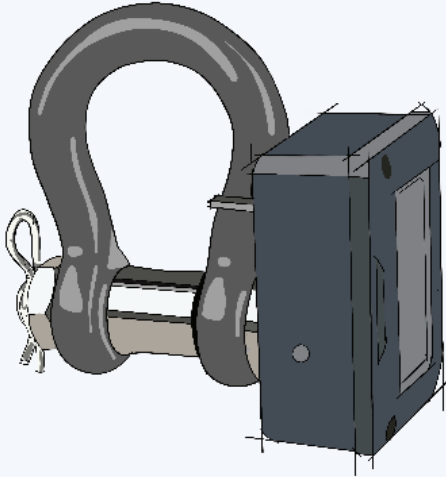
Traversen-Lastmesszellen

Traversen-Lastmesszellen sind speziell für den direkten Einbau in Traversensysteme entwickelt worden. Sie befinden sich häufig an Verbindungsstellen oder Anschlagpunkten und ermöglichen die Live-Erfassung von Kräften innerhalb großformatiger Konstruktionen, wie z. B. bei LED-Wänden gemäß den Anforderungen der DIN 56929.

Drahtlose Lastmesszellen übertragen ihre Messwerte per Funk, meist im 2,4 GHz ISM-Band. Sie kommen überall dort zum Einsatz, wo eine Verkabelung nicht praktikabel ist. Vorteile sind der reduzierte Montageaufwand, hohe Flexibilität und die Möglichkeit zur simultanen Überwachung mehrerer Punkte durch unterschiedliche Empfänger.

3.2.1 Schäkel-Lastmesszellen

Schäkel-Lastmesszellen gehören zu den gängigsten Bauformen für die mobile Lastüberwachung im Rigging. Sie integrieren die Messelektronik direkt in einen genormten Hochleistungsschäkel, wodurch eine extrem kompakte und robuste Bauweise realisiert wird. Ihre mechanische Grundlage basiert in der Regel auf der DIN EN 13889, die Materialanforderungen, Tragfähigkeiten und Sicherheitsfaktoren für Schäkel im Hebebereich definiert.



Diese Bauform eignet sich besonders für temporäre Anwendungen, bei denen vorhandene Hebepunkte ohne bauliche Änderungen zur Lastüberwachung genutzt werden sollen. Durch die direkte Integration in den Lastfluss entfällt die Notwendigkeit zusätzlicher Umlenkungen oder separater Adapter.

Technische Merkmale

- Werkstoffe: hochfester legierter Stahl oder Edelstahl, je nach Einsatzumgebung
- Tragfähigkeiten: von ca. 1 t bis über 100 t, abgestimmt auf industrielle und veranstaltungstechnische Anforderungen
- Messgenauigkeit: typischerweise im Bereich von $\pm 0,1\%$ bis $\pm 1\%$ der maximalen Nennlast (FS)
- Betriebsart: batteriebetrieben oder mit externer Spannungsversorgung
- Signalübertragung: drahtlos (z. B. 2,4 GHz ISM-Band) oder kabelgebunden (z. B. CAN, RS485)
- Schutzart: häufig IP67 oder höher – damit geeignet für Outdoor- und Touring-Einsätze

Vorteile in der Anwendung

- Direkte Montage an vorhandenen Anschlagpunkten – ohne zusätzliche Bauhöhe oder Hilfskonstruktionen
- Exakte Krafteinleitung im Zentrum der Last – besonders bei symmetrisch belasteten Systemen von Vorteil
- Hohe mechanische Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbelastung, Schmutz und Temperaturänderungen
- Besonders geeignet für Anlagen mit häufiger Demontage (Tourbetrieb, Messebau)

Typische Anwendungsfelder

- Live-Überwachung von Lastverteilungen an Hallendächern oder Traversensystemen
- Kontrolle der Belastungsverhältnisse bei Mehrpunktaufhängungen oder Bridle-Systemen
- Synchronisierte Überwachung bei Hebevorgängen mit mehreren Motorzügen
- Absicherung von Hängepunkten über Personen oder bei redundanten Systemen

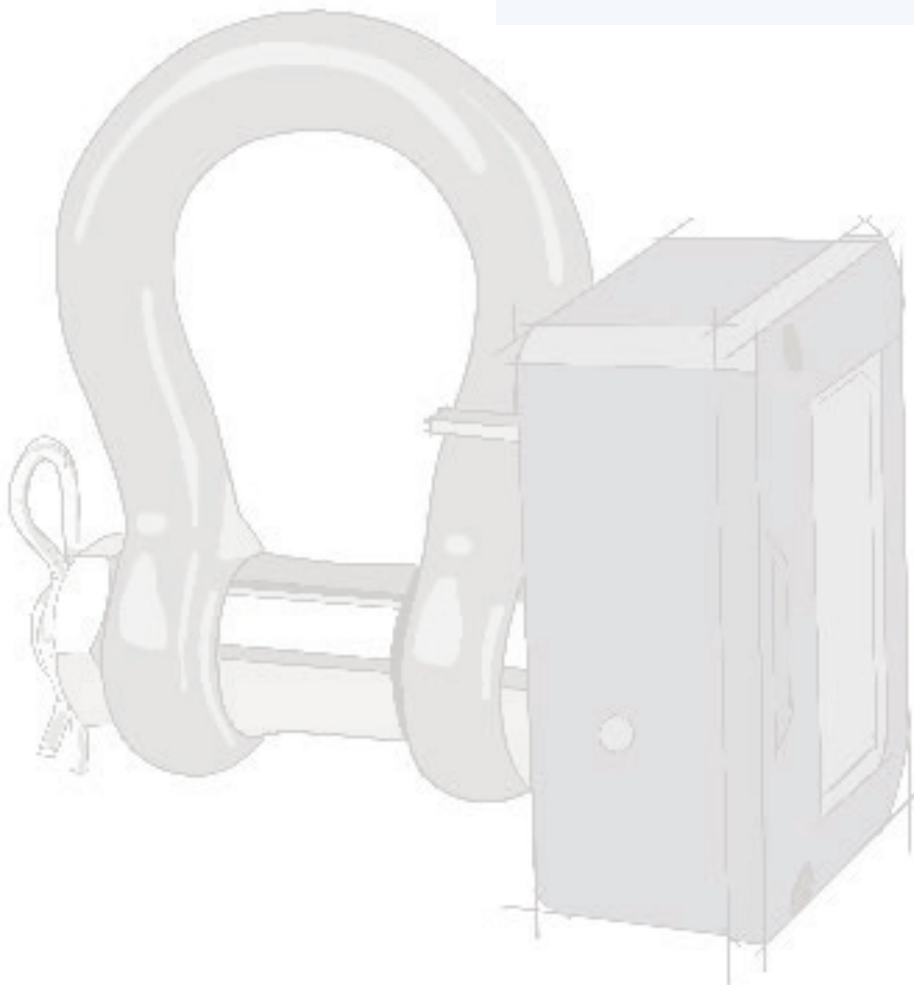
Marktübliche Ausführungen (Beispielhafte Beschreibung)

- Modell A:

Tragfähigkeit von 3,25 t bis 55 t, drahtlose Übertragung auf 2,4 GHz, IP67-Schutz, Batteriebetrieb mit bis zu 1200 Stunden Laufzeit

- Modell B:

Traglastbereiche bis 500 t, Ausführungen mit und ohne Kabel verfügbar, Echtzeitdatenanzeige, robuste Bauweise mit Zertifizierung für sicherheitskritische Industrieinsätze



3.2.2 Drahtlose Lastmesszellen

Drahtlose Lastmesszellen stellen eine moderne Weiterentwicklung kabelgebundener Systeme dar und ermöglichen eine kabellose Übertragung der Messwerte in Echtzeit. Sie sind besonders dort im Einsatz, wo klassische Verkabelungen aufwendig, störanfällig oder aufgrund der Bauumgebung schlicht nicht praktikabel sind – etwa in großen Hallen, mobilen Setups oder im Outdoor-Bereich.

Technologisch basieren die meisten Systeme auf der 2,4 GHz ISM-Frequenz, einem weltweit lizenzfreien Band, das auch für WLAN und Bluetooth genutzt wird. Die Datenübertragung erfolgt dabei verschlüsselt, häufig proprietär und mit definierter Kanalisierung zur Minimierung von Funkinterferenzen. (Siehe Kapitel 6 Drahtlose Lastmesssysteme und WLAN-Infrastruktur: Risiken, Konflikte und Lösungsansätze)

Technische Merkmale

- Funktechnologie:

2,4 GHz ISM-Band,
z. T. mit Frequenzhopping oder Kanalwahl zur Reduktion von Interferenzen

- Reichweite:

Je nach System bis zu 500–800 m im freien Feld, unter Realbedingungen in Hallen typischerweise 100–300 m

- Versorgung:

Meist batteriegestützt (Akkulaufzeiten bis zu mehreren Monaten bei Intervallübertragung)

- Datenschnittstellen:

Verbindung zu Basisstationen, Displays, Softwarelösungen oder mobilen Endgeräten via USB, Modbus oder proprietären Protokollen

- Schutzart:

häufig IP67 oder IP68 – geeignet für Outdoor-Einsätze, auch bei Feuchtigkeit und Staub

Vorteile im Veranstaltungsbereich

- Reduzierter Montageaufwand:

Kein Verlegen von Datenleitungen – ideal bei fliegenden Konstruktionen oder in großen Höhen

- Flexible Positionierung:

Kein physischer Signalpfad erforderlich – die Zelle kann frei im Kraftfluss installiert werden

- Multiclient-Fähigkeit:

Daten können gleichzeitig an mehrere Empfänger (z. B. FOH, Rigger, Sicherheitsverantwortliche) übertragen werden

- Zeitersparnis:

Insbesondere bei kurzfristigem Aufbau von Systemen oder bei täglichem Locationwechsel im Touringbetrieb

Typische Anwendungen:

- Monitoring von Hängepunkten in Arenen, Messehallen oder Theatern
– insbesondere bei asymmetrischer Lastverteilung
- Echtzeitüberwachung während Hebevorgängen oder Szenenwechseln
- Open-Air-Produktionen, bei denen keine fest installierte Datenleitung verfügbar ist
- Temporäre Anlagen mit hohem Umbaufaktor
– z. B. bei Festivalbühnen oder TV-Produktionen

Marktübliche Ausführungen (Beispielhafte Beschreibung)

- Modell C: Funkreichweite bis 800 m, wetterfestes Gehäuse (IP67), Anbindung an Logging-Software zur Datenarchivierung
- Modell D: Integration mit mobilen Apps, Live-Anzeige auf Tablet oder PC, besonders robuste Ausführung für Touring- und Outdoor-Events

Hinweis: Der Einsatz drahtloser LMZ erfordert ein zuverlässiges Frequenzmanagement. In stark frequentierten Funkumgebungen (z. B. mit Intercom-, LED- oder WLAN-Systemen) kann es zu Übertragungsstörungen kommen. In der Praxis bewähren sich Softwaretools der Hersteller.

Beispiel Broadweigh:

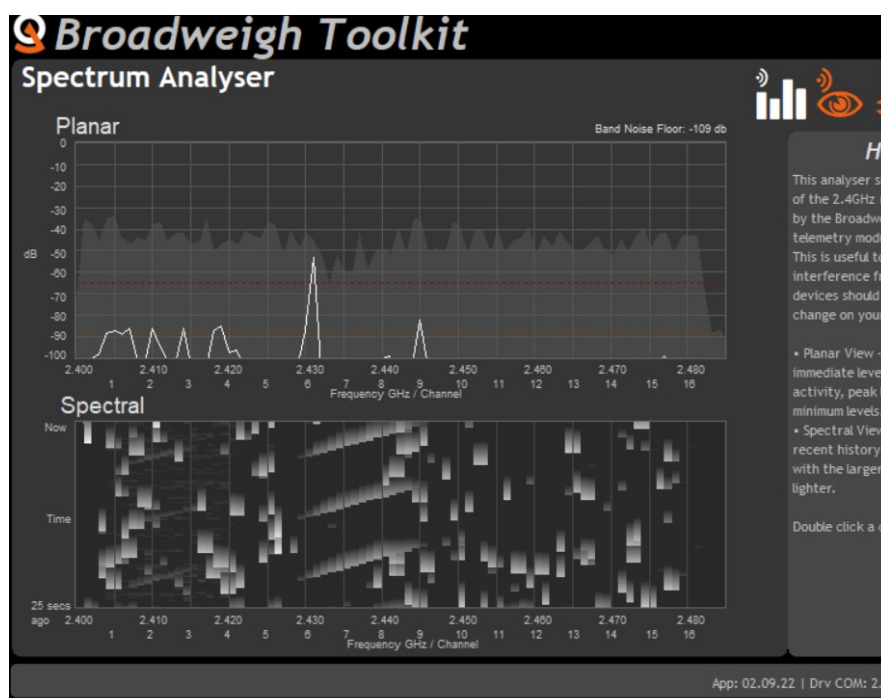
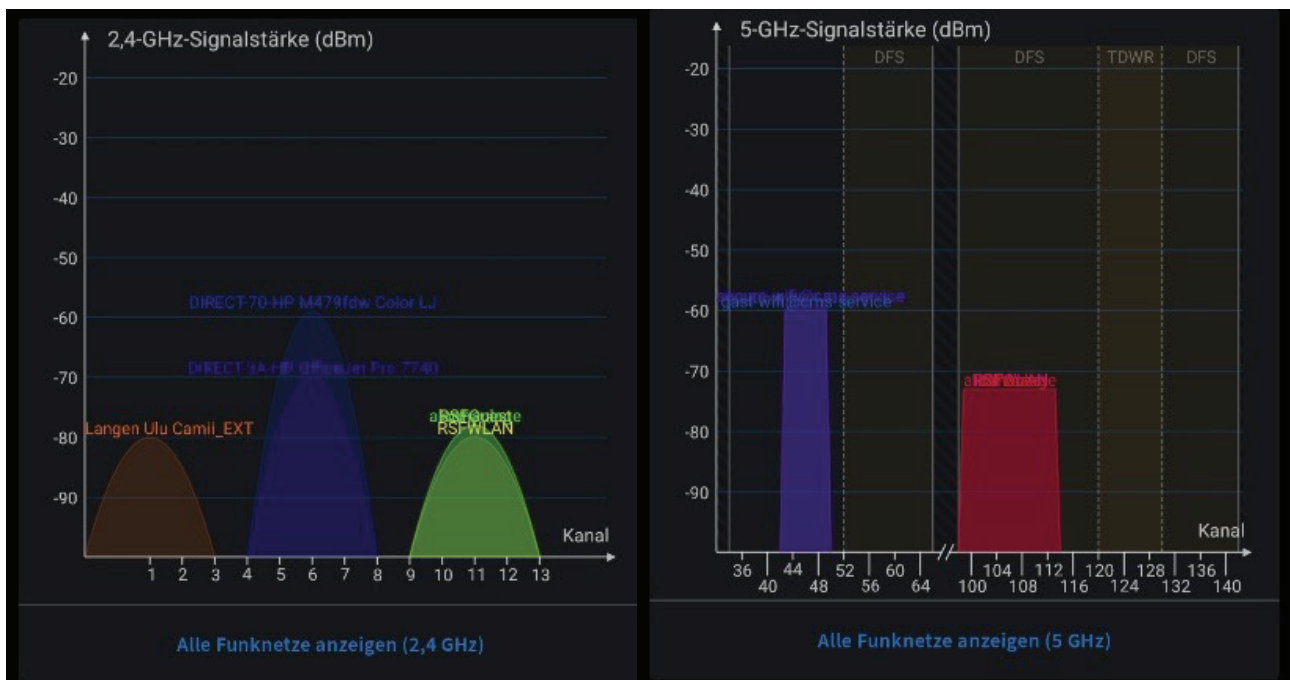


Abb.: 6, Bildmaterial © Broadweigh – verwendet mit freundlicher Genehmigung für nicht-kommerzielle, technische Bildungszwecke. Quelle: Broadweigh Gen 3 Instructions & Broadweigh Ecosystem Flyer, Stand 2024.

Beispiel Fritzbox Scan:



3.3 Messgenauigkeit und Kalibrierung von Lastmesszellen

Die Messgenauigkeit von Lastmesszellen ist ein zentraler Faktor für die Sicherheit temporärer Rigging-Konstruktionen. Unpräzise oder fehlerhafte Messwerte können zu falschen Lastannahmen führen und damit das Risiko von Überlastungen, Lastverlagerungen oder strukturellem Versagen erhöhen. Neben der Qualität des Sensors selbst sind insbesondere Kalibrierung, Umgebungsbedingungen und Systemintegration entscheidend für die Validität der Messergebnisse.

3.3.1 Genauigkeitsklassen und Fehlerquellen

Lastmesszellen werden nach ihrer maximalen Abweichung vom Nennwert – der sogenannten Full-Scale-Abweichung (FS) – klassifiziert. In der Veranstaltungstechnik haben sich folgende Genauigkeitsklassen etabliert:

- Hochpräzise Sensoren: $\pm 0,1$ % FS – z. B. für sicherheitskritische Überwachungen oder Prüfzwecke
- Standard-LMZ für Rigging: $\pm 0,3$ % bis ± 1 % FS – typischerweise für Traversen, C1-Systeme, Bridle-Überwachung
- Einfache Messeinheiten: ± 1 % bis ± 2 % FS – oft bei nicht sicherheitsrelevanten, rein informativen Messaufgaben

Die tatsächliche Genauigkeit kann jedoch durch externe Einflüsse deutlich verändert werden. Zu den häufigsten Fehlerquellen zählen:

- Temperaturschwankungen: beeinflussen die Materialausdehnung sowie den elektrischen Widerstand der DMS-Elemente.
- Signalverluste bei Verkabelung: insbesondere bei langen Leitungen oder korrodierten Steckverbindungen.
- Funkstörungen (drahtlose Systeme): durch Interferenzen im 2,4 GHz-Band, z. B. mit WLAN oder LED-Controllern.
- Nicht-zentrische Belastung: führt zu Schiefzugkräften, die die Messung verfälschen.
- Materialermüdung oder Mikrorisse: resultierend aus Überlastung oder Dauerbelastung.

3.3.2 Kalibrierung von Lastmesszellen

Damit eine Lastmesszelle dauerhaft präzise misst, ist eine regelmäßige Kalibrierung notwendig. Je nach Einsatzbereich, Systemtyp und rechtlichen Vorgaben unterscheiden sich Umfang und Verfahren der Kalibrierung.

Arten der Kalibrierung

- Werkskalibrierung: erfolgt durch den Hersteller vor der Auslieferung; dokumentiert als Basiswert mit Zertifikat.
- Regelmäßige Rekalibrierung: sollte jährlich oder gemäß Herstellerangabe erfolgen, z. B. durch Abgleich mit Referenzgewichten.
- Vor-Ort-Kalibrierung: mit mobilen Prüfgeräten oder Vergleichssensoren; vorteilhaft für Touring-Setups oder stationäre Installationen ohne Demontagemöglichkeit.

Relevante Kalibrierrichtlinien und Normen

- ISO 376 – internationale Kalibriernorm für Kraftmessgeräte
- DIN EN ISO 7500-1 – Anforderungen an die Kalibrierung von Messmitteln bei Materialprüfungen
- VDI/VDE 2638 – spezifische Kalibrierverfahren für DMS-basierte Systeme

Empfohlene Kalibrierintervalle:

Messparameter	Erforderliche Angaben
Datum & Uhrzeit	Zeitpunkt der jeweiligen Messung
Standort	Halle, Veranstaltungsstätte, Messpunkt oder Rigging-Bereich
Verantwortliche Person	Name und Funktion des prüfenden Riggers / Sachkundigen
Verwendetes LMZ-System	Hersteller, Modell, Seriennummer, Kalibrierdatum

3.3.3 Prüf- und Dokumentationsanforderungen

Jede Kalibrierung muss durch ein dokumentiertes Prüfprotokoll nachweisbar sein, da diese Prüfungen im Rahmen der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) gesetzlich gefordert werden. Das Protokoll dient nicht nur als Qualitätsnachweis, sondern ist im Rahmen von Audits, Unfallanalysen oder bei behördlicher Prüfung rechtlich relevant. Das Protokoll sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Seriennummer und Typ der Lastmesszelle
- Datum der Kalibrierung und Name des Prüfers oder Prüfinstituts
- Messergebnisse inkl. maximaler Abweichung vom Sollwert
- Beschreibung der Kalibriermethode (z. B. Prüfstand, Vergleichsgewicht)
- Gültigkeitsdauer der Kalibrierung und empfohlener nächster Prüftermin

3.4 Einflussfaktoren auf die Messergebnisse und deren Kompensation

Die Genauigkeit von Lastmesszellen kann durch eine Vielzahl von externen und systembedingten Faktoren beeinflusst werden. Eine fehlerhafte Messung kann in der Veranstaltungstechnik zu kritischen Fehlinterpretationen führen mit der Gefahr von Überlastungen, Materialversagen oder unkontrollierten Lastverlagerungen.

Die Kenntnis relevanter Einflussgrößen und geeigneter Kompensationsstrategien ist daher Voraussetzung für den sicheren und normgerechten Einsatz von Lastmesszellen (LMZ).

3.4.1 Umweltfaktoren und ihre Auswirkungen

Temperaturveränderungen

Schwankungen in der Umgebungstemperatur verändern sowohl die elastischen Eigenschaften des Messkörpers als auch die Widerstände der Dehnungsmessstreifen. Infolgedessen kann es zu einer Drift der Messwerte kommen, besonders problematisch bei stark wechselnden Außenbedingungen oder schlecht isolierten Systemen.

Kompensation: Einsatz temperaturkompensierter Sensoren, Durchführung von Nullpunktanpassungen vor Messbeginn, Verwendung thermisch isolierender Einbauten.

Luftfeuchtigkeit und Wassereinwirkung

Feuchtigkeit kann die Isolation elektrischer Bauteile beeinflussen, zu Korrosion oder sogar Kurzschlüssen führen. In Outdoor Anwendungen oder bei dauerhaft feuchten Bedingungen kann dies zu Ausfällen oder unzuverlässigen Werten führen.

Kompensation: Verwendung von IP67/IP68-zertifizierten Messzellen, korrekt abgedichtete Steckverbindungen, optional Schutzgehäuse oder Trockenmittelbeutel.

Windlasten und aerodynamische Effekte

Freihängende Lasten wie zum Beispiel LED-Wände sind anfällig für Böen und Bewegung, was zu kurzzeitigen Lastspitzen führen kann. Diese können fälschlich als Überlastung interpretiert werden.

Kompensation: Glättung der Messdaten durch Mittelwertbildung, Nutzung von Dämpfungselementen, Plausibilitätsprüfung durch Vergleich mit statischer Grundlast.

3.4.2 Mechanische Einflussfaktoren

Nicht-zentrische Belastung

Wird die Lastmesszelle nicht exakt in Achsrichtung belastet, entstehen zusätzliche Biegemomente, die das Messergebnis verfälschen. Besonders Schäkelzellen sind anfällig für Schiefzüge.

Kompensation: Verwendung von kardanischen Aufhängungen oder Drehgelenken, Einbau von Adapterplatten zur Lastzentrierung, regelmäßige Sichtkontrolle auf Verdrehung.

Materialermüdung und Beschädigung

Langfristige Überlastung oder viele Lastwechsel können zu Mikrorissen oder plastischer Verformung führen.

Kompensation: Durchführung regelmäßiger Sicht- und Rissprüfungen, Langzeitbeobachtung über dokumentierte Lastverläufe, Austausch bei Verdacht auf strukturelle Schäden.

3.4.3 Systembedingte Einflussfaktoren

Funkstörungen (bei drahtlosen Systemen)

Drahtlose LMZ arbeiten oft im 2,4 GHz-Band, das auch von WLAN, Bluetooth und Show-Control-Systemen genutzt wird.

Interferenzen können Signalverluste oder Messverzögerungen verursachen.

Kompensation: Frequenzkoordination gemäß IG VW SGO2, Einsatz dedizierter Kanäle oder Spektrumanalysegeräte, ggf. Umstieg auf kabelgebundene Alternativen.

Fehlkonfiguration oder Softwarefehler

Falsche Skalierungen, ungeeignete Protokolle oder Konvertierungsfehler können zu unplausiblen Messwerten führen – vor allem bei Systemen mit unterschiedlichen Zelltypen.

Kompensation: Abgleich der Softwareeinstellungen mit Herstellerdaten, Nutzung einheitlicher Protokolle, Vergleichsmessung mit Referenzlast.

3.4.4 Übersicht: Einflussfaktoren und Kompensationsmaßnahmen

Einflussfaktor	Auswirkungen	Kompensationsmaßnahme
Temperaturveränderung	Drift der Messwerte	Temperaturkompensation, Nullpunktanpassung
Luftfeuchtigkeit	Signalstörung, Kurzschluss	IP67/IP68-Gehäuse, trockene Montagebedingungen
Windlasten	Kurzzeitige Lastspitzen	Mittelwertbildung, Dämpfung, Lastvergleich
Nicht-zentrische Belastung	Verfälschte Kraftmessung	Kardanaufhängung, Lastzentrierung
Materialermüdung	Langzeitdrift, Fehlmessung	Sichtprüfung, Tausch, Rissanalyse
Funkstörungen	Kurzzeitige Lastspitzen	Frequenzmanagement, alternative Übertragungswege
Software-/Systemfehler	Skalierungsfehler, Messwertabweichung	Systemabgleich, Testmessung, standardisierte Schnittstellen

4. Auswahlkriterien für Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik

Die Wahl der richtigen Lastmesszellen hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter Tragfähigkeit, Messgenauigkeit, Umweltbedingungen und Art der Konstruktion. Eine fehlerhafte Auswahl kann zu unzuverlässigen Messwerten oder strukturellen Risiken führen.

4.1. Standardisierte Schäkel-Lastmesszellen als bevorzugte Lösung

Für den temporären Einsatz in der Veranstaltungstechnik haben sich Schäkel-Lastmesszellen (Load Shackles) als bevorzugte Bauform etabliert. Besonders Modelle mit einer Mindesttragfähigkeit von 3,25 t gelten heute als praxisgerechter Standard – sowohl im Touringbetrieb als auch in festinstallierten Systemen.

Diese Baugröße stellt sicher, dass die Lastmesszellen mechanisch kompatibel mit gängigen Anschlagmitteln, Traversenverbindungen und Elektrokettenzügen sind. Gleichzeitig erfüllen sie die sicherheitsrelevanten Anforderungen nach DIN EN 13889 hinsichtlich Tragfähigkeit und Materialqualität für tragende Anschlagmittel.

Vorteile der 3,25 t-Klasse im Veranstaltungsrigging:

- Kompatibilität mit Standardkomponenten wie Rundschlingen, Softsteels oder Kettengehängen
- Erfüllung relevanter Normvorgaben, insbesondere im Hinblick auf WLL (Working Load Limit) und Sicherheitsfaktoren Einsatzsicherheit an typischen Hängepunkten, da Einzelpunktbelastungen selten oberhalb von 3 t auftreten
- Hohe Verfügbarkeit und Austauschbarkeit durch marktweit etablierte Standardisierung der Bauform
- Einsatzsicherheit an typischen Hängepunkten, da Einzelpunktbelastungen selten oberhalb von 3 t auftreten
- Hohe Verfügbarkeit und Austauschbarkeit durch marktweit etablierte Standardisierung der Bauform

Andere Bauformen von Lastmesszellen werden meist in Sonderfällen eingesetzt, z. B.:

- Inline-Zugmesszellen, wenn Kräfte direkt in Seilen, Ketten oder Hebezügen erfasst werden müssen
- Traversen-Lastmesszellen, bei denen die Messelemente direkt in das Truss-System integriert sind – insbesondere für LED-Wand-Konstruktionen gemäß DIN 56929

4.2 Messgenauigkeit und Tragfähigkeit

Die Auswahl geeigneter Lastmesszellen muss sowohl auf die erforderliche Messgenauigkeit als auch auf die mechanische Tragfähigkeit abgestimmt sein. Beide Kriterien beeinflussen unmittelbar die Sicherheit, Verlässlichkeit und Aussagekraft der Messdaten.

Messgenauigkeit

Die erforderliche Genauigkeit ist abhängig vom Einsatzkontext. In der Veranstaltungstechnik haben sich folgende Klassifizierungen etabliert (vgl. Abschnitt 3.2.1):

- Sicherheitsrelevante Überwachung (z. B. Lasten über Personen, C1-Systeme): mind. $\pm 0,1$ % bis $\pm 0,3$ % der Nennlast
- Allgemeine Rigging-Anwendungen: $\pm 0,5$ % bis $\pm 1,0$ %
- Informative Überwachung ohne sicherheitsrelevante Konsequenz: $> \pm 1,0$ %

Eine zu geringe Genauigkeit kann in kritischen Anwendungen zu Fehleinschätzungen führen – etwa bei der Detektion von asymmetrischen Belastungen, bei Mehrpunktaufhängungen oder dynamischen Lastspitzen. Die Interpretation der Messergebnisse erfordert in solchen Fällen sachkundiges Personal mit entsprechender Einweisung oder Qualifikation gemäß IG VW SQQ2.

Tragfähigkeit

Die mechanische Tragfähigkeit der Lastmesszelle (Working Load Limit – WLL) muss auf das zu überwachende Rigging-System abgestimmt sein.

Dabei gilt:

Die WLL der Lastmesszelle muss mindestens der tatsächlich auftretenden Systemlast entsprechen und darf keinesfalls zum schwächsten Glied im Laststrang werden. Es ist sicherzustellen, dass alle im Kraftfluss beteiligten Komponenten – etwa Schäkel, Ketten, Rundschlingen oder Traversen – mindestens die gleiche Tragfähigkeit aufweisen oder systemisch korrekt in das Gesamtsystem eingebunden sind.

Besonderheit in der Praxis: Der Einsatz einzelner stark überdimensionierter Komponenten (z. B. eine schwere Kette zur Befestigung) bedeutet nicht automatisch, dass auch die eingesetzte Lastmesszelle eine geringere WLL aufweisen darf. Entscheidend ist die zu erwartende reale Belastung an dieser Stelle und die sicherheitstechnisch korrekte Auslegung aller angeschlossenen Bauteile im Verhältnis zur LMZ.

- Die zulässige Betriebslast muss mit einem Sicherheitsbeiwert zur möglichen Spitzenlast kalkuliert werden (mind. Faktor 2:1, oft mehr).
- Die LMZ muss mechanisch robust genug sein, um auch unbeabsichtigte Querkräfte, Biegemomente oder Krafteinleitungen durch Schwingungen zu überstehen.

In der Praxis haben sich Lastmessschäkel mit Tragfähigkeiten zwischen 3,25 t und 12 t als besonders vielseitig erwiesen. Sie decken den Großteil riggingrelevanter Anwendungen ab und sind zugleich mit handelsüblichen Anschlagmitteln kombinierbar.

4.3 Kabelgebundene vs. drahtlose Systeme

Bei der Auswahl eines geeigneten Lastmesssystems stellt sich häufig die Frage nach der passenden Übertragungsart: kabelgebunden oder drahtlos. Beide Technologien haben spezifische Vor- und Nachteile, die abhängig vom Einsatzzweck, der baulichen Umgebung und den sicherheitsrelevanten Anforderungen gegeneinander abgewogen werden müssen.

Kabelgebundene Systeme

Kabelgebundene Lastmesszellen bieten eine besonders zuverlässige Datenübertragung, da sie nicht von äußeren Funkbedingungen beeinflusst werden. Sie gelten als weniger stör anfällig, insbesondere in technisch dicht belegten Funkumgebungen wie TV-Studios, Arenen oder Messen.

Vorteile:

- Hohe Signalstabilität und Immunität gegenüber elektromagnetischen Störfeldern
- Keine Einschränkung durch Reichweite oder Hindernisse
- Direkt integrierbar in zentrale Steuerungs- oder Loggingsysteme (z. B. über Modbus, CAN, RS485)

Nachteile:

- Aufwändige Verkabelung bei großflächigen oder schwer zugänglichen Riggingstrukturen
- Höherer Installationsaufwand bei temporären Aufbauten
- Höheres Risiko für Beschädigungen durch mechanische Beanspruchung der Leitungen

Drahtlose Systeme

Drahtlose Lastmesszellen arbeiten in der Regel im 2,4 GHz ISM-Band und ermöglichen eine kabellose Datenübertragung über Distanzen von mehreren Hundert Metern. Sie kommen besonders in großen Hallen, bei Outdoor-Produktionen oder bei mobilen Anwendungen mit häufigem Auf- und Abbau zum Einsatz.

Vorteile:

- Deutlich reduzierter Montageaufwand, besonders bei hohen oder entfernten Hängepunkten
- Flexibilität bei Systemerweiterung oder Umpositionierung der Sensorik
- Multiclient-Fähigkeit: Messdaten können gleichzeitig an mehrere Empfänger gesendet werden

Nachteile:

- Anfällig für Störungen durch WLAN, Bluetooth, Intercom oder andere 2,4-GHz-Funksysteme
- In stark belegten Funkumgebungen kann es zu Paketverlusten oder Verzögerungen kommen
- Erfordert sorgfältiges Frequenzmanagement und ggf. Redundanzstrategien (vgl. IGWW SQ02)

4.3.1 Energieversorgung und Batteriemanagement

Insbesondere bei drahtlosen Lastmesssystemen stellt die Energieversorgung einen zentralen Aspekt für Betriebssicherheit, Laufzeitplanung und Verfügbarkeit dar. Da diese Systeme typischerweise nicht dauerhaft am Stromnetz betrieben werden, sondern mobil und autark arbeiten, muss die Auswahl und Handhabung der Stromquelle sorgfältig erfolgen.

Typische Energiequellen

Drahtlose Lastmesszellen werden in der Regel mit folgenden Batterietypen betrieben:

- Lithium-Einwegbatterien (z. B. CR123, CR2032):
Lange Lagerfähigkeit, kompakt, temperaturstabil, aber nur einmal verwendbar.
- Alkaline-Batterien (z. B. AA, C, D):
Günstig und weit verbreitet, jedoch empfindlicher gegenüber Kälte und kürzere Laufzeit.
- Wiederaufladbare Li-Ion-Akkus:
Umweltfreundlich und lang einsetzbar, aber mit Lade- und Überwachungspflicht (insbesondere bei Transport).

Laufzeiten und Monitoring

Die Laufzeit variiert je nach Sendefrequenz, Umgebungstemperatur und Signalstärke. Typische Einsatzzeiten bei gängiger Nutzung liegen bei:

- 300 bis 1200 Betriebsstunden pro Batteriesatz, bei Standard-Sendeintervallen (1x pro Sekunde)
- Verkürzung um bis zu 50 % bei Dauerbetrieb in kalter Umgebung ($< 0\text{ °C}$)

Viele Systeme verfügen über integrierte Batteriestandswarnungen, entweder über die zentrale Empfangssoftware oder via LED-Signal am Sensor. Diese sollten aktiv überwacht und dokumentiert werden – insbesondere bei Langzeiteinsätzen oder mehrtägigen Veranstaltungen.

Batteriewechsel & Handling

Ein sicherer Betrieb setzt voraus, dass Batteriewechsel planbar und werkzeugfrei durchgeführt werden können – idealerweise ohne Demontage der LMZ vom Anschlagpunkt. Dabei ist zu beachten:

- Batterietypen und Spannungen müssen exakt den Herstellerspezifikationen entsprechen
- Entladene Batterien dürfen nicht im Gerät verbleiben – Leckagegefahr!
- Austausch nur durch unterwiesenes Personal, insbesondere bei Arbeiten in Höhe (z. B. IGWW SQQ2-Level 1+)

Redundanz und Sicherheitsreserven

Bei sicherheitskritischen Anwendungen – etwa bei Lasten über Personen oder bei Festivalproduktionen mit Nachtbetrieb – sollte eine Batterieredundanz geplant oder das System durch automatische Umschaltung auf Backup-Einheiten ergänzt werden. Alternativ kann bei permanent installierten Systemen auf externe Stromversorgung (z. B. über Powercon oder PoE) zurückgegriffen werden.

4.4 Schutzart und Umwelteinflüsse

Die Schutzklasse eines Lastmesssystems bestimmt, unter welchen Umweltbedingungen es betrieben werden kann. In der Veranstaltungstechnik – insbesondere bei Open-Air-Bühnen, mobilen Einsätzen oder Touringproduktionen – muss die Lastmesstechnik zuverlässig gegen Feuchtigkeit, Staub, mechanische Einwirkungen und Temperaturschwankungen geschützt sein.

Schutzarten gemäß IP-Klassifikation

Die Schutzart wird nach DIN EN 60529 (IP-Code) angegeben. Besonders relevant für LMZ sind:

- IP65 – Schutz gegen Strahlwasser aus allen Richtungen (eingeschränkter Außeneinsatz)
- IP67 – Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen (Standard für Outdoor-taugliche LMZ)
- IP68 – Schutz gegen dauerhaftes Untertauchen und Feuchtigkeitseinwirkung (selten, Spezialanwendungen)

Geräte mit Schutzart IP67 gelten heute als Mindeststandard für den Außeneinsatz in der Veranstaltungstechnik. Sie ermöglichen den Einsatz bei Regen, Nässe und in staubigen Umgebungen – etwa auf Festivalgeländen oder in Sportarenen.

Einflüsse durch Temperatur und Witterung

Extremtemperaturen können sowohl die Messeigenschaften der Sensorik als auch die Batterielaufzeit beeinflussen:

- Kälte ($< 0\text{ °C}$): Verringerung der Batteriespannung, Signalverzögerungen, mechanische Versprödung
- Hitze ($> 40\text{ °C}$): Beschleunigte Alterung von Dichtungen, Elektronikkomponenten, Signaldrift
- Sonneneinstrahlung: Erwärmung über die Umgebungstemperatur hinaus → temporäre Messabweichungen möglich

Kompensationsmaßnahmen:

- Einsatz von temperaturkompensierten Sensoren
- Wärmeisolierung durch Schutzgehäuse oder Reflektionsabdeckungen
- Positionierung möglichst im Schatten oder unter Traversen, wenn technisch umsetzbar

Montagebesonderheiten bei ungünstigen Umgebungen

Auch die mechanische Beanspruchung durch Wind, Vibration oder unsachgemäßen Umgang bei Aufbauarbeiten stellt eine Belastung für LMZ dar:

- Lastzellen sollten nicht über das Messkabel gehängt oder daran gezogen werden
- Schutzkappen für Steckverbindungen sind bei Transport und Aufbau zu verwenden
- Stecker- und Verschraubungspunkte regelmäßig auf Feuchtigkeit und Korrosion kontrollieren

4.5 Einbau und Installation von Lastmesszellen

Die korrekte Montage und Installation von Lastmesszellen (LMZ) ist entscheidend für präzise Messergebnisse und die Sicherheit der gesamten Rigging-Konstruktion. Fehlerhafte Installationen können zu ungenauen Messwerten, falscher Lastverteilung oder sogar Materialversagen führen.

4.5.1 Vorbereitende Maßnahmen für den Einsatz von Lastmesszellen

Die präzise Funktion und Zuverlässigkeit von Lastmesszellen (LMZ) beginnt nicht erst mit ihrer Montage, sondern bereits in der Planungs- und Vorbereitungsphase. Nur durch eine vorausschauende Auswahl, eine korrekte statische Beurteilung und eine strukturierte Kommunikation lassen sich fehlerhafte Messwerte, falsche Lastverteilungen oder sicherheitsrelevante Schwächen vermeiden.

1. Analyse der Lastanforderungen

- Ermittlung der Gesamtlasten an den relevanten Hängepunkten anhand technischer Unterlagen, Lastpläne oder Kundeninformationen.
- Berücksichtigung sowohl statischer Lasten (z. B. festmontierte Traversen) als auch dynamischer Komponenten (z. B. bewegte LED-Wände, Lifteinheiten).
- Falls unklare oder fehlende Angaben vorliegen: konservative Schätzung oder Anwendung von Referenzlasten auf Basis vergleichbarer Konstruktionen.

2. Statische Berechnungen und Sicherheitsreserven

- Ermittlung der zulässigen Lasten an Traversen, Anschlagmitteln und Hallendecken gemäß DGUV 215-310 und DIN EN 13889.
- Definition eines Sicherheitsfaktors (z. B. 1,25–1,5) für die maximal auftretende Betriebslast.
- Überprüfung der vorgesehenen LMZ hinsichtlich Kalibrierstatus, maximaler Tragfähigkeit (WLL) und Einsatzgrenzen.

3. Auswahl geeigneter Lastmesszellen

- Verwendung von Schäkel-Lastmesszellen ab 3,25 t WLL als Standard für temporäre Rigging-Anwendungen.
- Einsatz von Inline-Zugmesszellen bei seilbasierten Aufhängungen oder permanenten Hängepunkten.
- Integration von Truss-integrierten LMZ zur Überwachung von Lastverteilungen in Traversensystemen.
- Entscheidung zwischen kabelgebundenen oder drahtlosen Systemen abhängig von Infrastruktur, Mobilität, Funkumgebung und Verkabelungsaufwand.

4. Prüfung der Anschlagmittel und Montageumgebung

- Kontrolle vorhandener Anschlagmittel (z. B. Schäkel, Softsteels, Rundschlingen) auf Abnutzung, Verformung oder unzulässige Anwendung.
- Sicherstellen, dass Anschlagmittel zu den Geometrien und Anschlüssen der LMZ passen.
- Bei drahtlosen Systemen: Vorabprüfung der verwendeten Funkfrequenz (2,4 GHz) auf mögliche Interferenzen (z. B. WLAN, Intercom).

5. Dokumentation und Abstimmung

- Benennung eines verantwortlichen Ansprechpartners für Auswahl, Installation und Überwachung der LMZ.
- Erstellung eines Lastverteilungsplans mit zugewiesenen LMZ an die vorgesehenen Hänge- bzw. Kundenpunkte (HP/KP).
- Koordination mit allen beteiligten Gewerken zur sicheren Einbindung der Messstellen in den Gesamtaufbau.

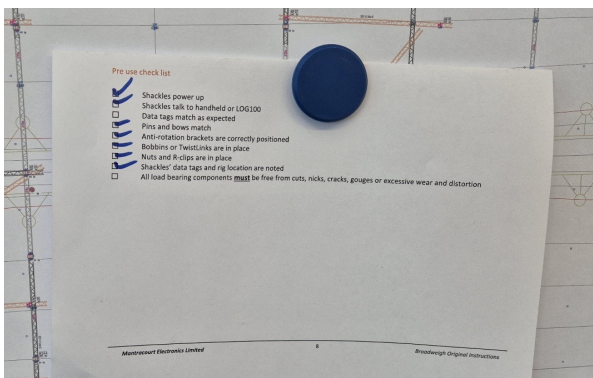
6. Prüfung technischer Unterlagen und Herstellerangaben

- Kontrolle aller Herstellerunterlagen, Datenblätter und Kalibrierscheine auf:
 - zulässige Einbaulage und Achsrichtung,
 - maximale Lastwerte (WLL, Bruchlast),
 - Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Schutzart),
 - Vorgaben zur Verwendung von Bolzen, Schäkeln, Adaptern,
 - Konformitätskennzeichnungen (CE, DIN, ISO).

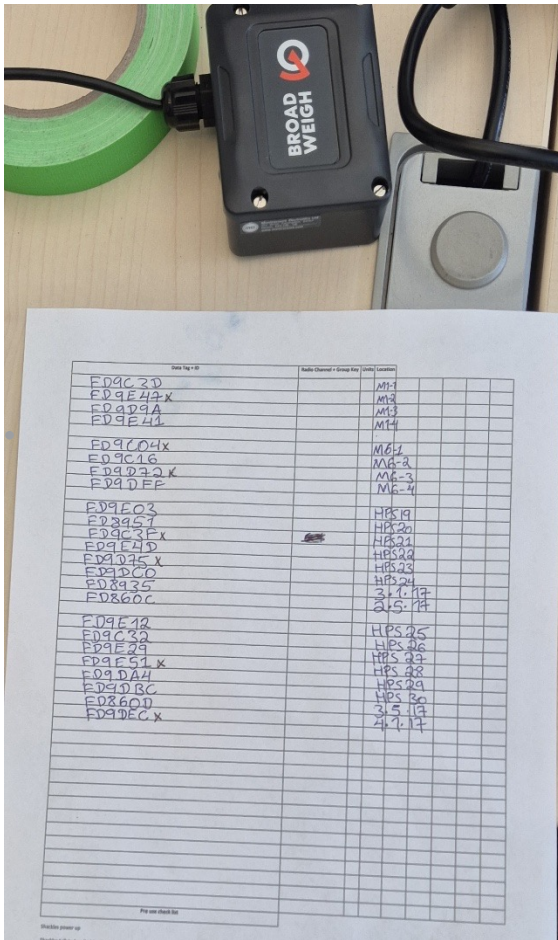
4.5.2 Spezifische Installationsrichtlinien für Schäkel

Schäkel-Lastmesszellen gehören zu den am häufigsten eingesetzten Systemen in der Veranstaltungstechnik. Sie lassen sich direkt in bestehende Riggingpunkte integrieren und zeichnen sich durch robuste Bauweise, einfache Handhabung und hohe Tragfähigkeiten aus. Für eine verlässliche Funktion ist die Einhaltung spezifischer Montagevorgaben unerlässlich.

1. Sichtprüfung, Dokumentation und Vorbereitung vor der Installation



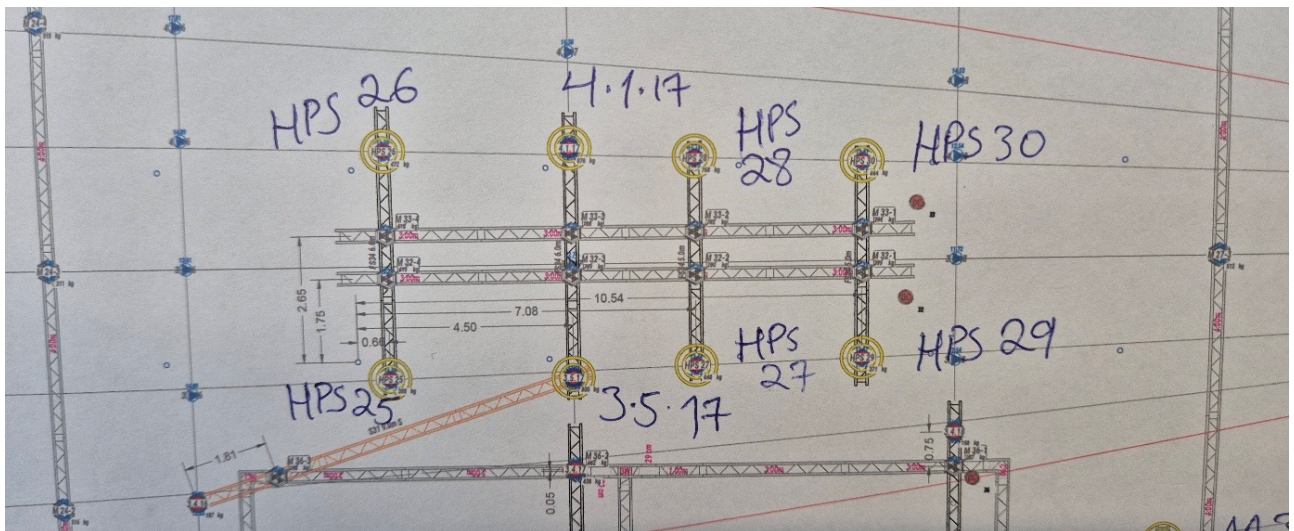
2. Erfassung der LMZ-ID zur Systemintegration



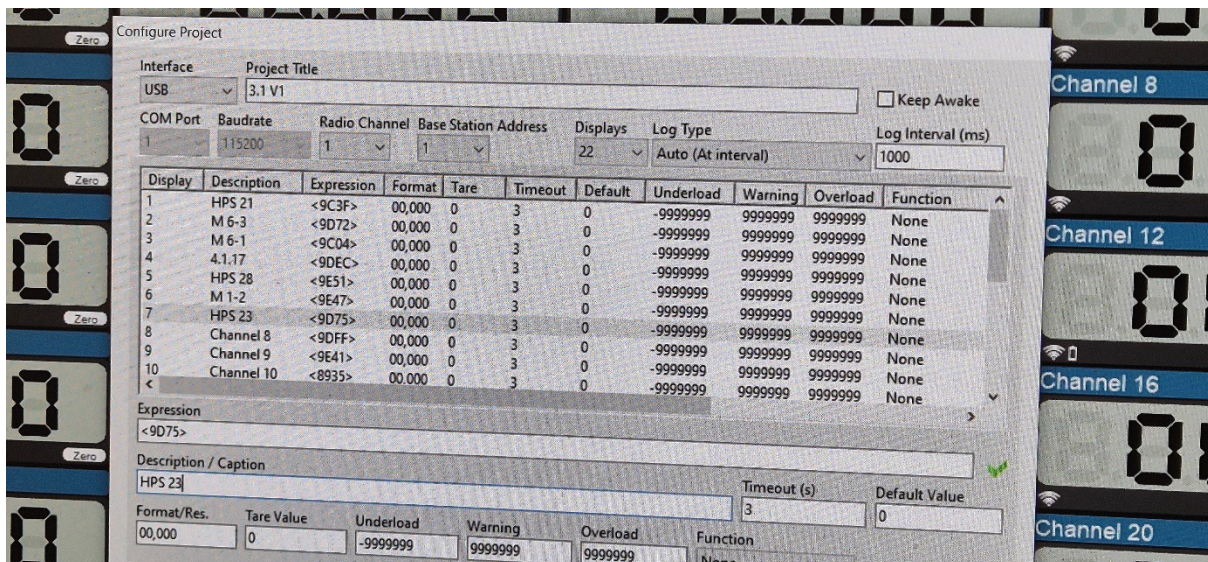
Jede LMZ verfügt über eine Seriennummer oder digitale ID, die in der Auswertesoftware registriert wird.



- Die eindeutige Zuordnung jeder LMZ zu einem Anschlagpunkt (z. B. HP-07, KP-03) muss vor der Installation erfolgen.



- Diese Zuordnung ist zentral in einer LMZ-Liste mit Ortsangaben (z. B. Deckenspiegel, Rigging-Plan) zu dokumentieren.



- Vorab-Konfiguration der Bezeichnungen in der Messsoftware wird empfohlen.

Physische Kennzeichnung zur schnellen Identifikation



- Zur besseren Übersicht im Aufbauprozess sollten alle LMZ sichtbar gekennzeichnet werden, z. B. durch:
 - wetterfeste Etiketten oder gravierte ID-Plaketten,
 - farbliche Markierungen an den Schäkelaugen,
 - lasergravierte oder geprägte Seriennummern bei permanenten Installationen.
- Ziel ist eine sofortige, visuelle Zuordnung im Aufbauprozess – besonders bei Großproduktionen mit vielen gleichzeitig verbauten Messzellen.

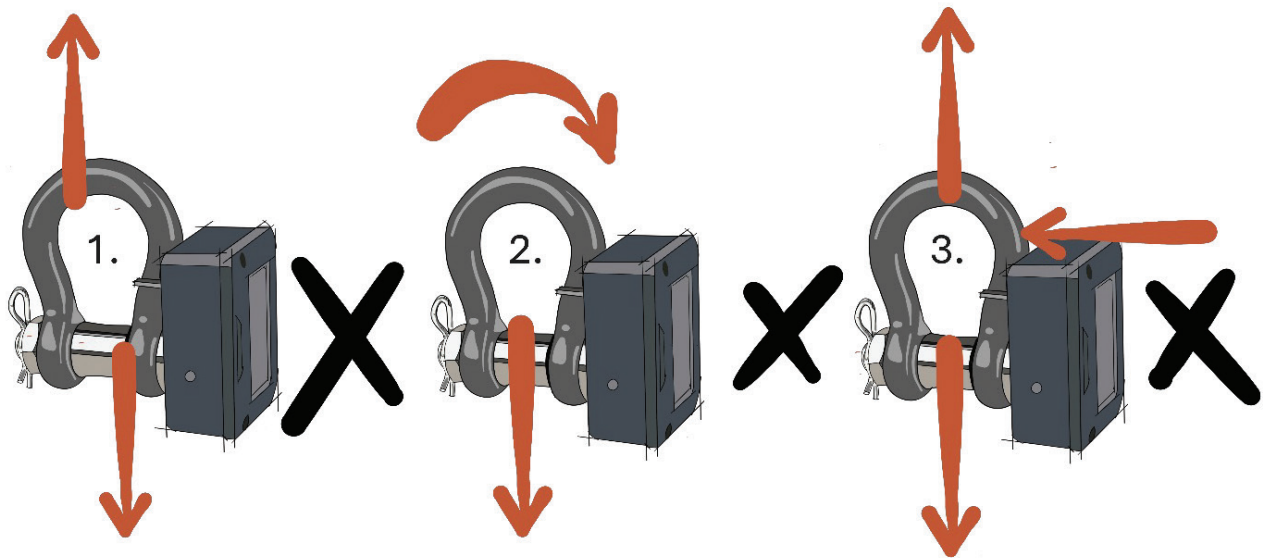
2. Mechanische Montage und Einbaurichtlinien

Zuglagerichtige Einbaulage

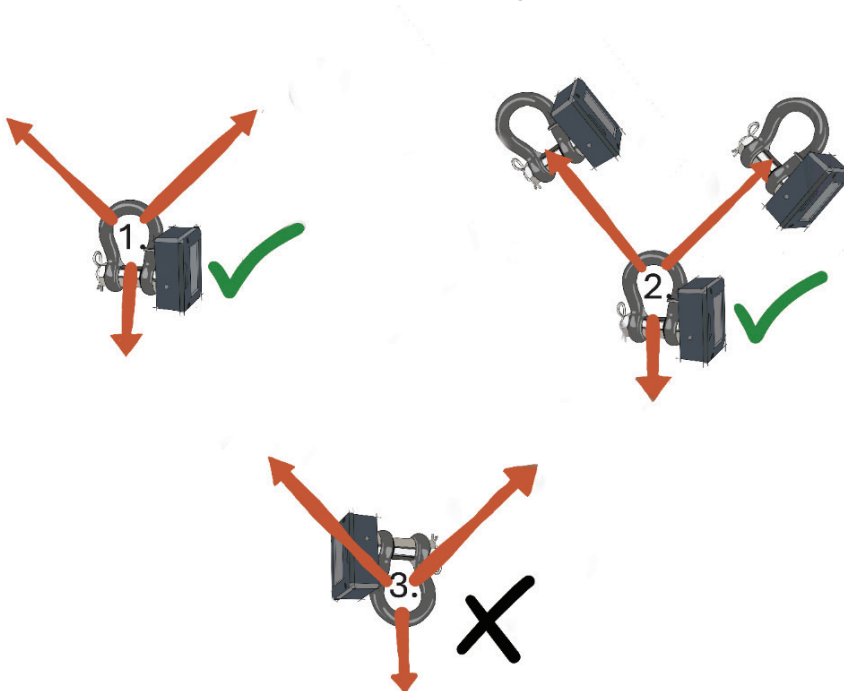
- Die Kraft muss in der Hauptachse des Schäkels wirken, ohne Schrägzug oder Verdrehung.
- Die Öffnung des Schäkels sollte nach unten oder horizontal zeigen, nicht verdreht.
- Bei Einbau mit $>5^\circ$ Neigung sind geeignete Korrekturen erforderlich (z. B. kardanische Aufhängungen, Adapterplatten).

Fehlausrichtung, Torsion oder Querbeltung verfälschen die Messergebnisse und belasten den Schäkkel auf eine Weise, für die er nicht konstruiert wurde.

1. Fehlausrichtung der Lastachse: Die Zugkraft wirkt nicht exakt axial durch die Schäkellachse → Messfehler & mechanische Überlastung möglich.
2. Torsionsbelastung: Verdrehung der Kraftrichtung innerhalb des Schäkels führt zu falschen Werten und potenzieller Materialschädigung.
3. Seitliche Belastung: Querkräfte wirken auf den Schäkelkörper – nicht nur ungenaue Messwerte, sondern auch Risiko mechanischen Versagens.

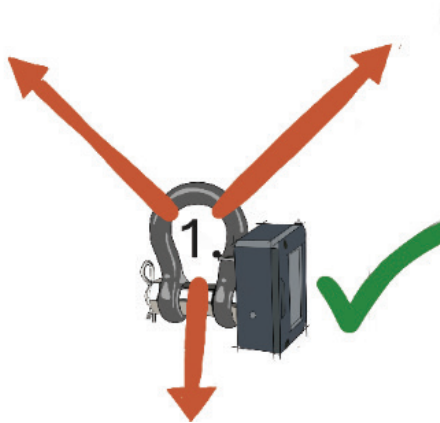


Einsatz von Schäkeln im Bridle-System



Beim Einsatz von Lastmessschäkeln in einem Bridle-System (z. B. bei zwei oder mehr Anschlagpunkten) ist zu beachten, dass sich die Last in den einzelnen Strängen des Bridles mit zunehmendem Winkel erhöht. Wenn der Messbolzen des Schäkels nicht korrekt mit dem jeweiligen Strang verbunden ist, wird diese Lastzunahme nicht erkannt oder falsch gemessen. Das kann zu Fehlinterpretationen und im schlimmsten Fall zu Sicherheitsrisiken führen.

Bild 1 – Falsche Positionierung bei nicht gemessenen Bridle-Strängen

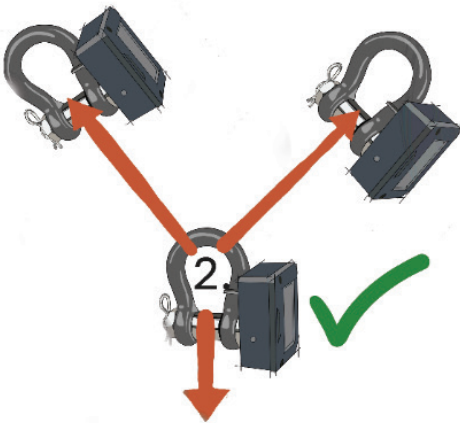


Situation: Der Schäkel ist zentral montiert, die Bridle-Stränge verlaufen beidseitig in einem Winkel vom Mittelpunkt weg.

Problem: Die durch den Winkel entstehenden Zusatzlasten in den einzelnen Strängen werden nicht über den Schäkel erfasst, da der Messbolzen nicht im Lastfluss liegt.

Konsequenz: Die zentral gemessene Last ist korrekt, jedoch werden die tatsächlichen Belastungen in den einzelnen Strängen nicht erkannt. Es besteht die Gefahr einer Überlastung einzelner Anschlagmittel, ohne dass dies messtechnisch sichtbar ist.

Bild 2 – Korrekte Montage mit gemessenen Bridle-Strängen

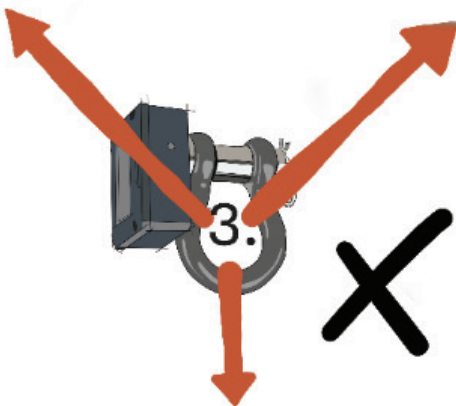


Situation: Jeder Bridle-Strang ist mit einem separaten Schäkel verbunden, wobei der Messbolzen jeweils im direkten Kraftfluss des jeweiligen Strangs liegt.

Vorteil: Die ansteigenden Lasten in den Strängen bei größerem Winkel (max. 120°) werden zuverlässig erfasst. Die Messung bildet das tatsächliche Lastverhalten im System korrekt ab.

Konsequenz: Dies stellt eine sichere, belastbare und normkonforme Anwendung dar.

Bild 3 – Unzulässige Krafteinleitung über den Schäkelbolzen



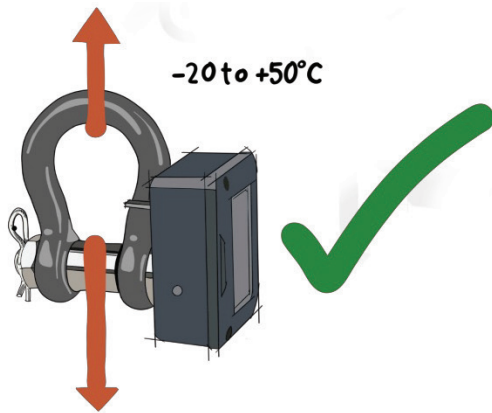
Situation: Die Anschlagmittel sind direkt über einen Winkel in den Bolzen eingeleitet, wodurch eine schräge Belastung auf den Messbolzen wirkt.

Problem: Der Bolzen des Schäkels ist konstruktiv nicht für schräge oder torsionale Belastungen ausgelegt. In dieser Anordnung kommt es zu fehlerhaften Messwerten und potenziellen mechanischen Schäden.

Konsequenz: Diese Anwendung ist unzulässig und stellt ein Sicherheitsrisiko dar.

Allgemeine Hinweise zur sicheren Verwendung

Betriebstemperaturbereich:



Der zulässige Einsatzbereich für den Schäkel und seine Komponenten liegt bei Umgebungstemperaturen von **-20 °C bis +50 °C**. Außerhalb dieses Bereichs kann es zu **Veränderungen der Materialeigenschaften, Fehlmessungen oder technischen Ausfällen** kommen. Die Einhaltung dieser Temperaturgrenzen ist für den sicheren Betrieb unerlässlich.

Bauteilveränderungen:

Kein Bestandteil des Schäkels – insbesondere nicht der Bolzen, die Lagerbuchse (Bobbin) oder das Verbindungselement (z. B. TwistLink) – darf durch Schweißen, Schleifen oder ähnliche Verfahren verändert werden.

Solche Modifikationen führen zum Verlust der Zulassung, zur Verfälschung der Messergebnisse und gefährden die mechanische Integrität des Systems.

Laststabilität:

Vor jedem Einsatz ist sicherzustellen, dass die eingeleitete Last stabil ist – ohne Bewegung, Verdrehung oder unkontrollierte Dynamik. Eine instabile Last kann sowohl die Messung verfälschen als auch die Struktur des Anschlagpunktes gefährden.

Mechanische Ankopplung:

- Direkte Metall-auf-Metall-Kontakte (z. B. Schäkel direkt in Traverse) sind zu vermeiden, um Verspannungen zu verhindern.
- Verbindungselemente wie Bolzen, Sicherungssplinte und Schäkelstifte sind entsprechend der Herstellerangaben auszuwählen und korrekt zu montieren.

Anschluss und Funktionsprüfung der Lastmesszelle

Kabelgebundene Systeme

- Die Kabelführung muss spannungsfrei und zugentlastet erfolgen.
- Knicke, Scheuerstellen oder Quetschungen sind zu vermeiden, insbesondere an Traverseübergängen oder scharfen Kanten.

Drahtlose Systeme

- Empfangsgeräte und Antennen müssen in Sichtlinie zur LMZ platziert sein.
- Vorab-Reichweitentest zur Sicherstellung der Funkverbindung ist verpflichtend.
- Frequenzprüfung auf Störsignale (z. B. WLAN, Bluetooth, Intercom) sollte bereits in der Vorbereitungsphase erfolgt sein.

Nullstellung und Testlast

- Vor dem Einleiten der Nutzlast ist eine Nullstellung (Tarierung) der Messzelle durchzuführen.
- Falls möglich, sollte eine Testmessung mit Referenzlast erfolgen, um die Funktionsfähigkeit zu validieren.

4.5.3 Installationsrichtlinien für drahtlose Lastmesszellen

Drahtlose Lastmesszellen (Wireless Load Cells) ermöglichen eine schnelle, flexible Installation und werden insbesondere bei temporären Konstruktionen oder schwer zugänglichen Punkten eingesetzt. Sie bieten Vorteile hinsichtlich Mobilität und Installationszeit, erfordern jedoch besondere Aufmerksamkeit bei der Einrichtung, insbesondere im Hinblick auf Signalqualität, Energieversorgung, Platzierung und Frequenzmanagement.

1. Vorbereitung und Signalprüfung vor der Installation

Erfassung und Dokumentation der Sensor-IDs

- Jede LMZ besitzt eine individuelle Seriennummer oder ID zur eindeutigen Identifikation im System.
- Diese IDs sind im Vorfeld zu erfassen und mit den geplanten Hängepunkten (HP) oder Kundenpunkten (KP) zu verknüpfen.
- Einheitliche Benennungsschemata in der Software erhöhen die Übersicht, z. B.:
 - LMZ-01_Truss_Mitte
 - LMZ-02_Motor_Stage_Left

Funkfrequenzprüfung und Störquellenanalyse

- Drahtlose LMZ arbeiten im 2,4-GHz-ISM-Band (gemeinsam mit WLAN, Bluetooth, Intercom).
- Vor der Inbetriebnahme ist mittels Spektrumanalyse ein freier Kanal zu identifizieren.
- Bei Störungen durch andere Systeme ist ein manueller Kanalwechsel in der LMZ-Software vorzunehmen.

Batterieprüfung und Energieversorgung

- Akkus oder Batterien müssen vollständig geladen sein.
- Systeme mit Akkuanzeige oder Warnmeldung bei niedrigem Batteriestand sollten genutzt werden.



- Vor der Installation ist sicherzustellen, dass die LMZ korrekt aktiviert und die Energieversorgung stabil ist.

Broadweigh Log100 Remote View
Broadweigh data logging and measurement
3.1 V 5 Under load 00.00
Status: **Error**

Channel	Value	LQI	Status
M 1-1	-----	0	0
M 1-2	-----	0	0
M 1-3	-----	0	0
M 1-4	-----	0	0
M 6-1	-----	0	0
M 6-2	-----	0	0
M 6-3	-----	0	0
M 6-4	-----	0	0
HPS 19	-----	0	0
HPS 20	-----	0	0
HPS 21	-----	0	0
HPS 22	-----	0	0
HPS 23	-----	0	0
HPS 24	-----	0	0
3.1.17	-----	0	0
2.5.17	-----	0	0
HPS 25	-----	0	0
HPS 26	-----	0	0
HPS 27	-----	0	0
HPS 28	-----	0	0
HPS 29	-----	0	0
HPS 30	-----	0	0
3.5.17	-----	0	0
4.1.17	-----	0	0

Status Key: ● Error ● Low Batt. ● Net Mode ● Warning Level Exceeded ● Over/Under Limit Exceeded

Benennung der LMZ gemäß HP/KP (siehe auch 4.5.2)

- Die Bezeichnungen richten sich nach dem technischen Plan, z. B.:
 - LMZ_HP-07 für Deckenspiegel-Hängepunkt 07
 - LMZ_KP-14 für einen kundenbezogenen Punkt
- Diese Benennung ist bereits vor der Installation in der Software vorzunehmen und physisch zu kennzeichnen (Etikett, Farbe, Gravur).

2. Montage und Positionierung der drahtlosen Lastmesszellen

Empfängerplatzierung und Reichweitentest

- Der Empfänger muss sich in direkter Sichtlinie zu allen LMZ befinden.
- Metallstrukturen und LED-Wände können die Signalübertragung stören.
- Vor Betriebsbeginn ist ein Reichweitentest durchzuführen.

Antennenausrichtung und Abschattungsvermeidung

- Antennen (intern/extern) sollten senkrecht nach oben oder waagrecht zum Empfänger ausgerichtet werden.
- LMZ nicht direkt an großen Metallflächen oder elektronischen Geräten montieren.

Sicherung gegen Vibration und Rotation

- Befestigung an bewegten Traversen oder Zügen nur mit Dämpfungselementen oder stabilen Aufnahmen.
- Schwingungen und Verdrehungen können Messungen verfälschen und zu Ausfällen führen.

3. Signalprüfung und Inbetriebnahme

Softwareverbindung und Kalibrierung

- Vor der Nutzung erfolgt die Synchronisation mit der Software.
- Die LMZ sind zu tarieren (Nullpunkt setzen), insbesondere bei vormontierten oder vorspannenden Systemen.
- Bei Systemen mit mehreren Sensoren empfiehlt sich ein Testlauf mit Referenzlast.

Live-Überwachung der Signalqualität

- In der Software sollte eine Anzeige der Signalstärke aktiviert sein.
- Bei plötzlichem Verbindungsverlust sind Frequenzkonflikte auszuschließen und ggf. ein Kanalwechsel vorzunehmen.

Zusammenfassung der Best Practices für drahtlose LMZ

Phase	Maßnahme
Vorbereitung	Sensor-IDs dokumentieren, Batteriestand prüfen, Funkkanäle analysieren
Montage	Empfänger in Sichtlinie positionieren, Abschattungen vermeiden, dämpfen
Signalprüfung	Reichweitentest durchführen, Tarierung einstellen, ggf. Testlast nutzen
Laufender Betrieb	Signalqualität überwachen, Batteriestatus regelmäßig kontrollieren

4.5.4 Installationsfehler und deren Vermeidung

Fehlerhafte Installationen von Lastmesszellen (LMZ) können zu ungenauen Messergebnissen, unkontrollierten Lastverlagerungen oder sogar zu sicherheitskritischen Situationen führen. Daher ist es essenziell, typische Fehlerquellen zu kennen und geeignete Gegenmaßnahmen zu treffen.

1. Häufige Installationsfehler und deren Auswirkungen

Fehler	Auswirkungen	Vermeidung
Nicht-zentrische Belastung der LMZ	Verfälschte Messwerte durch Querkkräfte oder Verdrehungen	Exakte Ausrichtung in der Haupt-Zugachse sicherstellen, ggf. Kardanaufhängungen nutzen
Überlastung der Lastmesszelle	Dauerschäden oder ungenaue Messungen durch Materialermüdung	Sicherheitsreserve einplanen (mind. 25-50% über erwarteter Maximalbelastung)
Fehlende oder fehlerhafte Tarierung	Falsche Nullpunkteinstellung führt zu inkorrekten Messwerten	Vor jeder Nutzung Tarierung durchführen
Verwechslung der LMZ-Zuordnung	Fehlinterpretation von Lastverteilungen	Standardisierte Benennung gemäß HP/KP-Nummern aus den Plänen (siehe 4.2.3.1)
Funkstörungen bei drahtlosen LMZ	Signalverlust oder verzögerte Messwerte	Spektrumanalyse vor der Installation, dedizierte Frequenzbereiche nutzen
Unzureichende Kabelführung bei kabelgebundenen LMZ	Signalstörungen, mechanische Beschädigung des Kabels	Kabel sauber verlegen, nicht über scharfe Kanten führen, Zugentlastung beachten
Falsche Platzierung des Empfängers bei drahtlosen LMZ	Signalabbrüche durch Abschattung oder Metallstrukturen	Empfänger in direkter Sichtlinie zur LMZ platzieren, Testlauf durchführen
Batterieausfall bei drahtlosen LMZ	Unterbrechung der Messung während des Betriebs	Batteriestatus vor Installation prüfen, Ersatzbatterien bereithalten
Schwingungen oder Verdrehungen der LMZ	Unregelmäßige Werte oder falsche Überlastungswarnungen	Schwingungsdämpfer oder Stabilisierungen verwenden

2. Praxisorientierte Maßnahmen zur Fehlervermeidung

2.1 Vor der Installation

- Sichtkontrolle aller LMZ und Anschlagmittel auf Beschädigungen oder Verschleiß.
- Prüfung der Kalibrierung und Tarierung vor dem ersten Einsatz.
- Dokumentation und Nummerierung der LMZ gemäß Hängepunkt- (HP) oder Kundenpunkt- (KP) Bezeichnung.
- Frequenzprüfung bei drahtlosen Systemen zur Vermeidung von Funkstörungen.

2.2 Während der Montage

- Exakte Ausrichtung der LMZ in der Haupt-Zugachse zur Vermeidung von Querkräften.
- Sichere Verbindung mit dem Rigging-System unter Berücksichtigung der WLL und Sicherheitsfaktoren.
- Testlauf mit Referenzlasten, um die Funktion und Genauigkeit zu prüfen.

2.3 Nach der Installation

- Überprüfung der Live-Messwerte in der Software, um Plausibilität zu gewährleisten.
- Überwachung der Signalqualität bei drahtlosen Systemen.
- Erstellung eines Installationsprotokolls mit den relevanten Daten (ID, Position, Kalibrierstatus, Messwerte im Leerzustand).

4.6 Interpretation der Messwerte und Fehleranalyse

Die korrekte Interpretation der Messwerte ist entscheidend für die Sicherheit und Stabilität der Rigging-Konstruktion. Messfehler, unplausible Werte oder unerwartete Lastverlagerungen müssen schnell erkannt und analysiert werden, um potenzielle Gefahren frühzeitig zu vermeiden.

4.6.1 Grundlagen der Messwertinterpretation

Lastmesszellen erfassen die eingeleiteten Kräfte in Echtzeit. Zur richtigen Interpretation der Werte müssen folgende Aspekte beachtet werden:

1. Referenzwerte festlegen

- Die gemessenen Lasten sollten mit den theoretischen Berechnungen aus den statischen Planungen verglichen werden.
- Es muss geprüft werden, ob die gemessenen Werte innerhalb der erwarteten Toleranzen liegen.
- Falls Abweichungen auftreten, ist eine sofortige Ursachenanalyse erforderlich.

2. Erwartete Messwerte pro Situation

Situation	Typischer Messwert	Abweichung & Interpretation
Traverse ohne Last (Eigengewicht)	z.B. 250 kg	Höherer Wert → ggf. falsch tarierte LMZ
Traverse mit geplanter Last	z.B. 1200 kg	Geringerer Wert → mögliche Lastumlagerung
Last an mehreren Anschlagpunkten verteilt	Werte gleichmäßig verteilt	Einzelpunkt mit Überlast → mögliche Fehlaufhängung
Bewegte Last (Dynamische Lastspitzen)	Werte schwanken um $\pm 10\text{-}20\%$	Plötzliche Spitzen → Motorfahrten oder Windlasten prüfen

4.6.2 Häufige Fehlerquellen und deren Auswirkungen

1. Unplausible Messwerte

Mögliche Ursachen:

- Falsche Tarierung oder nicht zurückgesetzter Nullpunkt.
- Falsch eingestellte Kalibrierung in der Software.
- Fehlende Berücksichtigung von dynamischen Faktoren (Schwankungen durch Bewegung).

Lösung:

- Tarierung erneut durchführen und Vergleich mit Referenzlasten machen.
- Softwareeinstellungen prüfen und ggf. Kalibrierungsdatei neu laden.

2. Plötzliche Lastverlagerungen

Mögliche Ursachen:

- Falsch positionierte Lastmesszellen oder unsachgemäße Anschlagpunkte.
- Veränderung der Lastverteilung durch Hebezeuge oder veränderte Bodenbedingungen.

Lösung:

- Manuelle Nachmessung mit zusätzlichen Lastmesszellen durchführen.
- Kontrolle der Anschlagmittel und des gesamten Rigging-Setups.

3. Signalausfälle oder schwankende Werte bei drahtlosen LMZ

Mögliche Ursachen:

- Funkstörungen durch andere 2,4-GHz-Systeme oder WLAN-Netzwerke.
- Metallische Strukturen blockieren die Übertragung.

Lösung:

- Spektrumanalyse durchführen, um freie Frequenzen zu finden.
- Empfangsantenne umpositionieren oder auf kabelgebundene Lösung umsteigen.

4. Unerwartete Lastspitzen (z. B. beim Bewegen von Lasten)

Mögliche Ursachen:

- Motorfahrten oder unkontrollierte Bewegungen von LED-Wänden oder Traversen.
- Externe Faktoren wie Windlasten oder Pendelbewegungen.

Lösung:

- Dynamische Einflüsse mit in die Lastberechnung einbeziehen.
- Dämpfungselemente oder sanfte Fahrweisen nutzen, um Lastspitzen zu reduzieren.

4.6.3 Analyseverfahren zur Fehlersuche

1. Vergleichsmessung mit statischen Lasten

- Eine bekannte Referenzlast (z. B. ein definiertes Prüfgewicht) kann genutzt werden, um die Messgenauigkeit der LMZ zu überprüfen.
- Falls Abweichungen auftreten, sollte eine Neukalibrierung durchgeführt werden.

2. Messwertaufzeichnung und Langzeitanalyse

- Viele moderne LMZ-Systeme speichern Messwerte über einen bestimmten Zeitraum.
- Die Auswertung der Lastentwicklung über Stunden oder Tage kann helfen, Muster zu erkennen und Probleme frühzeitig zu identifizieren.

3. Vergleich von mehreren Messpunkten

- Falls eine einzelne LMZ einen unplausiblen Wert liefert, kann ein Vergleich mit benachbarten Messpunkten helfen, die Ursache zu identifizieren.
- Große Unterschiede zwischen benachbarten Anschlagpunkten deuten oft auf eine falsche Lastverteilung oder ein statisch unbestimmtes System hin.

4.6.4 Maßnahmen bei Verdacht auf Fehlmessungen oder Überlastungen

Falls sich während einer Veranstaltung oder im Aufbau unplausible oder kritische Werte zeigen, sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

1. Messwerte sofort verifizieren

- Vergleich mit theoretischen Lastannahmen.
- Falls erforderlich, zusätzliche Kontrollmessungen mit anderen Sensoren.

2. Belastungsgrenzen überprüfen

- Falls eine Überlastung droht, sofort Maßnahmen zur Lastverlagerung oder Reduzierung der Gesamtlast einleiten.
- Rücksprache mit Statikern oder Sicherheitsverantwortlichen.

3. Falls drahtlose LMZ betroffen sind

- Überprüfung der Funkverbindung und ggf. Wechsel auf eine andere Frequenz oder kabelgebundene Lösung.

4. Erstellung eines Fehlerberichts

- Falls Messfehler auftreten, sollten die Werte dokumentiert und mit den relevanten Beteiligten besprochen werden.
- Dies hilft bei zukünftigen Optimierungen des Rigging-Setups.

4.6.5 Resultierende Messergebnisse aus Fehlbelastungen in nicht überwachten Punkten

In Rigging-Systemen, bei denen nicht alle Anschlagpunkte mit Lastmesszellen ausgestattet sind, können einzelne Veränderungen an einem Punkt unbeabsichtigte Lastverlagerungen im Gesamtsystem verursachen. Dies kann zu falschen Annahmen über die tatsächlichen Belastungen an anderen Punkten führen.

1. Einfluss von unüberwachten Punkten auf gemessene Werte

- Falls nur einzelne Punkte mit Lastmesszellen ausgestattet sind, können auftretende Überlastungen an benachbarten, nicht gemessenen Punkten unbemerkt bleiben.
- Dies ist besonders kritisch bei statisch unbestimmten Systemen, da eine nicht lineare Lastverteilung auftreten kann.
- Ein falsches Sicherheitsgefühl kann entstehen, wenn die überwachten Punkte scheinbar innerhalb der Grenzwerte bleiben, obwohl an unüberwachten Punkten bereits Überlastungen auftreten.

2. Beispiel: Bewegungen von Motoren und ihre Auswirkungen auf das Gesamtsystem

- Selbst eine kleine Bewegung von wenigen Zentimetern an einem Motorzug kann eine erhebliche Lastverschiebung entlang einer Traverse oder einer Gesamtstruktur verursachen.
- Falls nicht alle Punkte mit LMZ ausgestattet sind, kann die Messung an einem Punkt suggerieren, dass die Last dort stabil bleibt, obwohl andere Punkte erhöhte oder unkontrollierte Lastspitzen erfahren.
- Besonders kritisch ist dies bei Traversensystemen mit mehreren Motorzügen, wo Hebevorgänge oder Nivellierungsarbeiten sich auf die gesamte Struktur auswirken.

3. Best Practices zur Minimierung von unerkannten Lastverlagerungen

- Vor jeder Bewegung eines Lastpunktes muss eine Analyse der möglichen Auswirkungen auf das Gesamtsystem durchgeführt werden.
- Falls nicht alle Punkte mit LMZ ausgestattet sind, sollte eine zusätzliche Lastberechnung oder eine alternative Absicherung durch Kontrollmessungen an kritischen Punkten erfolgen.
- Falls eine Lastmessung nur an einzelnen Punkten erfolgt, sollte ein Testlauf mit kleinen Bewegungen durchgeführt werden, bevor größere Lastverlagerungen vorgenommen werden.
- Bei statisch unbestimmten Systemen sollten Lastveränderungen stets in kleinen Schritten und mit direkter Überwachung aller relevanten Punkte erfolgen.

4.7 Maßnahmen bei Überlastungen und unplausiblen Werten

Die korrekte Interpretation der Messwerte ist essenziell, um Überlastungen frühzeitig zu erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Unplausible Werte oder kritische Lastspitzen müssen sofort analysiert und dokumentiert werden, um die Sicherheit des Rigging-Systems zu gewährleisten.

4.7.1 Sofortmaßnahmen bei erkannten Überlastungen

Falls eine Überlastung an einer Lastmesszelle erkannt wird, sind folgende Schritte in der vorgegebenen Reihenfolge auszuführen:

1. Stoppen aller Bewegungen im Rigging-System

- Motorfahrten oder andere Lastveränderungen sofort anhalten.
- Keine weiteren Lasten in das System einbringen oder entfernen, bevor die Situation geklärt ist.

2. Live-Überprüfung der betroffenen Punkte in der Software

- Abgleich mit anderen Lastmesspunkten → Sind andere Punkte ebenfalls betroffen?
- Falls nur eine einzelne LMZ Überlast anzeigt → Handelt es sich um eine Fehlmessung oder ein echtes Problem?

3. Sichtkontrolle der Anschlagpunkte und Traversen

- Falls möglich: Visuelle Inspektion des betroffenen Bereichs durch einen qualifizierten Rigger.
- Falls mechanische Verformungen erkennbar sind (Biegung, Verdrehung, veränderte Position): System außer Betrieb nehmen!

4. Vergleich der aktuellen Lasten mit den statischen Berechnungen

- Falls die gemessene Last die theoretisch berechnete Last überschreitet, muss das gesamte Lastverteilungskonzept überprüft werden.
- Falls eine Lastverlagerung stattgefunden hat, prüfen, ob dies durch falsch eingestellte Motoren oder nicht überwachte Punkte verursacht wurde.

5. Kommunikation mit dem zuständigen Fachpersonal

- Meldung an den verantwortlichen Rigging Supervisor / Statiker / technischen Leiter.
- Dokumentation der Messwerte, Screenshots der Software, ggf. Vergleich mit historischen Daten.
- Entscheidung über mögliche Entlastungsmaßnahmen (z. B. Nachspannen oder Umhängen von Lasten).

4.7.2 Maßnahmen zur Lastreduzierung bei drohender Überlast

Falls eine Überlast festgestellt wird, aber keine akute Gefährdung vorliegt, können folgende Maßnahmen helfen, das System wieder in den sicheren Bereich zu bringen:

1. Umhängen oder Reduzieren von Lasten

- Falls möglich, sollte die betroffene Last auf mehrere Anschlagpunkte verteilt werden, um die maximale Punktbelastung zu verringern.
- Falls eine Last nur temporär zu hoch ist (z. B. durch Bewegung), prüfen, ob eine Entlastung durch alternative Hebevorgänge möglich ist.

2. Neuausrichtung von Motorzügen

- Falls mehrere Motorzüge eine Traverse halten, kann eine leichte Veränderung der Zugkräfte helfen, die Belastung gleichmäßiger zu verteilen.
- Achtung: Jede Veränderung kann andere Punkte beeinflussen! → Vorher Lastverlagerung simulieren!

3. Verstärkung der Anschlagpunkte durch zusätzliche Abhängungen

- Falls möglich, können zusätzliche Rigging-Punkte eingebracht werden, um die Belastung einzelner Punkte zu verringern.
- Dies ist besonders sinnvoll, wenn ein statisch unbestimmtes System existiert und zusätzliche Sicherungspunkte verfügbar sind.

4.7.3 Fehlermöglichkeiten und Maßnahmen bei unplausiblen Werten

Falls eine Lastmesszelle Werte außerhalb des erwarteten Bereichs liefert, kann dies auf eine Fehlmessung oder einen technischen Defekt hindeuten.

Unplausibler Wert	Mögliche Ursache	Maßnahme
Plötzlich sehr hohe Last an einem Punkt	Falsche Tarierung oder Kalibrierung	Nullpunkt setzen, Kalibrierung überprüfen
Extrem niedrige oder negative Werte	Drahtbruch, defekte Elektronik	Austausch der LMZ, Überprüfung der Verbindung
Werte schwanken stark ohne Bewegung	Externe Störungen oder defekte Sensorik	Test mit Referenzgewicht, Vergleich mit anderen Sensoren
Lastverlagerung ohne ersichtliche Änderung	Statisch unbestimmtes System oder Bewegung in nicht überwachten Punkten	Zusätzliche Kontrollmessungen an benachbarten Punkten durchführen

4.7.4 Dokumentation und Berichterstellung

Sobald eine Überlast oder ein technischer Fehler festgestellt wurde, muss dies ordnungsgemäß dokumentiert werden.

1. Erfassung der kritischen Messwerte

- Datum, Uhrzeit, betroffene LMZ-Nummer, exakte gemessene Werte.
- Falls möglich: Screenshots oder Logfiles der Software sichern.

2. Beschreibung der Maßnahmen

- Welche Korrekturen wurden durchgeführt (z. B. Lastreduzierung, Neuausrichtung)?
- Wer war vor Ort verantwortlich und hat die Maßnahmen bestätigt?

3. Nachkontrolle und erneute Messung

- Nach Durchführung der Maßnahmen erneute Prüfung der Werte.
- Falls Werte weiterhin unplausibel sind → LMZ tauschen oder alternative Messmethoden einsetzen.

4. Kommunikation mit dem Auftraggeber oder dem Statiker

- Falls ein Kunde oder Veranstalter involviert ist, muss eine klare Rückmeldung über die durchgeführten Maßnahmen gegeben werden.
- Bei wiederholten Problemen kann eine Anpassung des Rigging-Konzepts erforderlich sein.

4.7.5 Präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Überlastungen

Maßnahme	Nutzen
Planung mit realistischen Lastannahmen	Überlastungen durch falsche Lastangaben vermeiden
Regelmäßige Kalibrierung und Tarierung der LMZ	Falsche Werte durch Drift oder Nullpunktverschiebung verhindern
Schulung des Personals zur Interpretation der Messwerte	Korrekte Reaktion auf ungewöhnliche Werte gewährleisten
Zusätzliche Sicherheitsfaktoren einplanen	Reserven für dynamische Einflüsse oder Lastverlagerungen schaffen
Live-Überwachung während Motorbewegungen	Spontane Lastverlagerungen in Echtzeit erkennen
Testläufe mit Referenzlasten	Frühzeitige Identifikation von Messfehlern oder Fehleinstellungen

4.7.6 Automatische Abschaltung von Motoren bei Überlastungen

Moderne Lastmesssysteme können mit Motorkontrollsystemen gekoppelt werden, um bei kritischen Überlastsituationen automatisch eine Abschaltung der Hebezeuge zu initiieren. Dies dient der Vermeidung von Materialversagen und der Absicherung von Personen unter der Last.

1. Prinzip der automatischen Motorabschaltung

- Falls eine Lastmesszelle einen definierten Grenzwert überschreitet, kann eine Notabschaltung der betroffenen Motoren erfolgen.
- Diese Funktion wird oft als “Overload Cutoff” oder “Safe Load Monitoring” bezeichnet und ist in fortschrittlichen Rigging-Steuersystemen integriert.
- In großen Traversensystemen sollten mehrere Motoren synchronisiert überwacht werden, um zu verhindern, dass eine einseitige Abschaltung Lastverschiebungen auslöst.

2. Ablauf nach einer automatischen Abschaltung

Sobald eine automatische Notabschaltung durch eine LMZ-Überlast ausgelöst wurde, sind folgende Schritte durchzuführen:

1. Alle Motoren sofort deaktivieren und das gesamte System sichern.
2. Messwerte aus der Software abrufen →
Welcher Punkt hat die Überlast ausgelöst?
3. Visuelle Inspektion der betroffenen Anschlag- und Tragemittel:
 - Schäkel, Rundschlingen und Ketten auf Verformungen oder Deformationen prüfen.
 - Falls eine sichtbare Materialverformung erkennbar ist → kompletten Punkt außer Betrieb nehmen und Anschlagmittel austauschen.
 - Falls keine sichtbare Verformung, aber eine kurzfristige Lastspitze → Detaillierte Überprüfung der Werte über einen Zeitraum von mehreren Minuten.
4. Abgleich der aktuellen Lastverteilung mit der geplanten Statik:
 - Falls das gesamte System innerhalb der Lastgrenzen liegt, könnte die Überlast durch eine temporäre Dynamik (z. B. Pendelbewegung) entstanden sein.
 - Falls eine permanente Überlastung vorhanden ist → Neuverteilung der Lasten oder Reduzierung der Gesamtlast erforderlich.

3. Wann müssen Anschlag- und Tragemittel ausgetauscht werden?

- Sichtbare plastische Verformung an Schäkkel, Ketten oder Tragemitteln
→ Sofortiger Austausch erforderlich.
- Fehlender Freigang von Schäkkelbolzen oder deformierte Schäkelaugen
→ Material überlastet, Austausch notwendig.
- Verdrehte oder gestauchte Rundschnellen
→ Potenzielle Faserschäden, Austausch erforderlich.
- Drahtseile mit Drallbildung oder offenen Litzen
→ Unbrauchbar, sofort ersetzen.

4. Optimierung der Überlast-Abschaltung zur Vermeidung unnötiger Stopps

Falls in einem Rigging-System regelmäßig unnötige Überlastabschaltungen auftreten, sollte geprüft werden:

- Sind die Lastgrenzen zu konservativ eingestellt?
- Werden dynamische Lastspitzen korrekt gefiltert?
- Ist die Lastverteilung während der Motorfahrten ausgewogen, oder entstehen systematisch einseitige Belastungsspitzen durch unterschiedliche Laufzeiten oder Anlaufverhalten?

In manchen Systemen kann die Überlastgrenze softwareseitig angepasst werden, um kurzfristige Lastspitzen (z. B. durch Anfahrmomente bei Motorfahrten) zu tolerieren, ohne sofort eine Notabschaltung auszulösen.

5. Einsatz von Lastmesszellen in Messehallen, Arenen und Open-Air-Events

Der Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) muss an die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Veranstaltungsortes angepasst werden. Messehallen, Arenen und Open-Air-Events stellen jeweils unterschiedliche Herausforderungen an die Statik, die Installation von Rigging-Strukturen und die Lastüberwachung.

Im Fokus dieses Kapitels stehen insbesondere Messehallen, da hier in der Praxis die höchste Varianz an Rigging-Konzepten, Nutzergruppen und Nutzungsszenarien auftritt. Durch die Vielzahl an Gewerken, flächige PreRiggs, wechselnde Kundenlasten und limitierte Haustechnik entstehen besonders komplexe Anforderungen an Planung, Lastverteilung und Überwachung.

Kapitel 5 widmet sich daher in seinem Hauptteil gezielt der systematischen Behandlung von Messehallen als Schwerpunktumgebung für den praktischen Einsatz von Lastmesssystemen. Die anschließenden Abschnitte zu Arenen und Open-Air-Veranstaltungen dienen der Ergänzung und Abgrenzung zu weiteren relevanten Einsatzfeldern.

5.1 Von der statischen Theorie zur realen Baupraxis: Der risiko-basierte Einsatz

Die statische Berechnung belegt die Sicherheit des Endzustandes. Die Realität der Veranstaltungstechnik wird jedoch von Zwischenbauzuständen und Toleranzen bestimmt. Die Entscheidung für oder gegen eine Lastmesszelle (LMZ) ist daher keine Checklisten-Aufgabe, sondern eine sicherheitstechnische Notwendigkeit, die auf einer fundierten Risikoanalyse basiert.

A. Die situative Notwendigkeit (Wann darf auf die Messung verzichtet werden?)

Die primäre Sensibilisierung beginnt mit der Klarstellung, wann die LMZ nicht zwingend ist. Dies schafft Vertrauen in die Planung, unterstreicht aber die Ausnahmen:

- Auf die Lastüberwachung kann verzichtet werden, wenn die Konstruktion *konstruktionsabhängig* so ausgelegt ist, dass keine Überlastungen zu erwarten sind. Die Sicherheit muss hierbei vollständig über die statische Berechnung abgedeckt sein.
- Situationsabhängige Beurteilung: Jedes Rigging-System muss situationsabhängig beurteilt werden. Die Bauweise, die Umwelteinflüsse (z. B. Wind) und die geplante Nutzung definieren die Anforderungen.

B. Das Systemrisiko (Warum die Ganzheitlichkeit entscheidend ist)

Die Teilüberwachung von statisch unbestimmten Systemen birgt das inhärente Risiko der Lastumleitung: Ein Problem oder eine Überlastung an einem nicht überwachten Punkt kann unbemerkt die Last in die Nachbarpunkte verschieben und so das gesamte System gefährden

- Lastumleitung und Hybridstände* : Bei statisch unbestimmten Systemen wird die Kraft bei Überbeanspruchung oder Aufbautoleranzen in die Nachbarpunkte eingeleitet. Dies erfordert eine ganzheitliche Betrachtung von Hybridständen mit mehreren Punkten in allen Betrachtungsweisen (Längs- und Querrichtung).
- Mehrere Messungen bei Fehlerketten: Wenn das System so sensitiv ist, dass bei mehreren Grenzwertüberschreitungen eine sofortige Lastumverteilung und damit eine Kettenreaktion droht, machen mehrere Messungen Sinn. Die LMZ wird zum Werkzeug, um eine gefährliche Lastumverteilung frühzeitig zu erkennen.

C. Die menschliche Verantwortung im Aufbau (Prozess-Qualität)

Dies ist der wichtigste Punkt zur Sensibilisierung des Rigging-Personals: Die beste Statik ist wertlos ohne saubere Ausführung.

- Mehr Gedanken machen während des Aufbaus: Die Prozess-Qualität hat höchste Priorität. Das qualifizierte Personal muss sich während des Aufbaus verstärkt auf die Lastverteilung und die Einhaltung der Montage konzentrieren.
- LMZ als Kontrollorgan: Die Lastmesszelle ist das technische Organ, das die Qualität der Montage und die Einhaltung der Toleranzen objektiv überprüft.

*Hybridstände sind komplexe Messekonstruktionen, die die fest installierte Halleninfrastruktur und das übergeordnete Pre-Rigg mit temporär eingebrachten, auch aufgeteilten Kunden-Riggs kombinieren.

5.2. Messehallen: Ausgangslage und Rahmenbedingungen für den Riggingbetrieb

Messehallen stellen für den Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) ein vielschichtiges Anwendungsfeld dar. Die baulichen und organisatorischen Bedingungen unterscheiden sich deutlich von Arenen oder Open-Air-Veranstaltungen. Die Herausforderung liegt dabei nicht nur in den technischen Limitierungen der Tragstrukturen, sondern vor allem in der komplexen gewerkeübergreifenden Nutzung der Hallenfläche.

Typisches Szenario in einer Messehalle:

In der Praxis variieren die Konstruktionsarten der Hängepunkte stark zwischen den Hallen und beeinflussen maßgeblich die zulässige Punktlast sowie die Möglichkeiten zur Lastüberwachung. Neben den häufig erwähnten Halfenschienen sind folgende Varianten besonders verbreitet:

- Direkt an Stahlträgern befestigte Hängepunkte
- Durch Bohranker im Beton montierte Befestigungen – typischerweise in Hallenrandbereichen
- Über Steelflex-Systeme an Hauptträgern angebundene Punkte
- Wandseitige Kragarmkonstruktionen, welche meist Sonderlösungen darstellen

Diese Unterschiede beeinflussen sowohl die statische Bewertung als auch die Auswahl geeigneter Lastmesspunkte. Insbesondere bei temporären oder untypischen Befestigungsarten ist eine Abstimmung mit dem Hallenstatiker sowie eine dokumentierte Freigabe der Anbindung obligatorisch.

Strukturelle und organisatorische Besonderheiten:

- Die Tragfähigkeiten der einzelnen Hauspunkte sind fix vorgegeben – teils durch Lasttabellen im Hallenbuch, teils durch temporäre Reduzierungen (z. B. im Winter wegen Schneelastreserve).
- Da in Messehallen oft 500 bis 1.000 Hängepunkte vorliegen, ist eine flächendeckende Kontrolle realistisch nicht umsetzbar.
- Aus diesem Grund werden Einzelmesszellen nur an ausgewählten Punkten gefordert, insbesondere bei erwarteten Spitzenbelastungen oder auf Anweisung eines Prüfsachverständigen.
- Die Funkbedingungen in Messehallen sind durch WLAN, Intercom-Systeme und Bluetooth stark beansprucht – dies erfordert spezielles Frequenzmanagement bei drahtlosen LMZ.

Zentrale Herausforderung:

Die Vielzahl an Beteiligten, parallelen Aufbauten und dynamisch eingebrachten Lasten macht eine präzise, vollständige und rechtskonforme Lastüberwachung ohne systematisches Vorgehen nahezu unmöglich.

Die Folge: In der Praxis werden häufig nur einzelne LMZ-Punkte eingesetzt, was zu Scheintransparenz führen kann, insbesondere wenn die restliche Struktur nicht überwacht wird.

A. Einzelpunktüberwachung bei Preriggs

Preriggs bilden in vielen Messehallen die erste riggingtechnische Basisebene. Diese Konstruktionen werden vor dem eigentlichen Kundenrigg installiert und dienen dazu, eine gleichmäßige Lastverteilung zu ermöglichen, die Einhaltung von Höhenrastern sicherzustellen oder eine Montage zu erleichtern. Gerade hier kommt es häufig zu Einzelpunktüberwachungen durch Lastmesszellen, oftmals auf Anordnung durch Prüfsachverständige oder als Auflage des Hallenbetreibers.

Typisches Anwendungsszenario:

- Eine Halle ist mit mehreren Preriggsystemen ausgestattet – meist aus Trusslinien, die parallel zur Hallendecke installiert sind.
- Diese Preriggs hängen an definierten Hauspunkten, deren Traglasten von einem Ingenieurbüro freigegeben wurden (z. B. 300 kg oder 500 kg pro Punkt).
- Um die Einhaltung dieser Belastungsgrenzen nachweisbar zu machen, wird an einem oder wenigen ausgewählten Punkten eine LMZ installiert – z. B. an dem Punkt mit erwarteter Maximalbelastung (Worst-Case-Punkt).

Problemstellung:

Die Einzelpunktüberwachung mag zwar formell den Anforderungen genügen, sie birgt jedoch technische Risiken:

- Dynamische Belastungen beim Verfahren von Motorzügen oder beim Nachspannen können Lastumverlagerungen innerhalb des Preriggsystems führen.
- Die Kräfteverteilung innerhalb eines Preriggs ist in vielen Fällen nicht exakt statisch bestimmbar (z. B. bei großflächigen Traversensystemen oder bei elastischen Unterschieden durch Bauhöhe und Anschlagmittel).
- Das bedeutet: Die überwachte LMZ misst „korrekt“, aber die tatsächliche Überlastung kann an einem unüberwachten Nachbarpunkt auftreten.

Sicherheitsrelevante Bewertung:

Nach aktuellen Regelwerken wie DIN EN 17206, DGUV 215-313 und IGW SQQ2 ist es nicht ausreichend, allein auf formelle Messpunktanforderungen zu vertrauen, wenn die Systemstatik keine eindeutige Lastverteilung sicherstellt.

Pflicht zur Eigenverantwortung des Dienstleisters:

- Wenn bei der Installation durch Motorfahrten, Kettenverläufe oder bauliche Gegebenheiten unkalkulierbare Lastverteilungen entstehen, liegt es in der Verantwortung des Rigging-Dienstleisters, weitere LMZ eigenständig zu ergänzen, auch wenn nur ein offizieller Messpunkt angefordert wurde.
- Dies ergibt sich direkt aus dem Grundsatz der Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG §3 und §4 sowie aus der Verpflichtung zu „geeigneten Schutzmaßnahmen“ nach DGUV Vorschrift 17/18 §2.

Empfohlene Vorgehensweise:

1. Vorab-Kontrolle der vorgesehenen LMZ-Messpunkte

- Prüfen, ob diese realistisch als Hauptlastpunkte gelten – oder ob benachbarte Punkte stärker belastet werden könnten.

2. Dynamikanalyse bei Motorzügen

- Vor allem bei mehreren synchronisierten Zügen oder Nachspannvorgängen kann es zu lokalen Überlastungen kommen.

3. Erweiterung der LMZ-Anzahl

- Falls technische oder logistische Indikatoren auf Lastverlagerung hinweisen, sollten mindestens zwei weitere LMZ an strategischen Punkten ergänzt werden.

4. Dokumentation und Kommunikation

- Diese Maßnahme muss mit dem Planer oder Betreiber abgestimmt und dokumentiert werden (z. B. über ein internes Protokoll oder eine schriftliche Zusatzfreigabe).

Fazit zu Punkt A:

Einzelpunktüberwachung bei Preriggs darf nicht als rein formaler Nachweis verstanden werden. In allen Fällen, in denen Lastverteilungen nicht eindeutig statisch bestimmt werden können, ist der Rigging-Dienstleister zur Erweiterung der Messstrategie verpflichtet, um die tatsächliche Sicherheit der Konstruktion sicherzustellen.

Beispiel Einzelpunktüberwachung an Hauspunkten für Prerigg:

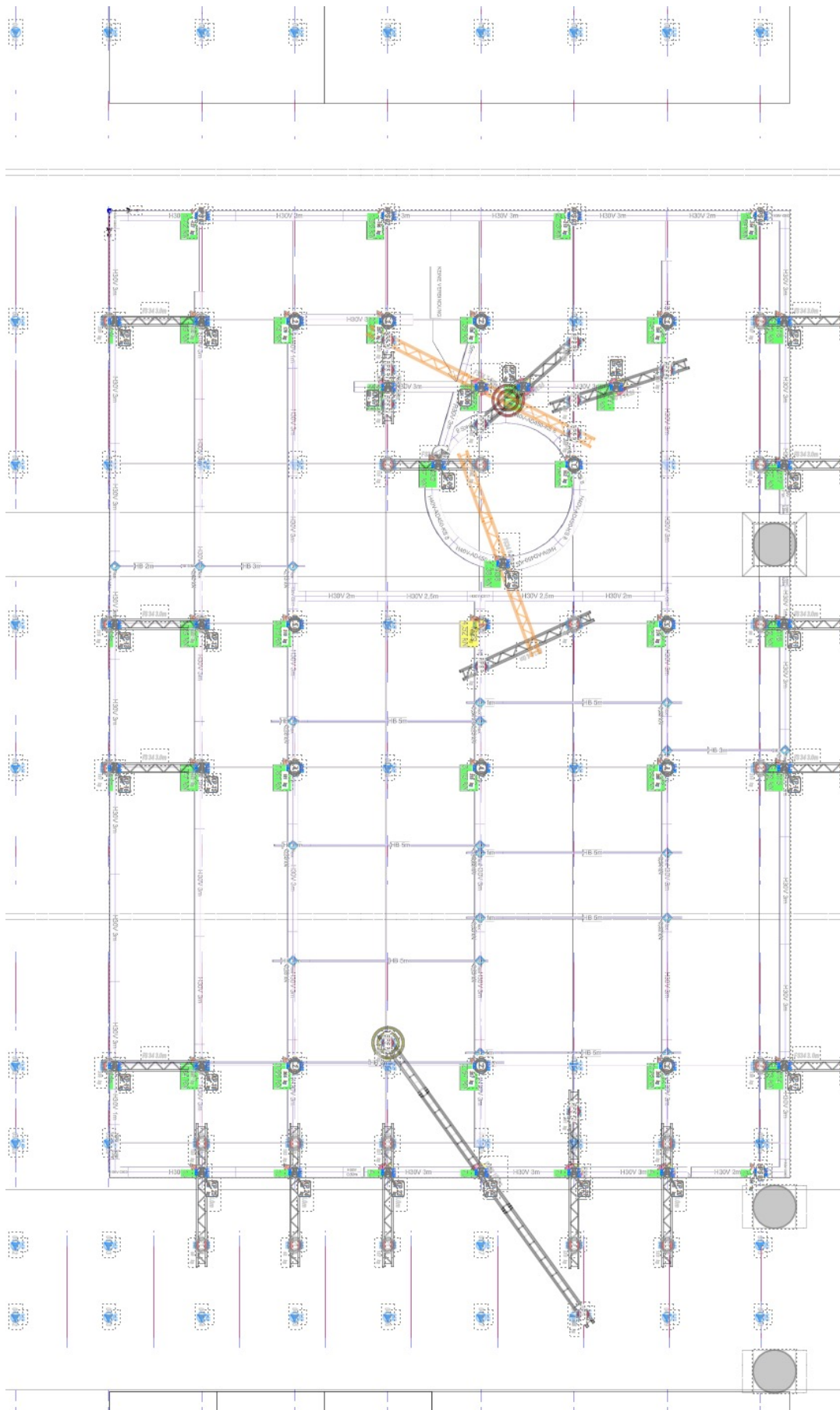


Abb.: 25, Einzelpunktüberwachung an Hauspunkten für Prerigg Quelle: Dominic Tomaszewski, 2025

B. Kundenriggs an Preriggsystemen

Nach der Installation der Preriggs folgt in der Regel die Anbringung von individuellen Kundenriggs, also Konstruktionen, die von Ausstellern, Technikdienstleistern oder Messebauern eingebracht werden. Diese hängen an den Preriggsystemen und beinhalten oft LED-Wände, Sonderkonstruktionen, Dekorationen oder technische Geräte wie Lautsprecher und Moving Lights.

Charakteristika von Kundenriggs:

- Werden häufig modular oder kurzfristig geplant.
- Enthalten oft unvollständige oder fehlerhafte Lastangaben.
- Werden nachträglich montiert, also nachdem das Prerigg bereits hängt.

Herausforderung: Wechselwirkung mit dem Prerigg

- Kundenriggs beeinflussen die Gesamtlastverteilung des Preriggs, insbesondere wenn sie asymmetrisch oder konzentriert eingehängt werden.
- Lastmesszellen, die nur an Preriggpunkten messen, können Lastverschiebungen durch Kundenlasten nicht vollständig abbilden.
- Die Aufhängung mehrerer Kundenriggs an einem Trusssegment kann zu nichtlinearen Verteilungen und punktuellen Überlastungen führen, besonders bei statisch unbestimmten Systemen.

Rechtlicher und sicherheitstechnischer Hintergrund:

Gemäß DIN EN 17206, DGUV 215-313 und IGWV SQQ2 ist bei jeder zusätzlichen Last, die in ein bestehendes Rigging-System eingebracht wird, eine erneute Bewertung der Tragfähigkeit und der Lastverteilung erforderlich.

Verantwortungskklärung:

- Auch wenn das Kundenrigg durch eine Fremdfirma eingebracht wird, bleibt die Gesamtverantwortung für die Tragstruktur beim Betreiber oder beim verantwortlichen Rigger, sofern keine Übergabvereinbarung oder Abgrenzung erfolgt ist.
- Nach DGUV Vorschrift 17/18 §33 muss jede Änderung oder Erweiterung am Rigging auf sicherheitsrelevante Auswirkungen geprüft werden.

Empfohlene Maßnahmen zur Integration von Kundenriggs:

1. Vorab-Kommunikation

- Kunden und Messebauer müssen die geplanten Lasten rechtzeitig in Form einer Lastliste oder eines technischen Riggplans einreichen.

2. Statische Nachbewertung durch den Rigger

- Insbesondere wenn mehrere Kundenriggs an einem Trussabschnitt angebracht werden, ist eine Neuberechnung der Lastverteilung erforderlich.

3. Erweiterung der Lastmessüberwachung

- Falls das Kundenrigg an Punkten angebracht wird, die bislang nicht überwacht wurden, müssen zusätzliche LMZ temporär installiert werden.

4. Gemeinsame Abnahme

- Der abschließende Laststatus muss mit der technischen Leitung der Messe oder des Veranstalters gemeinsam geprüft werden (inkl. Sign-Off durch Kunden firma bei kritischen Punkten).

5. Anpassung der Softwaredarstellung

- Die Position der Kundenlasten sollte im LMZ-Monitoring korrekt abgebildet sein, ggf. durch zusätzliche Marker, um Abweichungen sofort sichtbar zu machen.

Best Practice:

Sobald ein Kundenrigg an einem bestehenden Prerigg installiert wird, muss der Bereich als veränderter Lastbereich neu bewertet und ggf. mit zusätzlichen LMZ abgesichert werden – insbesondere bei asymmetrischen Hängepunkten, LED-Strukturen oder hohen Punktlasten.

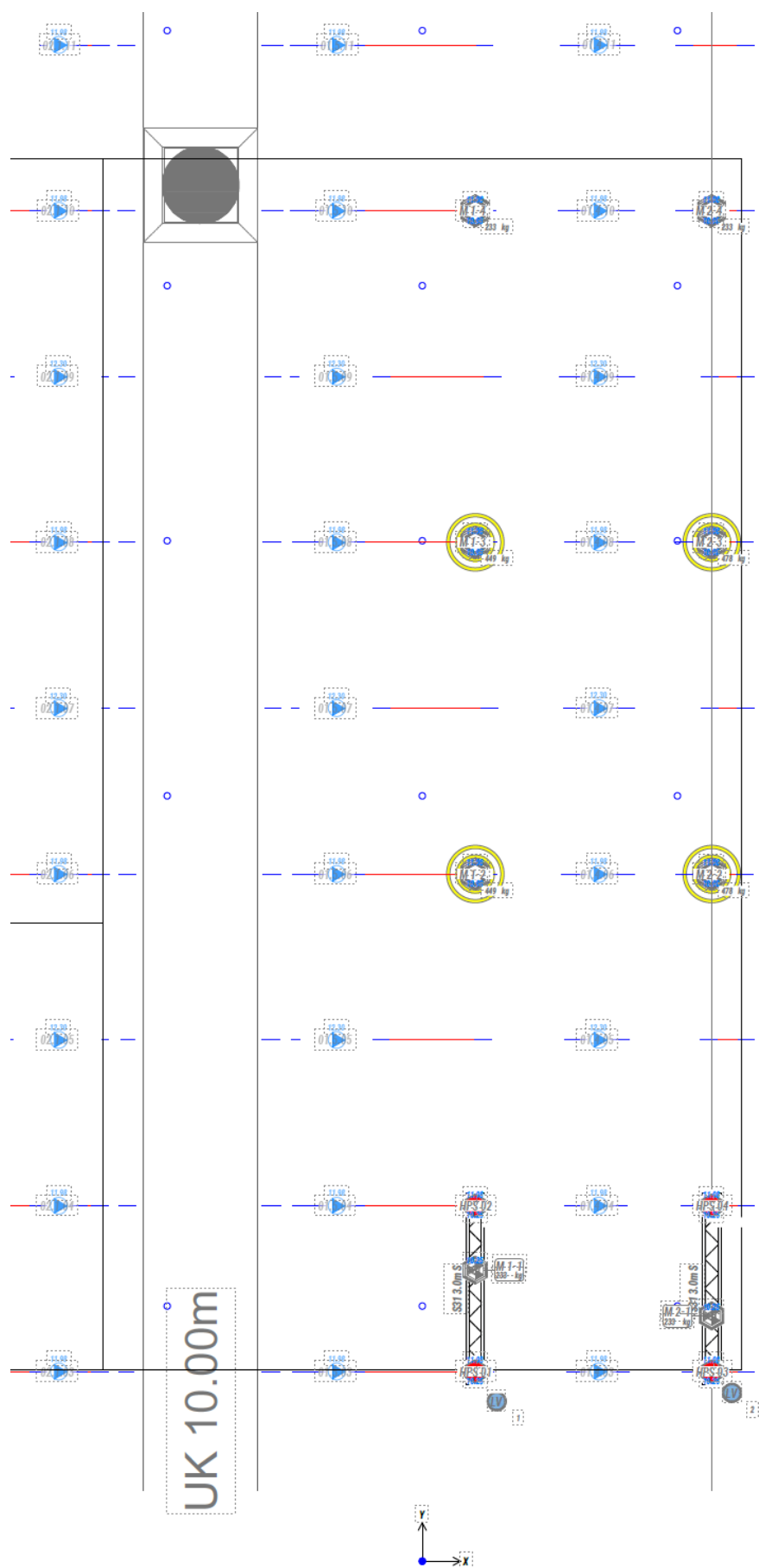


Abb.: 26, Quelle: Dominic Tomaszewski, 2025

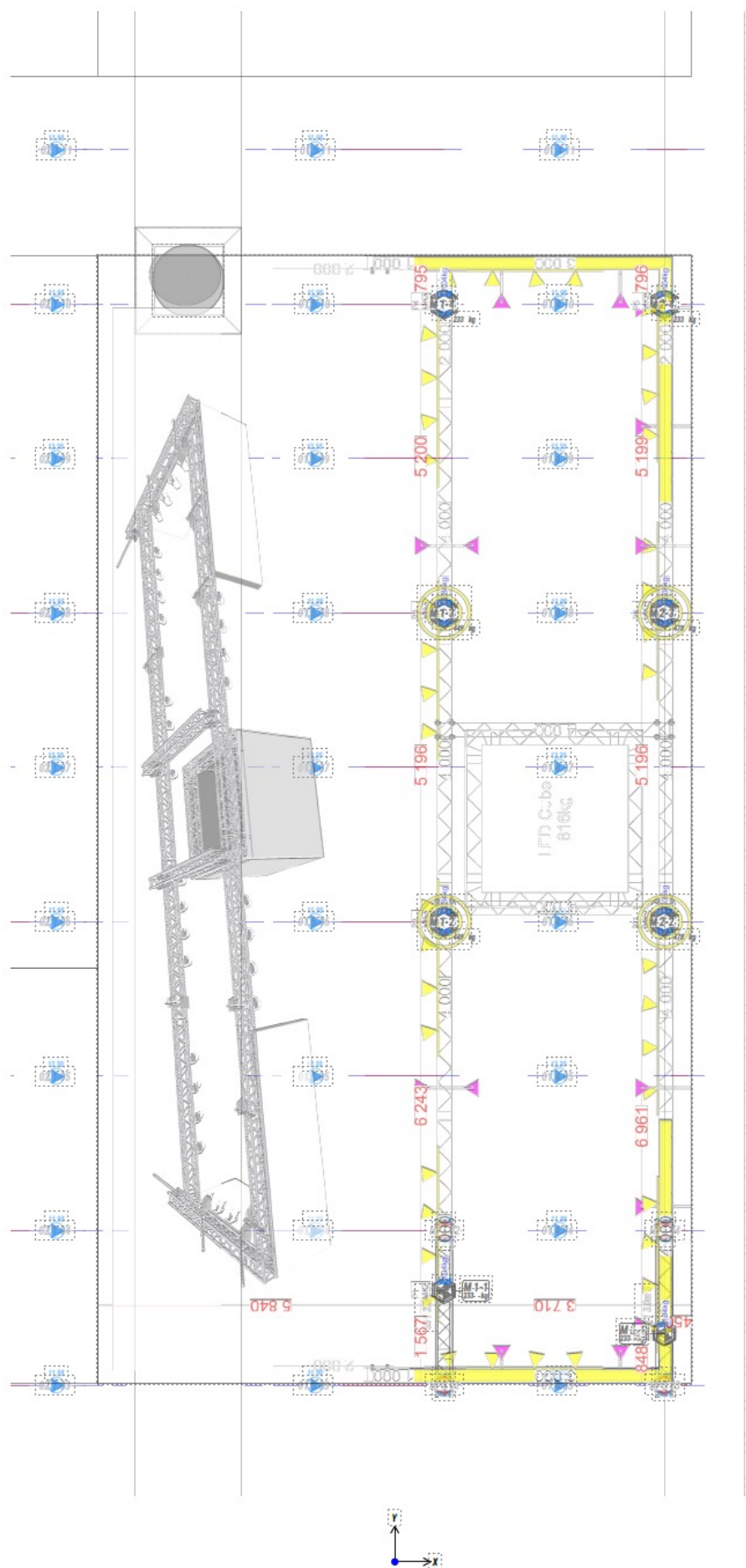


Abb.: 27, Quelle: Dominic Tomazewski, 2025

C. Dynamische Aufbauprozesse und kritische Schnittstellen – Lastverlagerungen durch benachbarte Strukturen und zeitlich versetzte Belastungen

1. Hintergrund & Problemstellung

In Messehallen erfolgt der Aufbau von Rigging-Strukturen oft in mehreren Etappen, also zeitlich gestaffelt und durch verschiedene Dienstleister. Preriggs, Kundenriggs, LED-Wände, Traversensysteme oder Sonderbauten werden nacheinander installiert und dabei an gemeinsamen oder benachbarten Tragstrukturen befestigt. Dies führt zu:

- Schrittweiser Veränderung der Gesamtlast in einem Hängepunkt oder Tragsystem.
- Unvorhersehbaren Lastverlagerungen, insbesondere bei Traversensystemen mit mehreren Anschlagpunkten.
- Lastübernahmen durch benachbarte Strukturen, etwa durch mechanischen Kontakt oder mangelnde Entkopplung.
- Potenziellen Fehlinterpretationen in der Messung, da einzelne LMZ nur punktuell, nicht flächendeckend messen.

2. Typische Risikofaktoren

- Aufbau in mehreren Phasen ohne Zwischenauswertung der LMZ-Daten.
- Hängepunkte mit mehreren angeschlagenen Lasten aus verschiedenen Gewerken.
- Nachträgliches Einbringen schwerer Lasten ohne Neutarierung oder dynamische Überwachung.
- Nachspannungen, Nivellierungen oder Bewegung durch Motorfahrten verändern die Lastpfade unbemerkt.
- Statisch unbestimmte Systeme, die sich dynamisch neu ausbalancieren.

3. Maßnahmen zur Risikominimierung

- Zwischenmessungen nach jedem Aufbauabschnitt, idealerweise mit Protokollierung.
- Einsatz von mehreren LMZ pro System, wenn die Lastverteilung nicht klar ist.
- Definierte Aufbauphasen mit Lastfreigabe durch einen Supervisor oder Statiker.
- Verwendung von Synchronfahrten bei Heben/Nivellieren zur Vermeidung einseitiger Belastung.
- Mechanische Trennung benachbarter Systeme, sofern keine Lastverteilung gewünscht ist (z. B. durch Gelenkstücke oder Softlinks).
- Integration eines automatischen Lastwarnsystems, das dynamische Lastzunahmen in Echtzeit meldet.

4. Dokumentation & Verantwortung

- In Aufbauphasen mit dynamischer Lastentwicklung sollte eine Lastentwicklungsprotokollierung erfolgen.
- Verantwortliche Rigger oder Supervisoren müssen Freigaben für jede Systemerweiterung dokumentieren.
- Beteiligte Firmen müssen über Schnittstellenlasten und mögliche Rückwirkungen informiert sein (z.B. durch strukturierte Übergabeprotokolle).

D. Externe Einflussfaktoren: Schneelasten, Winddruck & Belastungsreduzierung bei Mehrgeschossnutzung

1. Saisonale Schneelasten (Winterbetrieb)

- Statische Zusatzlasten auf dem Hallendach durch Schnee können die Tragreserven für Riggingpunkte erheblich einschränken.
- Betreiber reduzieren in der kalten Jahreszeit häufig pauschal die zulässige Punktlast

Maßnahme:

- Vor Projektbeginn Rückfrage beim Hallenbetreiber zur aktuell zulässigen Winterlast.
- Einplanung zusätzlicher Sicherheitsreserven bei der Lastverteilung (mind. +25 %).

2. Windlasten durch geöffnete Tore

- Durchfahrtstore oder Notausgänge an Hallenrändern erzeugen Druckunterschiede, die zu unkontrollierten Luftbewegungen führen.
- Besonders bei großflächigen Aufhängungen (z. B. LED-Flächen, Projektionssegel, Softdrops) können plötzliche seitliche Kräfte entstehen.
- Diese Einwirkungen führen zu dynamischen Lastspitzen, die über das statisch kalkulierte Maß hinausgehen.

Maßnahme:

- Einsatz von Dämpfungselementen und Mittelwertfilterung bei LMZ zur Glättung von kurzzeitigen Peaks.
- Kommunikation mit der Haustechnik: Tore während der Betriebszeit geschlossen halten oder geplante Öffnungszeiten abstimmen.

3. Reduzierung bei Nutzung mehrerer Hallenebenen (z. B. Untergeschosse)

- In einigen Messehallen erfolgt der Aufbau auf Galerien oder oberen Decks, während darunter regulärer Betrieb (Catering, Lager, Ausstellerfläche) stattfindet.
- In solchen Fällen kann die zulässige Punktlast auf den oberen Ebenen baulich bedingt reduziert sein.
- Lasten wirken dann indirekt auf tragende Stützen oder Träger der Gesamtstruktur.

Risiko:

- Unbeabsichtigte Überlastungen, da die Verteilung nicht mehr nur lokal, sondern geschossübergreifend relevant ist.

Maßnahme:

- Abfrage beim Betreiber oder Statiker, ob eine Traglastreduzierung bei mehrgeschossiger Nutzung vorliegt.
- Bei unbekannter Statik: Einsatz zusätzlicher Lastmesszellen auf der oberen Ebene, um kritische Belastungssituationen frühzeitig zu erkennen.

E. Komplexe Mehrfachüberwachung in Messehallen: Systemgrenzen, Koordination und technische Umsetzung

Moderne Messeproduktionen erfordern häufig eine hohe Anzahl gleichzeitig eingesetzter Lastmesszellen (LMZ) zur Überwachung unterschiedlichster Hängepunkte, Systeme und Lastkombinationen. Besonders herausfordernd ist dabei die zentrale Auswertung und Überwachung, wenn verschiedene LMZ-Typen (drahtlos, kabelgebunden, kundeneigen) in einem System koordiniert betrieben werden müssen.

Herausforderungen:

- Heterogene Systemlandschaften: Kombination aus
 - kabelgebundenen LMZ (z. B. an statischen Punkten),
 - drahtlosen LMZ (z. B. an schwer zugänglichen Hängepunkten),
 - LMZ von Kunden oder Fremdfirmen (z. B. LED-Technik, Standausrüstung).
- Unterschiedliche Funkstandards und Protokolle, die nicht automatisch kompatibel sind.
- Hohe Sensoranzahl: Über 100–200 LMZ in einer Halle sind keine Seltenheit bei Großmessen mit aufwendigen Preriggs und komplexen Kundenrigs.
- Zugriffsrechte und Zuständigkeiten: Fremdgewerke installieren teils eigene LMZ-Systeme, die jedoch nicht in das zentrale Überwachungskonzept der Rigging-Firma eingebunden sind – ein sicherheitskritisches Problem.
- Unübersichtliche Systemtrennung: Ohne zentrale Koordination ist unklar, welche Sensoren welche Hängepunkte abdecken, ob diese kalibriert sind, und wie sie bewertet werden.

Technische Lösung: Zentrale, einheitliche Live-Auswertung

1. Serverbasierte Massenauswertung

- Einsatz einer softwarebasierten Lösung, die alle LMZ-Typen in eine gemeinsame Visualisierungsebene integriert.
- Import-Schnittstellen für gängige Formate (CSV, XML, API) ermöglichen auch die Einbindung fremder LMZ-Systeme.
- Echtzeitüberwachung mit zentralem Server: Lastverläufe werden kontinuierlich aktualisiert und synchronisiert.

2. Latenzanforderungen

- Im Aufbauzustand (aktive Lastveränderung durch Motorfahrten etc.):
 - Keine Latenz zulässig – Daten müssen live angezeigt und bewertet werden.
 - Sofortreaktion auf dynamische Lastverlagerung notwendig (z. B. bei mehreren synchronisierten Motoren, nicht vorhersehbaren Verlagerungen durch Kundenaufbauten).
- Im statisch ruhenden Zustand (z. B. nachts oder während Messebetrieb):
 - Maximale Latenzzeit: 3 Minuten
 - Dient der Langzeitüberwachung, Nachverfolgung von Laständerungen (z. B. durch Setzungen oder Nachbelastungen).

3. Alarmsysteme & Auswertung

- Einrichtung von automatischen Schwellenwert-Alarmen, z. B. bei:
 - Überschreitung von 80 % der WLL eines Hängepunkts,
 - plötzlichem Lastanstieg >10 % innerhalb von 60 Sekunden,
 - kompletter Signalverlust bei drahtlosen Systemen.
- Export von Alarmprotokollen und Logfiles zur Nachvollziehbarkeit und Dokumentation.

4. Betriebs- und Sicherheitsorganisation

- Vor der Veranstaltung: Zentraler Lastplan, in dem alle LMZ eindeutig Hängepunkten zugewiesen und nummeriert sind (z. B. LMZ_HP-01, LMZ_KP-14).
- Nach der Montage: Verbindliche LMZ-Zuordnung in der Software, inklusive Kalibrierdatum und Position.
- Während des Betriebs: Live-Monitoring durch verantwortliches Fachpersonal, idealerweise durch LMZ-Operatoren mit IGWV SQQ2 Level 2 oder Supervisor-Qualifikation.

5.2.1 Kompensationsmaßnahmen bei begrenztem Einsatz von Lastmesszellen

In komplexen Rigging-Szenarien, wie sie vor allem in großen Messehallen mit flächigen PreRiggs auftreten, ist der vollflächige Einsatz von Lastmesszellen (LMZ) oft aus wirtschaftlichen oder logistischen Gründen nicht realisierbar. Besonders bei Produktionen mit einer Vielzahl von Anschlagpunkten, mehreren beteiligten Gewerken und sich dynamisch verändernden Lastverhältnissen im Aufbauprozess wird schnell deutlich, dass eine lückenlose Überwachung aller Lastpfade mit Sensorik an ihre Grenzen stößt.

Trotzdem darf der reduzierte Einsatz von LMZ keinesfalls zu einem Sicherheitsrisiko führen. Das bedeutet: In Situationen, in denen einzelne Punkte aktiv überwacht werden und andere nur planerisch berücksichtigt sind, muss durch eine detaillierte statische Planung, Gefährdungsbeurteilung und dokumentierte Lastannahmen sichergestellt werden, dass auch unüberwachte Punkte nicht überlastet werden können

Fallbeispiel: PreRiggs mit punktueller LMZ-Überwachung und dynamischer Lastverlagerung

Ein häufiges Szenario in Messehallen besteht darin, dass die statische Freigabe durch ein Ingenieurbüro vorschreibt, einzelne definierte Haus- oder Anschlagpunkte mit einer Lastmesszelle zu überwachen, während alle weiteren Punkte an PreRiggs lediglich planerisch abgesichert werden. Diese Vorgehensweise ist formal zulässig, birgt aber erhebliche Risiken im Aufbauprozess.

Während der Montagephase werden zunächst die PreRiggs eingebracht. Parallel dazu bringen andere Gewerke ihre Lasten ein. Diese Lasten verteilen sich zunächst nicht gleichmäßig: Da sich die Struktur noch in Bewegung befindet und temporär asymmetrisch belastet ist, entsteht eine dynamisch wachsende und sich stetig verändernde Lastverteilung. In dieser Phase kann es passieren, dass der aktiv überwachte Punkt kurzzeitig Überlast anzeigt und der Aufbau unterbrochen werden muss. Kritischer ist jedoch die Tatsache, dass benachbarte, nicht mit LMZ ausgestattete Punkte in dieser Übergangszeit unbemerkt ohne direkte Warnung durch ein Sensorsystem überlastet werden können.

Planerische Absicherung nicht überwachter Punkte

Um eine Gefährdung durch Lastverlagerung in nicht überwachte Zonen zu vermeiden, ist eine erweiterte statische Auslegung der gesamten Struktur notwendig. Das bedeutet: Jeder Punkt, der keine direkte Lastüberwachung erhält, muss bereits im statischen Nachweis so ausgelegt werden, dass auch bei einer fehlerhaften oder zeitlich verschobenen Lastverteilung keine Überlast auftreten kann.

Im Klartext: Die angrenzenden Punkte müssen Lasten aufnehmen können, die im Worst-Case-Szenario temporär auf sie umgeleitet werden – etwa durch asynchrone Motorfahrten, verspätete Kundenlasten oder ungleichmäßiges Heben von Traversenfeldern. Diese Worst-Case-Lasten sind realistisch zu berechnen und müssen in die ursprüngliche Tragwerksplanung einbezogen werden.

Damit im Betrieb eine klare Einordnung der Messwerte möglich ist, müssen für alle nicht überwachten Punkte belastbare statische Vorgaben vorliegen. Nur so lässt sich anhand der Daten aus den überwachten Punkten im Aufbauprozess erkennen, ob potenziell kritische Lastverlagerungen auftreten könnten. Dies ist vor allem in Messehallen mit hoher Hängepunktdichte und komplexem PreRigging von zentraler Bedeutung.

Organisatorische Maßnahmen im Aufbauprozess

Neben der statischen Absicherung ist der eigentliche Aufbauvorgang ein kritischer Moment, insbesondere bei nicht vollständig überwachten Systemen im Lastmanagement. Lastverteilungen sind während der Montagephase oft noch **instabil**: Motoren verfahren nicht synchron, Lasten werden abschnittsweise eingebracht oder Kundenriggs nachträglich montiert. In dieser Phase können selbst temporäre Überlastungen schwerwiegende Folgen haben, wenn sie unbeobachtet bleiben.

Um dem entgegenzuwirken, sind folgende organisatorische Maßnahmen erforderlich:

- **Phasengerechte Montageplanung:**
Das Rigging-Team muss den Aufbau in zeitlich abgestimmte Abschnitte gliedern, so dass Lasten gleichmäßig und kontrolliert eingebracht werden – z. B. durch sequentielles Heben von Systemteilen oder das vorherige Tarieren von Traversen.
- **Beaufsichtigung durch qualifiziertes Fachpersonal:**
Während kritischer Phasen (z. B. Ersthochfahren, Lastübernahme) muss ein erfahrener Supervisor die LMZ-Werte aktiv überwachen und mit der geplanten Lastverteilung abgleichen.
- **Sofortmaßnahmen bei Auffälligkeiten:**
Werden an einem überwachten Punkt ungewöhnlich hohe oder niedrige Lasten gemessen, ist der Aufbauvorgang zu unterbrechen. Erst nach Prüfung der angrenzenden Punkte – ggf. auch durch manuelle Kontrolle – darf der Prozess fortgesetzt werden.
- **Kommunikation mit Fremdfirmen:**
Kunden und Subunternehmer müssen rechtzeitig darüber informiert werden, dass **spontane oder nicht koordinierte Lastveränderungen** (z. B. Einhängen zusätzlicher Geräte an PreRiggs) zu kritischen Fehlverteilungen führen können.

Diese Maßnahmen schaffen zwar keinen vollständigen Ersatz für eine flächendeckende Messung, bilden aber ein belastbares Sicherheitsnetz, sofern sie konsequent umgesetzt und dokumentiert werden.

Zusammenführung von Berechnung, Messung und Dokumentation

Ein reduzierter LMZ-Einsatz erfordert eine besonders sorgfältige Abstimmung zwischen statischer Planung, praktischer Umsetzung und begleitender Überwachung. Dabei ist entscheidend, dass alle Informationen zu überwachten und nicht überwachten Punkten zentral zusammengeführt und dokumentiert werden.

Statische Transparenz der nicht überwachten Punkte: Für sämtliche nicht mit LMZ ausgestatteten Anschlagpunkte muss eine lasttechnische Dokumentation vorliegen.

Entweder als Einzelberechnung oder als Ableitung aus Modulen mit identischer Struktur. Ziel ist, dass bei Auffälligkeiten an einem überwachten Punkt sofort eingeschätzt werden kann, welche Kräfte theoretisch an benachbarten, unüberwachten Punkten auftreten können.

Grenzlasten und Worst-Case-Szenarien: Diese Dokumentation muss nachvollziehbar ausweisen:

- mit welchen Maximallasten im temporären Aufbaustadium zu rechnen ist,
- welche Sicherheitsreserven eingeplant wurden,
- ob die Verlagerung von Lasten bei dynamischen Prozessen (z. B. ungleichzeitiges Anheben, Windlast, Setzungen) mitberücksichtigt wurde.

Abgleich mit LMZ-Werten im Live-Betrieb: Die LMZ-Werte aus dem laufenden Aufbau oder Betrieb werden regelmäßig gegen diese statischen Vorgaben abgeglichen. Bei deutlicher Abweichung (z. B. eine LMZ zeigt 80 % über Planwert), muss geprüft werden, ob andere, ggf. nicht überwachte Punkte betroffen sein könnten.

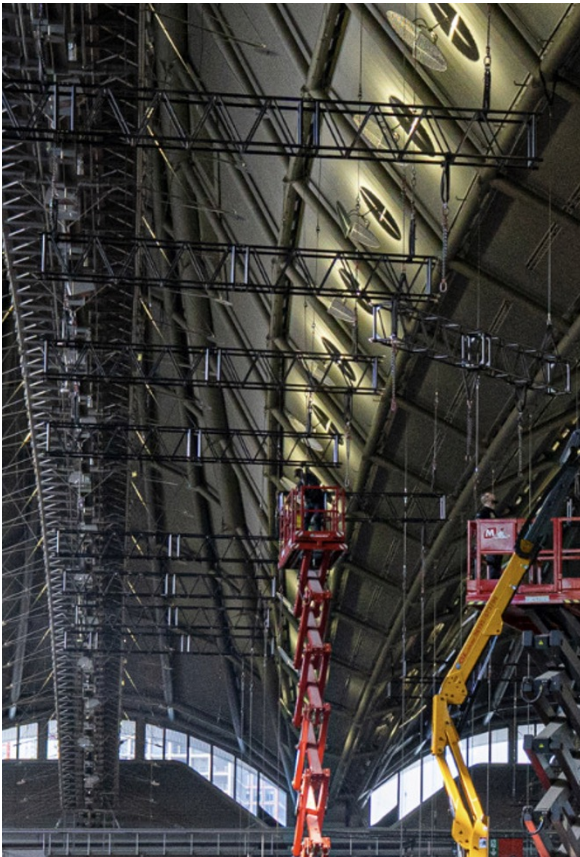
Dokumentation: Alle Annahmen, Lastberechnungen und Abweichungen müssen in einem strukturierten Protokollsystem hinterlegt sein.

Dazu zählen:

- Position und Funktion der überwachten und nicht überwachten Punkte
- geplante Lasten je Punkt
- eingestellte Grenzwerte in der LMZ-Software
- getroffene Maßnahmen bei Lastverlagerung oder Stopp des Aufbaus

Diese ganzheitliche Kombination aus rechnerischer Planung, technischer Überwachung und organisatorischer Kontrolle schafft auch ohne lückenlose Sensorik die Grundlage für einen sicheren Betrieb.

Fallbeispiel: Strategische Teilüberwachung statisch bestimmter Pre-Riggs



Das folgende Fallbeispiel demonstriert die strategische Teilüberwachung und die gezielte Nutzung von Lastmesszellen (LMZ) als Kontrollinstrument im Grenzbereich der statischen Auslastung. Es zeigt auf, dass der LMZ-Einsatz nicht nur von der statischen Bestimmtheit, sondern primär von der erreichten Auslastung abhängt.

Szenario:

Ein Pre-Rigg wird an Hauspunkten installiert, die ausschließlich **statisch bestimmte** Systeme darstellen (d. h. jeder Laststrang hängt maximal an zwei Punkten). Die Montage des Pre-Riggs erfolgt **ohne den Einsatz von Motoren (dynamische Last)**, beispielsweise mittels Steigersystem direkt an der Decke. Laut statischer Berechnung der **charakteristischen Lasten** nähert sich einer dieser Hängepunkte einem kritischen **Grenzbereich**, beispielsweise einer Auslastung von **70 %** der zulässigen Tragfähigkeit.

Maßnahmen und Ableitung der Überwachungspflicht

Aus dieser Konstellation leiten sich zwei unterschiedliche Überwachungsansätze ab:

1. Überwachung des kritischen Haupthängepunkts:

- Maßnahme: Trotz der statischen Bestimmtheit und der Montage ohne dynamische Motoren wird an diesem einen, hoch ausgelasteten Hängepunkt zusätzlich eine Lastmesszelle (LMZ) gefordert und eingebaut.
- Zweck: Die LMZ dient hier nicht der Lastverteilungsanalyse, sondern der reinen Überlastkontrolle und Frühwarnung. Sie stellt sicher, dass die tatsächlich akkumulierte Last (die die gesamte Dynamik des Kunden-Riggs und die Einflüsse der Subsysteme enthält) den kritischen 70 %-Grenzwert nicht überschreitet. Dies schützt den Hauspunkt direkt vor unvorhergesehener Überlast.

2. Beurteilung der Subsysteme (Lasten unter dem Pre-Rigg):

- Maßnahme: Die Hängepunkte, die unterhalb des Pre-Riggs entstehen (oftmals zahlreicher und statisch unbestimmt), werden einer gesonderten Beurteilung und Berechnung unterzogen.
- Zweck: Die Entscheidung für oder gegen den Einsatz von LMZ in diesen Subsystemen (Kunden-Rigg) hängt von der statischen Komplexität und der Auslastung ab. Die Messung wird erforderlich, wenn das Subsystem selbst statisch unbestimmt ist und eine Überlastung einzelner Punkte nicht ausgeschlossen werden kann.

Zusammenfassung

Dieses Vorgehen ist ein Beispiel für eine **risikobasierte Teilüberwachung**. Es vermeidet den unnötigen LMZ-Einsatz in eindeutig berechneten Bereichen, lenkt die Kontrollmittel aber gezielt dorthin, wo entweder die **Auslastung kritisch** ist (70 %-Regel am Haupthängepunkt) oder wo die **statische Unbestimmtheit** der Lasten eine Überprüfung erfordert (Kunden-Rigg). Die LMZ dient hier als finales, technisches **Kontrollinstrument** für die Einhaltung der statisch berechneten Grenzwerte.

Beispielhafte Entscheidungshilfe für den reduzierten Einsatz von Lastmesszellen
(Diese Tabelle stellt eine Orientierung dar und muss projektspezifisch angepasst werden.)

Kriterium / Situation	Teilüberwachung fachlich vertretbar?	Praxisbezug & technische Anforderung
PreRiggs in Messehallen mit hoher Punktdichte	Ja, wenn dokumentiert	Nur bei vollständiger Lastannahme aller nicht überwachten Punkte, inkl. Worst-Case-Szenarien im Aufbauzustand.
Einzelne LMZ durch Statikbüro vorgeschrieben (z. B. an Hauspunkten)	Begrenzt	Die Wirkung auf benachbarte Punkte muss nachvollziehbar geprüft und gegenüberlastungs-sicher nachgewiesen sein.
Symmetrische Truss-Systeme mit gleichmäßiger Lastverteilung	Ja	Repräsentative Punkte mit LMZ ausstatten, restliche Punkte rechnerisch abbilden (z. B. durch Spiegelung oder Musterannahmen).
Verwendung von Kundenriggs an bestehenden PreRiggs	Nur nach Prüfung	Nur mit planerischer Freigabe und garantierter Kompatibilität zu den berechneten Lastannahmen der Hauptkonstruktion.
Systeme über Publikumsflächen (z. B. Frontruss, LED-Flächen)	Nein	Vollständige Überwachung oder sicherheitszertifizierte Alternativen zwingend erforderlich.
Dynamische Prozesse im Aufbau (Motorfahrten, Umhängen, Bewegung schwerer Lasten)	Nein	Teilüberwachung führt zu blinden Lastzonen. Hier sind Live-Überwachung und Zwischenmessungen zwingend notwendig.
Statisch unbestimmte Systeme (z. B. flächige Traversennetze mit Mehrpunktabhängung)	Nein	Ohne vollständige LMZ-Abdeckung ist die Lastverteilung nicht eindeutig – es besteht Gefahr der Überlast an nicht erfassten Punkten.
Zonierung nach Kritikalität (z. B. Bühne, FOH, Nebenbereiche)	Ja, abgestuft	LMZ primär in Zone 1 (personenrelevant), Zone 2 mit höherem Sicherheitsfaktor berechnen, Zone 3 ggf. durch Stichprobenprüfung abdecken.
Einsatz von Mischsystemen (Funk/Kabel) zur Netzstabilisierung	Ja, mit Planung	Voraussetzung: redundante Messwege, dokumentierte Latenzzeit < 3 Min., saubere Zuordnung in zentralem Monitoring-System.
Punktuell eingesetzte Sonderlasten (z. B. Show-Objekte, Hängepunkte für bewegte Kameras)	Nur mit Sonderfreigabe	Diese Sonderpunkte müssen individuell nachgewiesen, berechnet und ggf. mit eigener LMZ-Einheit ausgestattet werden.

Hinweis zur praktischen Anwendung:

Diese Entscheidungshilfe ersetzt **keine statische Berechnung oder Gefährdungsbeurteilung**. Sie kann jedoch in der Vorplanung, bei der Angebotserstellung oder als Argumentationshilfe im Gespräch mit Veranstaltern, Kunden oder Statikern verwendet werden.

5.3 Lastmesszellen in Arenen und Mehrzweckhallen

Arenen und Mehrzweckhallen bieten eine vielseitige Infrastruktur für unterschiedlichste Produktionen von Sportevents über Konzertshows bis zu Messen und TV-Produktionen. Diese Flexibilität bringt komplexe Anforderungen an Rigging, Sicherheit und Live-Überwachung mit sich.

Charakteristisch sind:

- mobile Deckenkonstruktionen oder Lastverteilsysteme,
- hohe Spannweiten mit geringen Fixpunkten,
- schnell wechselnde Umbauphasen,
- Showelemente mit bewegten Lasten und Publikumsnähe,
- sowie zunehmender Einsatz von C1-zertifizierten Hebeseystemen für Personen und Flugakrobatik.

A. Dynamische Lasten durch Showtechnik & bewegte Systeme

In Arenen treten häufig dynamische Kräfte auf, die nicht mit statischen Punktberechnungen erfasst werden können:

Beispiele:

- Flugakrobatik: Systeme mit Personenlasten, betrieben über C1-Maschinen – jede Bewegung verändert die Lastverteilung.
- Kamerafahrten an Seilzügen: temporäre und mobile Seilsysteme mit hoher Geschwindigkeit erzeugen Zugspitzen.
- Traversen mit Fahrelementen: Bewegung z. B. durch Linearmotoren, Liftketten, Fahrträger.

Anforderungen:

- Dynamiktaugliche Lastmesszellen mit hoher Abtastrate (min. 10 Hz).
- Redundante LMZ-Systeme an C1-Lastwegen (Personen über Publikum) (Nicht unbedingt und kommt sehr auf den Einzelfall an.)
- Automatische Abschaltung bei Überlast gem. DIN EN 17206.
- Live-Logging für nachgelagerte Auswertung.
- Integration in Steuerungssysteme (z. B. E-Stop durch LMZ-Wertüberschreitung).

B. Gegenseitige Lastübernahme durch Teilumbauten (Nord-/Südseite)

Bei Umbauten während des Eventbetriebs – z. B. Abbau einer Bühne Nord, Aufbau Bühne Süd, kann sich die gesamte statische Struktur der Halle verändern.

Risiken:

- Lastverlagerung auf nicht überwachte Punkte.
- Unkontrollierter Zug durch ungleichmäßige Demontage.
- Teilentlastung kann zu Verschiebungen oder Verwindungen führen.

Lösungen:

- LMZ auf beiden Seiten als Referenz.
- Vergleichsmessung vor, während und nach Umbau.
- Deutliche Kommunikations- und Koordinationspflicht zwischen Technikleitung, Rigging und Sicherheitskoordination.

C. Thermische Einflüsse durch Arenenutzung & Klimadynamik

Arenen unterliegen extremen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen:

- Winterbetrieb: kalte Hallenluft + Heizsysteme → Stahl zieht sich zusammen.
- Sommerbetrieb: hohe Publikumswärme → lokale Hitzeeinträge auf Dach- und Trägerstrukturen.
- Kühl-/Heizstrahler, Nebelmaschinen und Showtechnik erzeugen thermische Gradienten.

Folgen:

- Verformung von Traversen oder Trägern → LMZ-Werte verändern sich ohne echte Laständerung.
- Nullpunktdrift durch Materialausdehnung (Stahl, Aluminium).
- Einfluss auf Funksignale bei Temperaturverzerrung von Antennensystemen.

Maßnahmen:

- Mehrpunkt-Tarierung (Morgens/Nachmittags) bei Outdoor-ähnlichen Verhältnissen.
- Nullpunkt-Check vor jeder Eventphase (Aufbau, Probe, Show, Abbau).
- LMZ-Systeme mit automatischer Temperaturkorrektur.

D. Komplexität durch Mischsysteme: Kunden-LMZ, Herstellerlösungen, Kabel + Funk

In Arenen treffen viele Systeme aufeinander:

- Hausinstallation mit kabelgebundenem Monitoring.
- Showproduktion mit Funk-LMZ.
- Drittanbieter (Video, Bühnentechnik) mit eigenen LMZ ohne Zugriffsmöglichkeit.

Risiken:

- Dateninkonsistenzen oder Überlappungen.
- Keine zentrale Auswertung möglich.
- Funkinterferenzen durch nebeneinander arbeitende Systeme.

Lösung:

- Zentrale Koordination durch LMZ-Supervisor.
- Vereinheitlichung der Auswertung (Cloud-System, Serverlösung mit Zugriff für alle Gewerke).
- Live-Abgleich & Plausibilisierung → Querprüfung bei kritischen Werten.
- Pflicht zur Datenfreigabe bei Nutzung von Systemen über kritischen Punkten.

E. Besonderheit: Betrieb mit Publikum – Sicherheitsfokus Lasten über Personen

Insbesondere in Arenen ist der Betrieb mit Lasten über Personen Standard. Daraus ergeben sich höchste Anforderungen an die:

- Systemredundanz
- Lastwegüberwachung
- Fehlertoleranz
- Live-Reaktionsfähigkeit

Kritische Punkte:

- Jeder Punkt über Zuschauerbereich muss LMZ-überwacht sein oder redundant gesichert.
- C1-Maschinen dürfen nur mit vollständigem Sicherheitssystem betrieben werden.
- Bewegte Systeme (z. B. Flying Drums, Drohnenräger)

Lösung:

- Integration der LMZ in das zentrale Steuerungssystem.
- Automatische Sicherheitsabschaltung bei Überschreitung.
- Visuelle Warnung in der Leitwarte bei kritischen Werten.
- Prüfung der gesamten Kette: LMZ → Software → Steuerung → Maschine.

5.4 Lastmesszellen bei Open-Air-Veranstaltungen

Open-Air-Produktionen bringen besondere Risiken mit sich, da sie außerhalb kontrollierter Hallenumgebungen stattfinden. Wetter, Wind, Geländeunterschiede, temporäre Bauten und fehlende Infrastruktur stellen hohe Anforderungen an die Planung, das Monitoring und die Flexibilität von Lastmesssystemen.

Typische Szenarien:

- Festivalbühnen mit Dachtragwerken über Publikum
- Mobile LED-Wände, PA-Wings und Hängepunkte an Towers
- Fliegende Bauten nach DIN EN 13814 und MVStättVO
- Wetterbedingte Einflüsse wie Winddruck, Starkregen, Hitze oder Setzungen

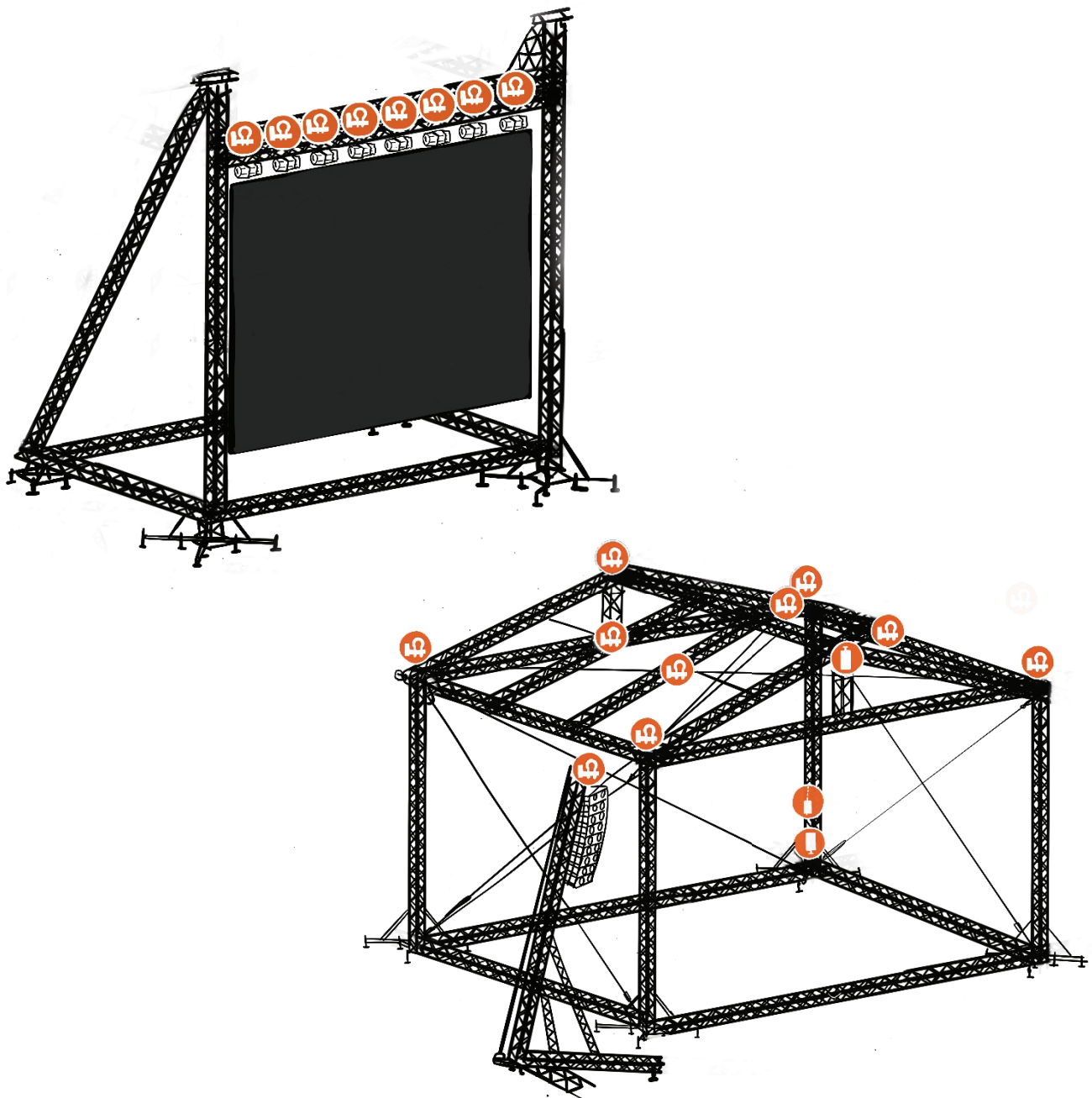


Abb: 29 + 30 : Bildmaterial © Broadweigh – verwendet mit freundlicher Genehmigung für nicht-kommerzielle, technische Bildungszwecke. Quelle: Broadweigh Gen 3 Instructions & Broadweigh Ecosystem Flyer, Stand 2024.

A. Gesetzliche Grundlagen & Prüfpflichten für fliegende Bauten

Relevante Normen & Vorgaben:

- DIN EN 13814 (Fliegende Bauten)
- Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO)
- DIN EN 17206 für sicherheitsrelevante Bühnenanlagen
- DGUV Information 215-313 bei Lasten über Personen

Kernanforderungen:

- Jede temporäre Konstruktion muss eine prüffähige Lastdokumentation vorweisen.
- Live-Monitoring kritischer Punkte ist Stand der Technik bei Veranstaltungsdächern.
- Lasten über Personen (z. B. PA-Wings, Fronttruss, Center LED) dürfen nur mit LMZ-Überwachung oder redundanter Sicherung eingesetzt werden.

B. Witterungsbedingte Risiken – Wind, Regen, Hitze

Hauptproblemfelder:

- Windlasten auf LED-Flächen und Bannern erzeugen dynamische Zugspitzen.
- Regenlasten erhöhen das Eigengewicht temporärer Konstruktionen (z. B. Trussdächer, Backdrops).
- Temperaturdehnung kann zu Nullpunktabweichungen bei LMZ führen.

Lösungen mit LMZ:

- Kombination von Windmonitoring + LMZ → kritische Spitzen können erkannt und alarmiert werden.
- Einstellung von Alarmschwellen (z. B. 60 % WLL) zur Frühwarnung.
- Verwendung IP67/IP68-zertifizierter LMZ, um Feuchtigkeitseinflüsse zu vermeiden.
- Vorgabe: Live-Auswertung spätestens alle 3 Minuten, bei Aufbauphasen kontinuierlich (< 1 s Intervalle).

C. Bodenverhältnisse & Setzungen

Risiko:

- Unebenheiten, matschiger Untergrund oder nachgiebige Untergründe führen zu Positionsveränderungen temporärer Tower oder Ground Supports.
- Setzungen erzeugen ungleichmäßige Lastverlagerungen, die nur mit LMZ erkannt werden.

Maßnahmen:

- Lastmesszellen an kritischen Stützpunkten (z. B. Tower-Füße, Druckpunkte der Bühnenunterkonstruktion).
- Kombination mit Setzungssensoren (Neigung, Höhe) → automatisierte Grenzwertanalyse.
- Regelmäßige Plausibilitätsprüfung über den Tag bei langlaufenden Events.

D. Kombination aus Kunden-Rigging & Technikerstruktur

Bei Festivals werden viele Elemente von Fremdfirmen (z. B. Videoproduktion, Sponsoring-Bauten) eingebracht. Diese nutzen teilweise eigene Riggingpunkte und statisch unbestimmte Systeme.

Risiken:

- Unkontrollierte Lastverteilungen durch Spontaninstallationen.
- Keine Kontrolle über Fremd-LMZ, aber Einfluss auf Hauptstruktur.

Empfehlung:

- Vorgabe eines zentralen LMZ-Monitoringsystems, in das auch Fremdfirmen eingebunden werden.
- Verpflichtung zur Freigabe von Echtzeitdaten.
- Fallback: Manuelle Kontrollmessung bei Unklarheiten, z. B. mit mobilen Inline-LMZ.

E. Infrastruktur & Funkabdeckung

Herausforderungen:

- Keine durchgängige Stromversorgung → Batteriebetrieb der LMZ nötig.
- Funkstörungen durch mobile Netzwerke, Bühnenintercom, WLAN von Besuchern.
- Große Areale → hohe Reichweiten nötig.

Lösungen:

- Einsatz repeaterfähiger LMZ-Systeme (Mesh-Netzwerke) zur Signalweiterleitung.
- Verwendung störungsarmer Frequenzen (868 MHz oder andere länderspezifische ISM-Bänder).
- Auswertung über mobile Basisstationen (z. B. Tablet mit LTE-Anbindung zur Cloud).

5.5 Anforderungen an Kunden und Fremdfirmen

Die Integration von Kunden und Fremdfirmen in den Prozess der Lastüberwachung ist eine der größten operativen Herausforderungen beim Einsatz von Lastmesszellen (LMZ). Unterschiedliche Qualifikationen, fehlende Informationen und parallele Eingriffe in bestehende Rigging-Systeme bergen potenzielle Risiken für Überlastungen und Systemversagen. Klare Regelungen und strukturierte Zusammenarbeit sind daher essenziell.

5.5.1 Herausforderungen in der Zusammenarbeit

- Unterschiedliche technische Kompetenzen bei Kunden, Fremdfirmen und Rigging-Personal.
- Fehlende oder fehlerhafte Lastangaben bei angeliefertem Material oder Aufbauten.
- Spontane Umbauten oder zusätzliche Einhängungen durch externe Dienstleister.
- Fehlende einheitliche Lastüberwachungsinfrastruktur oder Zugriff auf LMZ-Daten.
- Unklare Verantwortlichkeiten in der Absprache und Kontrolle von Gesamtlasten.

5.5.2 Kommunikation und Schnittstellenmanagement

- Frühe Einbindung aller Gewerke in die Lastplanung (z. B. Messebau, Lichttechnik, Videotechnik).
- Erstellung einer gemeinsamen Lastliste mit verifizierten Gewichtsdaten.
- Verbindliche Übergabedokumente zur Transparenz der Einzellasten.
- Gemeinsamer Zugriff auf das zentrale LMZ-Überwachungssystem über eine serverbasierte Lösung.
- Regelmäßige Sicherheitsabsprachen mit allen beteiligten Partnern.

5.5.3 Anforderungen an Kunden und Fremdfirmen

- Vorabmeldung sämtlicher Lasten inkl. Gewicht, Befestigungspunkt und Tragstruktur.
- Einhaltung der Abstimmungswege mit der riggingsverantwortlichen Firma bei Änderungen.
- Verpflichtung zur Rücksprache vor dem Einhängen zusätzlicher Lasten.
- Eigene Überwachungspflicht bei Sonderbauten oder dynamischen Lasten.
- Einheitliche Punktbezeichnung nach technischer Planung (z. B. KP, HP, MZ, TR).
- Offenlegung aller geplanten und tatsächlichen Einbringungsdaten.

5.5.4 Sicherstellung der Lastüberwachung durch Fremdfirmen

- Eigene LMZ verpflichtend bei unklaren oder variablen Belastungssituationen.
- LED-Wände, Multiaufhängungen oder Sonderkonstruktionen müssen aktiv überwacht werden.
- Ab einer Auslastung über 70 % eines Punktes durch ein Fremdwerk: Pflicht zur Einzelmessung.
- Regelmäßiger Datenabgleich mit dem Haupt-Rigging-System.
- Drahtlose LMZ können externen Gewerken einen Live-Zugriff auf ihre Lasten ermöglichen.

5.5.5 Übergabeprotokoll und Lastabnahme

- Dokumentation aller eingehängten Lasten mit exakten Werten aus dem LMZ-System.
- Gegenzeichnung durch Kunden/Fremdfirmen als Lastfreigabe und Bestätigung der Angaben.
- Konfiguration automatischer Lastwarnstufen innerhalb der Überwachungssoftware.
- Erneute Freigabe erforderlich bei nachträglichen Änderungen durch Fremdfirmen.
- Zentrale Protokollierung aller Lastdaten im Monitoring-System.

5.5.6 Eskalationsmaßnahmen bei Nichteinhaltung

- Sofortiger Baustopp bei unangekündigten Eingriffen in die Hängepunktsystematik.
- Lastverteilung neu berechnen und sicherheitstechnische Prüfung durchführen.
- Dokumentiertes Abweichungsprotokoll erstellen und technische Leitung informieren.
- Bei kritischer Überlast: Meldung an Statiker und ggf. sicherheitsbedingter Rückbau.
- Wiederholte Verstöße: Ausschluss vom weiteren Rigging-Prozess und verpflichtende Schulung.

5.5.7 Verantwortlichkeiten nach relevanten Normen und Vorschriften für Veranstaltungen

- DIN EN 17206: Sicherheit von Hebezeugen → Betreiber verantwortlich für geprüfte Systeme.
- DIN 56921: Statische Lastannahmen → Fachplaner und Statiker verantwortlich für Berechnung.
- DIN EN 17206: Sicherheit von Tragwerken → Rigger oder Rigging-Firma verantwortlich für Montage.
- DGUV I 215-310, Absatz 2.1: Gesamtverantwortung liegt beim Veranstalter und Betreiber.

(Siehe auch DIN 15750 „Veranstaltungstechnik – Leitlinien für technische Dienstleistungen“)

- IGW SQQ2: Qualifikation der ausführenden Personen → Verantwortliche Fachkraft übernimmt fachliche Führung und Kontrolle der LMZ-Auswertung.

5.5.8 Fazit: Klare Verantwortlichkeiten für Rigging und Lastmessungen

- Planung, Durchführung und Überwachung müssen klar aufgeteilt sein.
- Fremdfirmen tragen Verantwortung für ihre eingebrachten Lasten.
- Betreiber und Veranstalter stellen sichere Infrastruktur und Personal.
- Die LMZ-Nutzung muss strukturiert, dokumentiert und normkonform erfolgen.

5.6. Anforderungen an einen LMZ-Operator

Ein qualifizierter LMZ-Operator sollte folgende Fachkenntnisse und Fähigkeiten besitzen:

- Technische Grundlagen von Lastmesszellen
 - Funktionsweise und Messprinzipien (Dehnungsmessstreifen, hydraulische Systeme, drahtlose vs. kabelgebundene Systeme).
 - Unterschiede zwischen statischer und dynamischer Lastmessung.
 - Messgenauigkeit, Kalibrierung und Fehlerquellen.
- Sicherheitsvorschriften und Normen
 - Kenntnisse der relevanten Vorschriften:
DIN EN 17206, DGUV Vorschrift 17/18, IGW SQQ2.
 - Sicherheitsanforderungen an Rigging-Konstruktionen und Anschlagmittel.
 - Notfallmaßnahmen bei Überlast oder kritischen Messergebnissen.

- Interpretation von Messergebnissen
 - Vergleich von Messwerten mit theoretischen Lastannahmen.
 - Identifikation von unkontrollierten Lastverschiebungen.
 - Erkennen von Messfehlern oder unplausiblen Werten.
- Praktische Anwendung und Softwarekenntnisse
 - Nutzung und Konfiguration von LMZ-Software für die Echtzeit-Überwachung.
 - Erstellen und Auswerten von Logfiles und Lastprotokollen.
 - Fehleranalyse und Wartung der Messzellen.

5.6.1 Schulungsanforderungen für LMZ-Operatoren

Grundlagenschulung (für Einsteiger und Rigger Level 1 & 2)

- Einführung in Lastmesszellen und deren Einsatz in der Veranstaltungstechnik.
- Grundlagen der Lastverteilung und statischen Berechnung.
- Handhabung und Installation von Lastmesszellen.
- Einführung in Messsoftware und Datenauswertung.
- Sicherheitsanforderungen und Normenüberblick.

5.6.2 Verantwortlichkeiten eines LMZ-Operators vor, während und nach einer Veranstaltung

Vor der Veranstaltung

- Überprüfung und Kalibrierung der Lastmesszellen.
- Abgleich der geplanten Lastwerte mit den zulässigen Traglasten.
- Integration der LMZ-Software in das Monitoring-System.

Während der Veranstaltung

- Live-Überwachung der Lastverteilung, insbesondere bei dynamischen Lasten.
- Sofortmaßnahmen bei unplausiblen Werten oder Überlastungen.
- Dokumentation und Eskalation bei Grenzwertüberschreitungen.

Nach der Veranstaltung

- Erstellung eines Abschlussprotokolls mit den real gemessenen Lastwerten.
- Analyse der Langzeitverläufe und potenzieller Schwachstellen.
- Wartung und Funktionsprüfung der LMZ für den nächsten Einsatz.

6. Drahtlose Lastmesssysteme und WLAN-Infrastruktur: Risiken, Konflikte und Lösungsansätze

Warum WLAN-Infrastrukturen sicherheitsrelevant für LMZ-Systeme sind

Die zunehmende Nutzung drahtloser Lastmesszellen (LMZ) kollidiert häufig mit der wachsenden WLAN-Infrastruktur auf Veranstaltungen. Der wachsende Bedarf an breitbandigem Internet für Kunden, Presse, Streaming, Besucher-WLAN und Produktions-IT trifft dabei auf die sicherheitsrelevante Notwendigkeit einer stabilen und latenzarmen Datenübertragung der LMZ-Systeme.

Da viele LMZ-Hersteller auf das lizenzfreie 2,4 GHz-Band setzen, kommt es besonders in Veranstaltungsstätten mit öffentlichem WLAN, Intercom-Systemen, DMX-over-WiFi oder Mediennetzwerken zu potenziell sicherheitskritischen Interferenzen. Dies betrifft besonders:

- Messehallen mit vollständig ausgebauter WLAN-Infrastruktur
- Arenen mit hoher Netzlast und mehreren Hotspot-Zonen
- Open-Air-Veranstaltungen mit mobilen WLAN-Zellen und redundanten Netzwerken

Drahtlose LMZ gelten als sicherheitsrelevante Komponenten im Rigging. Signalverluste, Paketverlust oder verzögerte Übertragungen können im Ernstfall zu Fehlinterpretationen von Lastsituationen führen – insbesondere bei dynamischen oder sich verändernden Systemen.

Ziel dieses Kapitels:

Konfliktpotenziale zwischen WLAN-Nutzung und drahtloser LMZ-Übertragung analysieren und praxisorientierte Maßnahmen aufzeigen, wie die Koexistenz beider Systeme sicher möglich ist – inklusive organisatorischer, technischer und planerischer Empfehlungen.

6.1 Lösungsansätze für den sicheren Einsatz drahtloser LMZ trotz WLAN-Belastung

Um Störungen und Signalverluste bei der drahtlosen Übertragung von Lastmesswerten zu vermeiden, ist eine Kombination aus technischen, organisatorischen und planerischen Maßnahmen erforderlich. Ziel ist eine klare Frequenztrennung, räumliche Zonierung und systematische Überwachung der drahtlosen Kommunikationswege – ohne die wirtschaftlich sinnvolle Nutzung von WLAN-Infrastruktur zu behindern.

A. Trennung von WLAN-Zonen nach Funktion und Höhe

Räumliche Segmentierung:

- Einrichtung einer „Overhead-Zone“ für LMZ, mit Empfangssystemen oberhalb von 6 m – außerhalb der typischen Reichweite von Besucher-WLAN.
- Kunden-WLAN wird baulich und durch Antennenausrichtung auf max. 4 m Höhe begrenzt (z. B. gerichtete APs mit Abschattung nach oben).

Frequenztechnische Trennung:

- WLAN-Lastmesssysteme verwenden dedizierte Kanäle im 2,4 GHz-Bereich oder weichen bei Konflikten in das 868 MHz- oder 5 GHz-Band aus (je nach System).
- Kunden-WLAN und Show-Netzwerke werden auf spezifische Kanalgruppen konfiguriert → statisches Frequenzlayout mit dokumentierter Kanalbelegung.

B. Mischbetrieb mit kabelgebundenen LMZ in kritischen Zonen

Einsatz von Hybrid-Systemen:

- In sicherheitskritischen Bereichen (z. B. über Publikum, bei dynamischen Lasten oder an Schnittpunkten mehrerer Gewerke) werden kabelgebundene LMZ eingesetzt.
- Drahtlose LMZ werden auf sekundäre Punkte oder Monitoring-Funktionen reduziert.

Fallback-Konzept:

- Automatische Warnung bei Signalverlust → Datenumschaltung auf eine Backup-Einheit oder Lastanzeige über zentrale Logging-Software.
- Verwendung redundanter Gateways oder Doppel-IDs in der Softwarekonfiguration.

C. Integration in Hausnetzwerke und priorisierte Datenströme

Voraussetzung: Moderne IT-Infrastruktur mit VLAN/QoS

- Einbindung der LMZ-Systeme in bestehende Netzwerkarchitektur der Location (nur mit IT-Abteilung abgesichert!).
- Nutzung virtueller LANs (VLANs) zur strikten Trennung von LMZ- und User-Datenverkehr.
- Priorisierung der LMZ-Datenpakete über Quality of Service (QoS), damit keine Verzögerung durch Publikumsnetz entsteht.

Sicherheitshinweis:

Diese Variante ist nur in festinstallierten Locations mit dokumentierter IT-Architektur und abgestimmter Verantwortung zulässig.

Temporäre WLAN-Strukturen (z. B. auf Outdoor-Events) sind dafür nicht geeignet.

D. Frequenz- und Intermodulationsanalyse im Vorfeld

Technische Analysewerkzeuge:

- Vor Veranstaltungsbeginn wird ein Spektrumscan durchgeführt, um belegte Kanäle und Störquellen zu identifizieren.
- Hochwertige LMZ-Systeme bieten automatische Kanalwahl auf Basis von Intermodulationsanalysen (analog zu digitalen Funkstrecken im Audio-Bereich).

Laufzeitüberwachung:

- Softwareseitige Live-Analyse der Paketverlustrate, Latenzzeit und RSSI-Signalstärke.
- Aktivierung von Alarmen bei ansteigender Instabilität → proaktive Maßnahme vor Totalausfall

Zusammengefasst:

Maßnahme	Ziel	Voraussetzung
Zonierung WLAN / LMZ	Physische Trennung der Störbereiche	Gebäudeplanung oder Richtantennen
Frequenzplanung	Vermeidung von Kanalüberlappung	Kenntnisse über eingesetzte Systeme
Hybrid-System	Absicherung sicherheitskritischer Punkte	Zugang zu kabelgebundenen LMZ
IT-Integration	Netzqualität & Synchronität	VLAN/QoS-fähige Infrastruktur
Spektrumscan & Monitoring	Früherkennung & Reaktion auf Interferenzen	Technik & Schulung verfügbar

6.2 Technologietransfer: Intelligente Funkstrategien für zukünftige LMZ-Systeme

Mit dem zunehmenden Einsatz drahtloser Lastmesszellen in komplexen Veranstaltungssystemen rückt die Frage nach Funkstabilität, Frequenzkoordination und Interferenzvermeidung immer stärker in den Fokus. Während aktuelle Systeme noch häufig auf einfachen Punkt-zu-Punkt-Übertragungen im 2,4-GHz-Bereich basieren, existieren aus angrenzenden technischen Bereichen bereits erprobte Lösungen, die sich mittelfristig auch auf LMZ-Systeme übertragen lassen könnten.

Beispiel aus der Praxis: Shure Axient Digital – intelligentes Frequenzmanagement aus der Tontechnik

Das Audiosystem Shure Axient Digital nutzt ein dynamisches, intelligentes Spektrum-Management, das mehrere der folgenden Technologien vereint:

- **Automatische Störungserkennung (Interference Detection)**
Permanente Überwachung des Frequenzspektrums mit Echtzeit-Umschaltung auf freie Kanäle bei auftretender Störung.
- **Doppelte Trägerfrequenz (Frequency Diversity)**
Parallele Übertragung desselben Signals auf zwei getrennten Frequenzen – ideal bei stark belastetem Funkumfeld.
- **Predictive Scheduling & Time-Slotting**
Strukturierte und vorgeplante Datenübertragungen verhindern Kollisionen und verbessern Paketstabilität.
- **Zentralisierte Steuerung & Statusüberwachung**
Alle Funkeinheiten werden in einer Managementsoftware live überwacht – inkl. Batteriestatus, Signalqualität und Historie.

Potenzielle Anwendung auf LMZ-Systeme:

Shure-Technologie	Übertragbar auf LMZ?	Nutzen für Rigging
Interference Detection	Ja	Automatische Umschaltung bei Störung (z. B. Messe-WLAN)
Frequency Diversity	Teilweise	Ausfallsicherheit bei kritischer Lastüberwachung
Time-Slotting	Ja	Synchronisation bei Mehrzellen-Systemen
Zentrales Monitoring	Bereits Standard	Weitere Integration mit Hausnetzwerken denkbar

Ausblick: Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten

- Intelligente Gateways für LMZ mit interner Frequenzanalyse, Protokollsteuerung und Fernparametrierung.
- Integration in Hausnetzwerke (VLAN/QoS) für priorisierte Datenübertragung in IT-gemanagten Locations.
- Automatische Frequenzplanung wie bei Show-Control-Systemen – z. B. bei gleichzeitiger Nutzung mit Intercom, WLAN und Audio.

6.2.1 Potenziale intelligenter HF-Architekturen für drahtlose Lastmesssysteme

Ein besonders interessanter Ansatz stammt aus der professionellen Audiotechnik, z. B. von Shure Microflex oder Axient Digital, die in komplexen HF-Umgebungen (Stadien, Messen, Multi-Show-Arenen) verlässliche Kommunikation *mit hoher Dichte an drahtlosen Endgeräten* ermöglichen.

Übertragbare Technologien für LMZ-Systeme:

Merkmal	Anwendung für LMZ	Relevanz
2,4/5 GHz Dualband-Nutzung inkl. DFS-Kanäle	Entlastung überfüllter Frequenzbereiche, automatische Nutzung weniger genutzter Kanäle	Sehr hoch, speziell bei Public-WLAN
RF-Spektrum-Monitoring in Echtzeit	Live-Erkennung von Störungen durch WLAN, Intercom oder Kamerastrecken	Hilfreich zur Störvermeidung und zur Systemdiagnose
Automatic Interference Detection & Avoidance	Bei drohender Interferenz automatische Kanalschaltung	Ideal für Veranstaltungsumgebungen mit dynamischem HF-Verhalten
Hohe Spektrumeffizienz (z. B. 125 Geräte pro Kanal)	Ermöglicht hohe LMZ-Dichte bei gleichzeitig stabiler Datenübertragung	Extrem relevant bei großen Flächenüberwachungen
Zentralisierte Koordination & Kanalmanagement	Einheitliche Steuerung und Redundanzplanung für Mehrpunkt-Setups	Besonders geeignet für PreRiggs oder Hallen mit gemischter LMZ-Nutzung

6.3 Optimierung der WLAN-Performance für Lastmesszellen in Veranstaltungsumgebungen

Strategien zur Antennenausrichtung, Leistungsreduzierung und Störvermeidung

Die Ausrichtung und Konfiguration der Funkmodule spielt eine entscheidende Rolle für die Signalqualität bei drahtlosen Lastmesszellen (LMZ). Wie bei professionellen Konferenzsystemen (z. B. Shure MXCW) lassen sich viele Probleme durch gezielte Maßnahmen bei Antennentechnik, RF-Pegelwahl und Zonenmanagement lösen.

A) Antennenausrichtung und Funkzonen

- **Richtcharakteristik beachten:** Funkmodule in LMZ (ähnlich wie Shure APs) senden typischerweise mit einer Keule nach vorn/oben. Idealerweise werden Empfänger überkopf installiert, mit der Hauptabstrahlrichtung auf die Messzellen gerichtet.
- **Raumabdeckung optimieren:** Kombination aus zentralem Sender und Korridor- / Flächenabdeckung durch sektorielle Anordnung mehrerer Access Points (AP).
- **Raumteilung beachten:** Bei Trennwänden, Gitterrosten oder Stahlträgern: Sendeleistung anpassen und ggf. Zonen über Repeater oder Zusatz-APs sichern.

B) Leistungsverhalten anpassen

- **Nicht immer auf Maximum:** Reduzierte Sendeleistung (z. B. 5–13 mW statt 25 mW) reicht bei geringen Distanzen aus – spart Energie und reduziert Störanfälligkeit.
- **Beispielkonfiguration:**
 - Low (1 mW): für Messzellen im Radius < 10 m (kleine Setups, Indoor).
 - Medium (5 mW): typische Konferenzräume oder Traversenhöhe.
 - High (13 mW): für Open-Air oder größere Hallen.
 - Maximum (25 mW): nur, wenn Sichtlinie unterbrochen ist oder lange Distanzen erforderlich sind.

C) Dynamische Frequenzwahl & Interferenzvermeidung

- **DFS-Kanäle nutzen:** Wie bei Shure: DFS erlaubt Nutzung geschützter 5 GHz-Kanäle (z. B. Wetterradar), die weniger frequentiert sind.
- **Automatische Interferenzvermeidung:** Modernere Systeme erkennen Störungen und wechseln ohne Unterbrechung auf „verified backup channels“.
- **RF-Spektrumanalyse:** Vor der Inbetriebnahme sollte ein Scan durchgeführt werden – besonders bei Messen, Arenen und Open-Air mit vielen Netzen.

D) Integration in WLAN-Zonenkonzepte

- **Kunden-WLAN beschränken:** Nutzersysteme in Bodennähe halten (< 4 m Höhe) und APs gezielt ausrichten (z. B. downward antennas).
- **LMZ-WLAN oben halten:** Funkzellen über Traversenhöhe (> 6 m), möglichst abgeschottet von Publikumsfrequenzen.
- **QoS und VLANs:** In Hightech-Locations kann eine IT-gesteuerte Priorisierung des LMZ-Traffics über VLANs/Quality of Service erfolgen.

7. Handlungsempfehlungen

Die Implementierung von Lastmesszellen (LMZ) in der Veranstaltungstechnik ist ein entscheidender Schritt zur Erhöhung der Sicherheit und Transparenz in Rigging-Systemen. Ihre Nutzung ist jedoch nur dann effektiv, wenn sie fachgerecht installiert, kontinuierlich überwacht und korrekt interpretiert wird.

7.1 Checkliste für den sicheren Einsatz von Lastmesszellen

Vor der Veranstaltung

- Prüfung der Tragfähigkeiten aller Hängepunkte gemäß statischer Berechnung.
- Auswahl der geeigneten Lastmesszellen (Schäkel- oder Inline-LMZ, kabelgebunden oder drahtlos).
- Spektrumanalyse für drahtlose Systeme durchführen, um Funkstörungen zu minimieren.
- Benennung und Dokumentation der LMZ-IDs gemäß den technischen Plänen (HP/KPNummern).
- Integration der LMZ-Software in das zentrale Überwachungssystem.
- Falls C1-Maschinen eingesetzt werden → Kopplung der LMZ mit der Maschinensteuerung für automatische Notabschaltung.

Während der Veranstaltung

- Live-Überwachung der Lasten und Identifikation von Unregelmäßigkeiten.
- Alarmierung des Supervisors, falls eine Überlastung oder ungewöhnliche Lastverlagerung auftritt.
- Falls Änderungen an der Rigging-Struktur notwendig sind → Dokumentation aller Anpassungen in einem Logfile.
- Dynamische Belastungen während Motorfahrten überwachen, um unkontrollierte Lastverlagerungen zu vermeiden.

Nach der Veranstaltung

- Erstellung eines Abschlussprotokolls mit den real gemessenen Lastwerten.
- Analyse der Langzeitmessungen, um potenzielle Materialermüdung oder Lastverschiebungen zu identifizieren. Das
- Wartung und Funktionsprüfung der LMZ für den nächsten Einsatz.
- Falls Grenzwerte überschritten wurden → detaillierte Ursachenanalyse durchführen und Präventivmaßnahmen festlegen.

7.2 Empfehlungen für Unternehmen und Einzelpersonen

Für Rigging-Firmen und Veranstaltungstechniker

- Implementierung eines standardisierten Lastüberwachungssystems mit Echtzeit-Messung und automatischer Alarmierung.
- Nutzung von kombinierten kabelgebundenen und drahtlosen LMZ, um Redundanzen und maximale Messsicherheit zu gewährleisten.
- Regelmäßige Schulungen für LMZ-Operatoren nach IGWV SQQ2 oder vergleichbaren Standards.
- Verbindliche Dokumentation und Protokollierung aller Lastmessungen, um Nachweise im Schadensfall zu haben.
- Falls mit C1-Maschinen gearbeitet wird → Schulung von Spezialisten für die Interpretation der LMZ-Daten in sicherheitskritischen Anwendungen.

Für Veranstalter und Kunden

- Frühzeitige Bereitstellung exakter Lastangaben für alle einzubringenden Rigging-Elemente.
- Falls statisch unbestimmte Systeme (z. B. mehrpunktgehängte LED-Wände) genutzt werden, sollte eine eigene Lastüberwachung erfolgen.
- Klare Kommunikation zwischen Rigging-Firma, Statikern und Fremdfirmen, um unkontrollierte Lastveränderungen zu verhindern.
- Akzeptanz und Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen durch Lastmesssysteme, insbesondere wenn Rigging-Punkte nahe an der Maximalbelastung arbeiten.

Für Behörden, Statiker und Sicherheitsprüfer

- Förderung der Standardisierung von Lastmesszellen in sicherheitskritischen Anwendungen.
- Regelmäßige Überprüfung der eingesetzten Messsysteme, um Manipulationen oder falsche Kalibrierungen auszuschließen.
- Anpassung bestehender Normen und Vorschriften (DIN 56950, DGUV Vorschrift 17/18, IGWV SQQ2), um den Einsatz von LMZ als verpflichtende Sicherheitsmaßnahme in kritischen Systemen zu etablieren.

7.3 Zukunft der Lastmessung in der Veranstaltungstechnik

Die Zukunft der Lastmessung in der Veranstaltungstechnik ist stark von der digitalen Transformation geprägt. Produktions- und Planungssoftware wird eine entscheidende Rolle spielen, indem sie die präzise Planung mit der Echtzeit-Überwachung kombiniert.

Integration in Software und Echtzeit-Überwachung

Production Assist ist ein Beispiel für ein Software-Tool, das die digitale Planung und das Management von Veranstaltungen unterstützt. Es ermöglicht die Erstellung eines digitalen Zwillings einer Veranstaltungsstätte, in dem Rigging-Punkte, Traversen und Hebezeuge verortet und mit Lastdaten versehen werden können. Der entscheidende Mehrwert liegt in der Integration von Lastmesszellen:

- **Echtzeit-Daten:** Die Software kann aktuelle Messdaten von Lastmesszellen direkt empfangen.
- **Soll-Ist-Abgleich:** Sie gleicht die simulierten, planerischen Lasten mit den tatsächlich gemessenen Lasten ab.

Diese Funktion macht Abweichungen sofort sichtbar und kann bei unsymmetrischer Belastung, die planerisch nicht vorgesehen war, eine direkte Warnung ausgeben. Das verbessert die Sicherheit während des Aufbaus erheblich.

Weitere Zukunftstrends

- Automatisierte KI-gestützte Lastüberwachungssysteme werden eine noch präzisere Identifikation von Lastverlagerungen ermöglichen.
- Echtzeit-Warnsysteme mit direkter Integration in Rigging-Software werden standardisiert, um schneller auf gefährliche Lastsituationen zu reagieren.
- Neue kabellose Übertragungstechnologien (z. B. 5G, LPWAN) könnten die Signalstabilität drahtloser Lastmesszellen (LMZ) erheblich verbessern.
Die Integration von Lastmesszellen in digitale Zwillinge von Veranstaltungsstätten wird den Abgleich von simulierten Lastverteilungen mit realen Messdaten weiter optimieren.
- Erweiterung von Systemen gemäß DIN EN 17206 um die direkte Anbindung von Lastmesszellen an sicherheitsgerichtete Steuerungen, um eine automatische Notfallabschaltung vor dem Erreichen kritischer Überlasten bei Systemen zu gewährleisten, die Lasten über Personen bewegen oder halten.

Die Nutzung von Software wie Production Assist ist ein Beispiel dafür, wie die Digitalisierung und Echtzeit-Überwachung bereits heute umgesetzt werden, um die Sicherheit bei Veranstaltungen zu erhöhen und die Einhaltung der normativen Vorgaben zu erleichtern.

8. Meine Gedanken

Kritiker wenden oft ein, die beschriebenen Prozesse seien für den hektischen Veranstaltungsallday zu aufwendig und praxisfern. Das ist eine Ansicht, die ich nicht teile, denn meine Absicht ist nicht, jemanden mit Paragrafen zu überladen, sondern eine Sensibilisierung für das Thema zu schaffen. Das große Missverständnis liegt darin, dass man annimmt, man müsse jeden einzelnen Hängepunkt mit einer LMZ ausstatten. Das ist weder realistisch noch im Sinne des Erfinders. Wer eine Messehalle mit weit über 300 Punkten bestücken oder gar mehrere Hallen gleichzeitig überwachen müsste, käme auf über 1.000 LMZ – ein finanzieller und logistischer Aufwand, der kaum tragbar ist.

Hier kommt die eigentliche Kunst und das Fachwissen der Profis ins Spiel. Es geht nicht darum, auf LMZ zu verzichten, weil man genug rechnet und plant, sondern darum, die Notwendigkeit ihres Einsatzes zu erkennen und zu handeln. Die punktuelle Überwachung muss durch Erfahrung und eine kluge Gefährdungsbeurteilung ergänzt werden. Es geht darum, mit dem reduzierten Einsatz von LMZ ein maximales Maß an Sicherheit zu schaffen, indem man genau jene Hängepunkte überwacht, bei denen es kritisch werden könnte – beispielsweise bei großen LED-Wänden, wo die Lasten nicht immer gleichmäßig verteilt sind. Letztlich dürfen Kosten niemals über der Sicherheit stehen.

Ich bin überzeugt, dass wir eine Brücke zwischen der theoretischen Planung und der praktischen Umsetzung schlagen müssen. Endkunden und Planer, die in der Theorie alles verstehen, können die Komplexität und die Risiken im täglichen Aufbau oft nur schwer einschätzen. Dieses Whitepaper ist ein Versuch, sie abzuholen und ihnen zu zeigen, was eine sichere Umsetzung in der Praxis bedeutet. Gleichzeitig möchte ich auch den erfahrenen Profis, die schon jahrelang mit LMZ arbeiten, einen neuen Denkanstoß geben.

Es gibt bereits genug Firmen in unserer Branche, die auf höchstem Niveau arbeiten und fehlerfreie Mega-Events umsetzen. Doch es ist für Einzelne oft schwierig, an dieses Fachwissen heranzukommen. Daher hoffe ich, dass dieses Whitepaper nicht als "Strafe" für die Prozesse empfunden wird, sondern eher als ein Appell an die großen und erfahrenen Firmen. Ein Appell, an diesem Whitepaper weiterzuarbeiten und ihr Fachwissen zu teilen. Nur so können wir nachhaltig einen Standard schaffen, der für alle umsetzbar ist.

Anlage 1: Standardprozess für den Einsatz von Lastmesszellen

1. Anfrage und Auftragsklärung

- Erhalt der Anfrage durch den Kunden oder Veranstalter.
- Erfassung relevanter Informationen:
 - Veranstaltungstyp (Messe, Konzert, Theater, Open-Air, etc.).
 - Veranstaltungsort und Hallennummer.
 - Geplante Hängepunkte und Lastangaben.
 - Technische Zeichnungen und statische Berechnungen (falls vorhanden).
- Prüfung der Tragfähigkeit der Hallendecke oder der temporären Konstruktionen.
- Identifikation kritischer Lastbereiche und potenzieller Überlastpunkte.
- Abgleich mit bestehenden Normen und Sicherheitsanforderungen.
- Rückfragen an den Kunden zur Klärung fehlender Informationen.

2. Planung und Genehmigung

- Erstellung des Rigging-Plans unter Berücksichtigung der statischen Berechnungen.
- Bestimmung der benötigten Lastmesszellen (Schäkel- oder Inline-Zellen, drahtlos oder kabelgebunden).
- Integration der LMZ-Positionen in die Rigging-Dokumentation.
- Vorläufige Prüfung durch einen Statiker oder Supervisor.
- Abstimmung mit weiteren Gewerken (Licht, Ton, Video, Standbau) zur Lastverteilung.
- Genehmigung der finalen Lastpläne durch die verantwortliche Fachkraft.

3. Vorbereitung und Installation

- Vorbereitung der Lastmesszellen:
 - Prüfung der Kalibrierung und Dokumentation der Seriennummern.
 - Funkfrequenzprüfung für drahtlose Systeme zur Vermeidung von Interferenzen.
 - Sicherstellung der korrekten Tarierung der Messsysteme.
- Einbau der LMZ in die geplanten Hängepunkte gemäß technischer Vorgaben.
- Prüfung der mechanischen Verbindung und korrekte Ausrichtung der Lastmesszellen.

- Dokumentation der Installationspunkte mit Zuordnung zu den Lastmess-IDs.
- Falls erforderlich, Integration der LMZ in die Maschinensteuerung für automatische Notabschaltung.
- Testmessung mit Referenzlast zur Validierung der Messergebnisse.

4. Live-Überwachung und Betrieb

- Aktivierung der Messsoftware und Kontrolle der Live-Datenübertragung.
- Prüfung der Lastwerte im Vergleich zu den geplanten statischen Berechnungen.
- Regelmäßige Überprüfung der LMZ-Signale und Funkverbindungen.
- Anpassung der Lasten oder Warnstufen, falls Lastgrenzen überschritten werden.
- Dokumentation von auftretenden Lastverlagerungen oder dynamischen Laständerungen.
- Sofortige Alarmierung bei Überlastung oder unplausiblen Werten.

5. Abbau und Nachbereitung

- Erstellung eines Abschlussprotokolls mit den gemessenen Lastwerten.
- Dokumentation von Abweichungen oder Grenzwertüberschreitungen.
- Falls Überlastungen aufgetreten sind:
 - Prüfung der Anschlagmittel und Traversen auf Beschädigungen.
 - Detaillierte Ursachenanalyse und Anpassung der Lastpläne für zukünftige Veranstaltungen.
- Demontage der LMZ und Funktionsprüfung für den nächsten Einsatz.
- Speicherung der Lastmessdaten für eventuelle Nachweispflichten oder Reklamationen.
- Abschlussbericht für den Veranstalter oder Kunden mit Empfehlungen zur Optimierung.

Anlage 2: Standardprotokoll für Lastmesszellen

(Übergabe-, Prüf- und Überwachungsprotokoll für den Einsatz von Lastmesszellen in der Veranstaltungstechnik)

1. Veranstaltungsdaten

Veranstaltungsname:

Veranstaltungsort / Halle:

Datum der Installation:

Datum der Abnahme:

Verantwortlicher Rigger / Supervisor:

Projekt- oder Auftragsnummer:

2. Technische Angaben der Lastmesszellen

LMZ-Nummer	Position (HP/KP-Nr.)	Seriennummer	Max. SWL (Safe Working Load)	DWL (Dynamic Working Load)	Messbereich (kg)	Kabelgebunden / Drahtlos
LMZ-01	HP-07	12345678	2.000 kg	2.400 kg	0–2.500 kg	Drahtlos
LMZ-02	KP-14	87654321	3.000 kg	3.600 kg	0–3.500 kg	Kabelgebunden
...	...	...	...	...	...	...

3. Prüf- und Installationskontrolle

Vor der Installation

- ☐ Technische Zeichnungen und Lastberechnungen geprüft
- ☐ Alle geplanten LMZ an definierten Hängepunkten installiert
- ☐ Seriennummern dokumentiert und mit Positionen abgeglichen
- ☐ Batteriestatus (bei drahtlosen LMZ) überprüft
- ☐ Spektrumanalyse für drahtlose Übertragung durchgeführt

Nach der Installation

- ☐ Nullpunkt- und Tarierungstest durchgeführt
- ☐ Referenzlastmessung erfolgreich
- ☐ Messwerte plausibel und mit Berechnungen abgeglichen
- ☐ Signalstabilität (bei drahtlosen LMZ) geprüft
- ☐ Integration in Überwachungssoftware abgeschlossen

Live-Überwachung während des Betriebs

- ☐ Lastverläufe stabil und innerhalb der berechneten Werte
- ☐ Keine unkontrollierten Lastverlagerungen festgestellt
 - ☐ Falls Abweichungen: Ursachenanalyse durchgeführt
- ☐ Falls Überlastung: Maßnahmen eingeleitet und dokumentiert

4. Maßnahmen bei Abweichungen oder Überlastungen

- ☐ Lastverteilung angepasst (Zusätzliche Hängepunkte genutzt)
- ☐ Dynamische Einflüsse überprüft (Motorbewegungen, Windlasten, etc.)
- ☐ Abschaltung der Hebezeuge bei kritischer Lastüberschreitung durchgeführt
- ☐ Kunden oder Fremdfirmen über kritische Werte informiert
- ☐ Ergänzende Messungen durchgeführt

Beschreibung der Abweichung und durchgeführte Maßnahmen:

.....

.....

.....

5. Abschlussbewertung und Übergabe

- ☐ Alle Lastmessungen wurden erfolgreich durchgeführt
- ☐ Keine sicherheitskritischen Abweichungen festgestellt
- ☐ Protokollierung abgeschlossen, Daten gespeichert
- ☐ Kunde / Veranstalter über finale Lastwerte informiert

Bemerkungen / Empfehlungen für zukünftige Veranstaltungen:

.....

.....

Unterschriften:

Name	Funktion	Unterschrift	Datum
.....	Verantwortlicher Rigger		
.....	Supervisor / Statiker		
.....	Kunde/Veranstalter		

Zusätzliche Anhänge (falls vorhanden)

- Messdaten-Logfiles aus der Überwachungssoftware
- Screenshots oder Diagramme der Lastverteilung
- Fotos der Installierten LMZ und deren Positionen

Anlage 3: Grundprinzipien der Kräfteverteilung und Praxisbeispiele für den gezielten Einsatz von Lastmesszellen

Warum wir über Kräfte sprechen müssen

Die Verteilung von Kräften in Rigging-Konstruktionen ist auf den ersten Blick selten offensichtlich. Schon kleine Änderungen an der Position oder Anzahl von Anschlagpunkten können zu erheblichen Lastverlagerungen führen. Ohne rechnerische Analyse ist die tatsächliche Belastung einzelner Punkte kaum vorhersehbar.

Selbst bei scheinbar „symmetrischen“ Setups können durch Produktionsänderungen, Bewegung, Temperatur oder Zeitabweichungen massive Kraftverlagerungen entstehen. Das Ergebnis: statisch nicht kontrollierbare Systeme – mit Sicherheitsrisiko.

Fazit: Ohne technische Hilfsmittel wie Lastmesszellen ist eine objektive Kontrolle in Echtzeit kaum möglich.

Grundprinzip der Lastverteilung bei gleichmäßiger Linienlast

Diese schematische Darstellung zeigt den Einfluss der Anzahl der Anschlagpunkte auf die prozentuale Lastverteilung bei einer Traverse mit gleichmäßiger Linienlast.

- **Oben:** Zwei Anschlagpunkte → symmetrische Lastverteilung mit je 50 %.
- **Darunter:** Drei Anschlagpunkte → Mittlerer Punkt übernimmt über 60 % der Gesamtlast.
- **Weitere Beispiele:** Mit zunehmender Zahl an Hängepunkten nähert sich die Verteilung theoretisch einer gleichmäßigen Aufteilung – jedoch nie linear.

Schlüsselbotschaft:

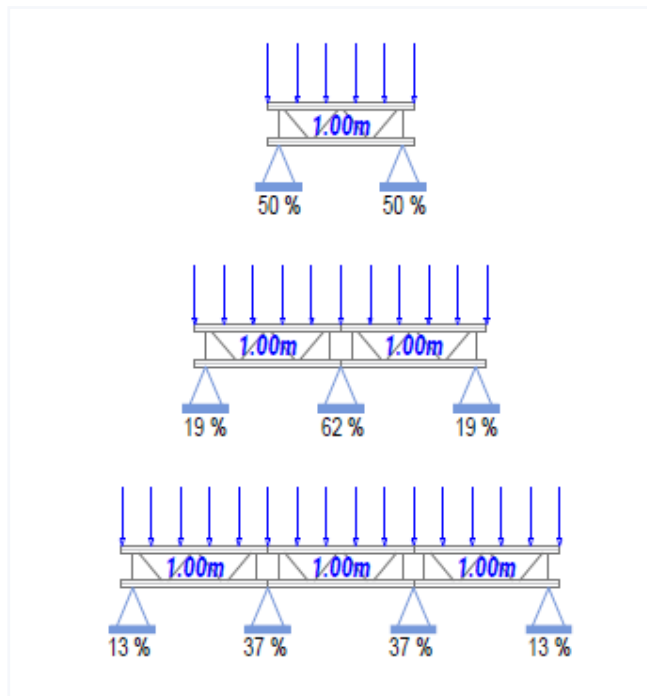
Selbst bei optisch gleichmäßiger Hängepunktauswahl entstehen asymmetrische Belastungsverhältnisse, sobald mehr als zwei Punkte eingesetzt werden. Ohne Berechnung ist die reale Lastverteilung nicht abschätzbar.

Relevanz für die Praxis:

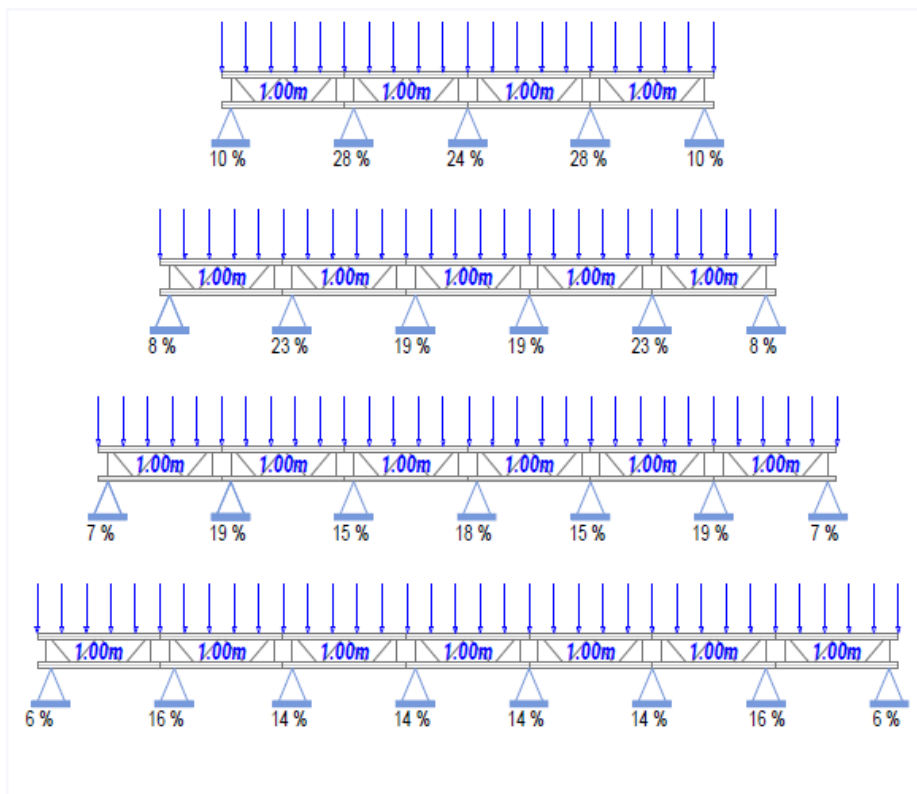
Diese einfache Darstellung zeigt, wie kritisch es ist, gezielt zu messen, anstatt sich auf intuitive Gleichverteilungen zu verlassen. Bei komplexen Systemen mit mehreren Anschlagpunkten ist eine punktuelle Überwachung mithilfe von Lastmesszellen an Schlüsselstellen dringend zu empfehlen.

Flächentraversensysteme mit variierender Belastung

In diesen beiden Szenarien wird die resultierende Lastverteilung in geschlossenen Traversensystemen mit Mehrfachverbindungen visualisiert.

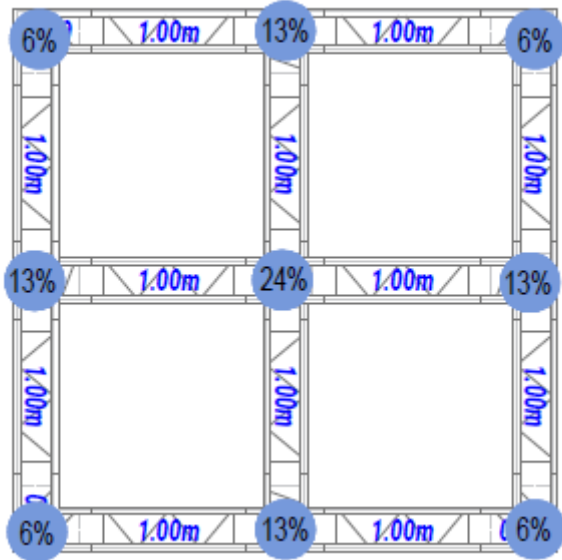


(Abb. 31)

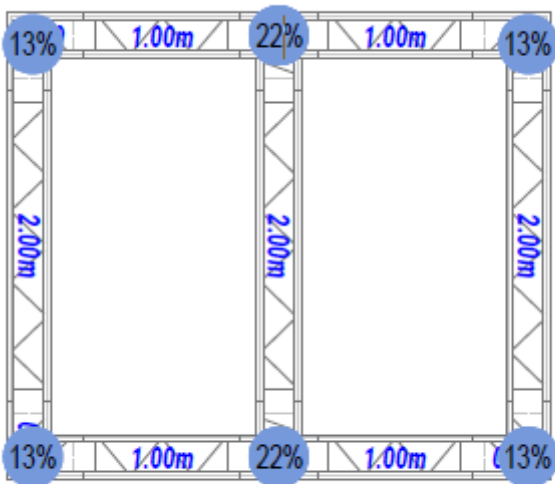


(Abb. 32)

- **4x4 Quadratstruktur:** Die zentrale Verbindung nimmt mit 24 % den höchsten Lastanteil auf – bedingt durch die symmetrische Einleitung der umliegenden Teilflächen. Außenpunkte zeigen deutlich geringere Lasten. Ohne Überwachung des Schwerpunkts kann hier ein einzelner Punkt überlastet werden, obwohl die Systemlast im Rahmen bleibt.



- **2x3 Segmentstruktur:** Die Lasten konzentrieren sich auf die vertikalen Mittelträger mit je 22 %. Auch hier ergibt sich durch die Geometrie eine ungleichmäßige Belastung, die im Fall zusätzlicher Kundenlasten zu kritischen Lastspitzen führen kann.

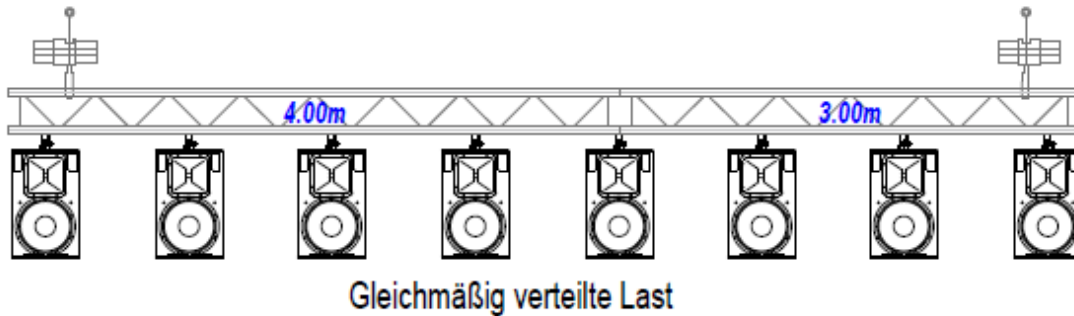


Fazit: Auch bei modularen Traversenflächen sind zentrale Knoten und Mittelträger besonders lastkritisch – eine gezielte Überwachung einzelner Punkte muss anhand der Struktur geplant werden.

Beispielhafte Anwendung von Lastmesszellen bei typischer Lastverteilung

Die folgenden zwei Beispiele zeigen unterschiedliche Lastsituationen auf einer Traverse und die daraus resultierenden Anforderungen an die Lastüberwachung.

1. Gleichmäßig verteilte Last

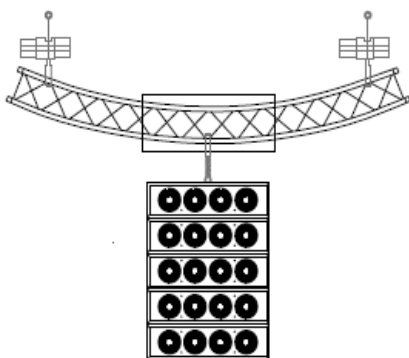


Bei gleichmäßiger Belastung entlang der Traverse wirken die Kräfte theoretisch symmetrisch auf die Aufhängepunkte. Die Lastverteilung ist berechenbar, statisch determiniert und unterliegt nur geringen Schwankungen – sofern keine Laständerungen im Betrieb auftreten.

Empfehlung für den LMZ-Einsatz:

- Reduzierte Anzahl an Messpunkten möglich (z. B. nur an den äußeren Hängepunkten), sofern das statische System durchgerechnet und dokumentiert wurde.
- Statische Überprüfung und Visual-Kontrollen reichen oft aus, falls keine dynamischen Lasten eingebracht werden.
- Live-Überwachung nur nötig, wenn Lastverschiebungen im Betrieb zu erwarten sind (z. B. durch Motoren, bewegte LED-Flächen etc.).

2. Punktlast

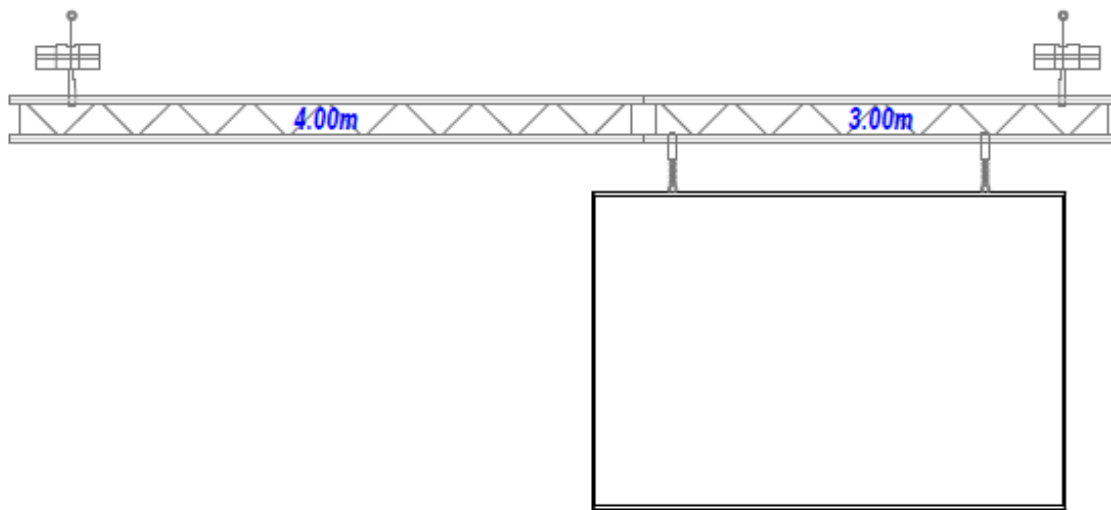


Punktuelle, zentrierte Lasten – etwa große Lautsprecher-Cluster – erzeugen lokale Überlastungen, die zu starker Biegung der Traverse führen können. Die exakte Verteilung der Kraft auf die Aufhängepunkte ist in diesen Fällen nicht ohne Messung nachvollziehbar.

Empfehlung für den LMZ-Einsatz:

- Zwingend Lastmesszelle an kritischem Aufhängepunkt direkt unterhalb oder angrenzend zur Last.
- Zusätzliche LMZ an benachbarten Punkten zur Kontrolle der resultierenden Verteilung.
- Live-Überwachung und Grenzwertüberwachung erforderlich, um Lastverlagerung beim Einbringen oder im Betrieb zu erkennen.

4. Partielle Streckenlast



Partielle Streckenlast

Bei einer **einseitig konzentrierten Streckenlast**, wie sie z. B. durch großflächige Stoffe oder Vorhangssysteme entsteht, verschiebt sich der Schwerpunkt deutlich zur belasteten Seite. Die Traverse bleibt zwar in ihrer Grundkonstruktion symmetrisch, jedoch entsteht eine **asymmetrische Krafteinleitung**, die eine klare Schwerpunktverschiebung bewirkt.

Besonderheit:

Optisch schwer zu erkennen, da die Lasten verteilt wirken – tatsächlich ergibt sich aber eine starke einseitige Beanspruchung.

Empfehlung für den LMZ-Einsatz:

- **Lastmesszellen an den außenliegenden Aufhängepunkten**, insbesondere auf der Lastseite.
- **Optional eine zusätzliche Zelle mittig**, um die asymmetrische Krafteinleitung zu quantifizieren.
- **Live-Überwachung** unbedingt empfohlen bei bewegten Vorhangssystemen oder zusätzlicher Lastaufnahme während des Betriebs.
- **Statische Bewertung:** Ohne Messung kann die tatsächliche Verteilung schnell fehleingeschätzt werden – vor allem bei langen Traversen.

Hinweis zur Praxis:

Ein häufiger Fehler ist, diese Art der Lastverteilung mit einer gleichmäßigen Streckenlast zu verwechseln. Ohne Lastmessung kann die resultierende Asymmetrie unentdeckt bleiben.

Quellenverzeichnis

QUELLE	BESCHREIBUNG	SEITENVERWEISE
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz – Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes. Verpflichtet Arbeitgeber zur Gefährdungsbeurteilung (§ 5) und Einhaltung des Stands der Technik (§ 4). Bildet die Rechtsgrundlage für den Einsatz von Sicherheitstechnik wie LMZ.	10, 11, 55
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung – Regelt die Bereitstellung und Prüfung von Arbeitsmitteln. Fordert, dass Arbeitsmittel (LMZ, Hebezeuge) geeignet und regelmäßig geprüft (kalibriert) sind.	25
MVStättVO	Muster-Versammlungsstättenverordnung – Baurechtliche Vorschrift für den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten. Definiert die Verantwortung des Betreibers und des Verantwortlichen für Veranstaltungstechnik (§ 39/40) für die Sicherheit der Aufbauten.	74
DGUV Vorschrift 17/18 (BGV C1)	Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung – (ehem. BGV C1). Unfallverhütungsvorschrift, die Sicherheitsanforderungen an Bühnentechnik definiert. Rechtsbasis für die Forderung nach Standsicherheit und Sicherung gegen Herabfallen.	2, 8, 10, 11, 55, 58, 77, 86
DGUV Regel 115-002	Konkretisierung sicherheitsrelevanter Anforderungen – Erläutert die DGUV Vorschrift 17/18. Legt fest, dass technische Anlagen nach dem aktuellen Stand der Technik betrieben werden müssen (Implikation für LMZ bei komplexen Rigs).	10, 11
DGUV Information 215-310	Sicherheit bei Veranstaltungen und Produktionen – Handlungsanleitung für die Praxis. Thematisiert die korrekte Dimensionierung von Anschlagmitteln, Tragfähigkeiten (WLL) und Sicherheitsfaktoren.	10, 13, 33, 77
DGUV Information 215-313	Lasten über Personen – Spezifische Anforderungen für das Halten und Bewegen von Lasten über Personen. Fordert explizit Überwachungseinrichtungen (Lastmessung) bei bestimmten Gefährdungsklassen.	10, 55, 58, 74, 98

QUELLE	BESCHREIBUNG	SEITENVERWEISE
DIN EN 17206	Veranstaltungstechnik – Maschinen für Bühnen und andere Produktionsbereiche – Europäische Norm für die Sicherheit von Hebezeugen und Traversenliften. Regelt Anforderungen an Überlastabschaltungen und sicherheitsgerichtete Steuerungen (SIL).	2, 7, 12, 55, 58, 70, 74, 77, 87
IGVW SQQ2	Sachkunde für Veranstaltungsrigging – Branchenstandard zur Qualifikation von Riggern (Level 1-3). Definiert die Kompetenzanforderungen für Personen, die Lastmessdaten interpretieren und bewerten (LMZ-Operator).	2, 8, 11, 13, 16, 29, 31, 55, 58, 65, 77, 78, 86
IGVW SQP2	Elektrokettenzüge – Standard für den Betrieb von D8, D8+ und C1 Zügen. Fordert Lastüberwachung und Abschaltung bei C1-Systemen in szenischen Fahrten und untersagt reine Strommessung als Sicherheitsfeature.	7, 10, 100
IGVW SQQ2	Veranstaltungsrigging – Organisation und Arbeitsverfahren – Definiert Abläufe, Verantwortlichkeiten und Kommunikationswege im Rigging-Prozess. Basis für die organisatorische Einbindung von LMZ-Daten.	7, 26, 30
DIN EN 13814	Fliegende Bauten – Norm für Fahrgeschäfte und temporäre Bauten (z.B. Festivalbühnen, PA-Tower). Fordert Standsicherheitsnachweise und Betriebskontrollen, die oft durch Lastmessung (Ballast/Wind) verifiziert werden müssen.	73, 74
DIN 56955	Lastannahmen für Einbauten – Definiert Nutzlasten und dynamische Faktoren für die statische Berechnung. Essenziell für die Festlegung von Warn- und Grenzwerten in der LMZ-Software	-
DIN 56929	Sicherheit und Statik von LED-Wänden – Spezifische Norm für LED-Wände. Empfiehlt dringend den Einsatz von Lastmesszellen bei statisch unbestimmten Aufhängungen (Mehrpunktsysteme).	13, 28

Quellenverzeichnis

QUELLE	BESCHREIBUNG	SEITENVERWEISE
DIN EN 13889	Schäkel für Hebetechnik – Definiert Materialanforderungen (Güteklasse 6) und Tragfähigkeiten für Schäkel. Bildet die normative Basis für die mechanische Integrität von Lastmessschäkeln.	13, 19, 28, 33
DIN EN 818-7	Anschlagketten für Hebezwecke – Regelt Spezifikationen und Tragfähigkeiten (WLL) von Kettengehängen und Hebezeugketten. Relevant für das Verständnis des Gesamtsystems "Motor + LMZ".	12
DIN EN 12195-1	Berechnung von Zurrkräften – Methoden zur Berechnung von Sicherungskräften. Liefert die mathematischen Grundlagen (Vektorrechnung) für die Berechnung von Kräften in Bridles und Abspannungen.	12
ISO 376	Kalibrierung von Kraftmessgeräten – Internationale Norm für die Kalibrierung. Definiert Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit und Klassifizierung von Kraftmessgeräten.	24
VDI/VDE 2638	Kenngößen für Kraftaufnehmer – Richtlinie für Begriffe und Kalibrierverfahren von DMS-basierten Sensoren. Definiert technische Parameter wie Hysterese und Kriechen.	24
DIN EN 60529	Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) – Klassifiziert den Schutz gegen Wasser und Staub. Relevant für die Auswahl von LMZ für den Außenbereich (IP65/IP67).	32
DIN 15905-5	Tontechnik – Gehörschutz – Maßnahmen zur Vermeidung von Gehörgefährdung. Dient als analoges Beispiel für Mess- und Dokumentationspflichten (Schallpegel) in der Veranstaltungstechnik.	84
DIN 15750	Leitlinien für technische Dienstleistungen – Qualitätsstandards für Dienstleister (Planung, Durchführung, Dokumentation). Fordert strukturierte Prozesse, die durch LMZ-Pro-	77

Quellenverzeichnis

QUELLE	BESCHREIBUNG	SEITENVERWEISE
Prolyte Blackbook	Technisches Handbuch für Traversen – Standardwerk für Traversenstatik. Quelle für Lastverteilungsprinzipien (Punktlast vs. Streckenlast) und die Problematik unbestimmter Systeme.	95, 96, 97, 98
Broadweigh Manuals	Benutzerhandbücher (Gen 3) – Technische Dokumentation für drahtlose Lastmessschäkel. Quelle für spezifische Funktionen wie Smart Sleep, Bridle-Warnungen und Frequenzmanagement (2.4 GHz).	18, 19, 22, 23, 37, 38, 39, 73
Production Assist	Software-Dokumentation – Beschreibung der Planungssoftware für Echtzeit-Lastüberwachung. Ermöglicht den digitalen Soll-Ist-Abgleich zwischen Statik und Messung.	87

Bildquellen:

Abb.	Bild	Bildinhalt		Quelle
01	Beispiel Logfile	Beispiel Logfile	15	Dominic Tomazsewski (2025)
02	Beispiel Adobe Sign	Beispiel Adobe Sign	16	Dominic Tomazsewski (2025)
03	Zugmesszellen	Broadweigh Gen 3 Manual	18	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
04	Schäkel- Lastmesszellen	Broadweigh Gen 3 Manual	18, 19	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
05	Traversen- Lastmesszellen	Broadweigh Gen 3 Manual	18	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
06	Beispiel Broadweigh Toolkit	Broadweigh Toolkit	22	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
07	Beispiel Fritzbox Scan	Funknetz & Auslastung	23	Dominic Tomazsewski (2025)
08	Datenblatt Precheck	Checkliste zur Vorbereitung Lastmesszellen	34	Dominic Tomazsewski (2025)
09	Draufsicht LMZ	Sichtprüfung	34	Dominic Tomazsewski (2025)
10	Seitenansicht LMZ	Sichtprüfung	35	Dominic Tomazsewski (2025)
11	Empfänger der LMZ, Datenblatt ID Erfassung	Anschluss und Sichtprüfung, Erfassen der LMZ IDs und Abgleich mit Hänge- punkten	35	Dominic Tomazsewski (2025)
12	LMZ Seitenansicht	ID Prüfung der LMZ	35	Dominic Tomazsewski (2025)
13	Beschriftete LMZ	Beschriftung der LMZ mit Nummerierun- gen der Hängepunkte laut Plan	35	Dominic Tomazsewski (2025)
14	Hallenplan Abschnitt	Hallenplan mit der Zuordnung von Hängepunkten und LMZ einbaupunkten	35	Dominic Tomazsewski (2025)
15	Softwarekonfiguration von LMZ	Zeigt die Vorbereitung der LMZ auf Soft- wareebene mit Zuordnungen der Hänge- punkte zur jeweiligen ID	36	Dominic Tomazsewski (2025)
16	Beschriftete LMZ	Beschriftung der LMZ mit Nummerierun- gen der Hängepunkte laut Plan	36	Dominic Tomazsewski (2025)
17	Fehlanwendungen: Fehlausrichtung, Tor- sion oder Querbelastung	Broadweigh Gen 3 Manual	37	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
18	Einsatz von Schäkeln im Bridle-System	Erlaubte und nicht erlaubte Einbringung von LMZ im Bridlesystem	37	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
19	Falsche Positionierung bei nicht gemessenen Bridle-Strängen	Broadweigh Gen 3 Instructions & Broad- weigh Ecosystem Flyer	38	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
20	Korrekte Montage mit gemessenen Bridle-Strängen	Broadweigh Gen 3 Instructions & Broad- weigh Ecosystem Flyer	38	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)

21	Unzulässige Krafteinleitung über den Schäkelbolzen	Broadweigh Gen 3 Instructions & Broadweigh Ecosystem Flyer	38	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
22	Betriebstemperaturbereich	LMZ Korrekte Ausrichtung und Temperaturangaben zur besten Performance der LMZ	39	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
23	Batterieprüfung und Energieversorgung	Offenes LMZ Modul mit Batteriefach	41	Dominic Tomazsewski (2025)
24	Exploreransicht der Broadweigh-Software	Benennung der Hängepunkte und IDs zur Remoteüberwachung	41	Dominic Tomazsewski (2025)
25	Beispiel Einzelpunktüberwachung an Hauspunkten für Prerigg	Einzelpunktüberwachung an Hauspunkten für Prerigg	57	Dominic Tomazsewski (2025)
26	Deckenspiegel mit LMZ	Auszug eines Abschnittes von einem Gesamtplan einer Halle mit markierten Hängepunkten und gelb markierten Positionen zum Einbau von Hängepunkten	60	Dominic Tomazsewski (2025)
27	Deckenspiegel mit LMZ / Draufsicht Kundenrigg zur Montage und Übersicht	Auszug eines Abschnittes von einem Gesamtplan einer Halle mit markierten Hängepunkten und gelb markierten Positionen zum Einbau von Hängepunkten	61	Dominic Tomazsewski (2025)
28	Steigersystem Pre-Rigg	Steigersystem Pre-Rigg	68	Dominic Tomazsewski (2025)
29	Übersicht Broadweigh Ecosystem	Broadweigh Ecosystem Flyer	73	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
30	Übersicht Broadweigh Ecosystem	Broadweigh Ecosystem Flyer	73	Bild mit freundlicher Genehmigung von Broadweigh (2024)
31	Kraftverteilung in Traversensystemen	Prolyte Blackbook (2023)	95	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
32	Kraftverteilung in Traversensystemen	Prolyte Blackbook (2023)	95	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
33	4x4 Quadratstruktur	Prolyte Blackbook (2023)	96	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
34	2x3 Segmentstruktur	Prolyte Blackbook (2023)	96	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
35	Gleichmäßig verteilte Last	Prolyte Blackbook (2023)	97	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
36	Punktlast	Prolyte Blackbook (2023)	97	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)
37	Partielle Streckenlast	Prolyte Blackbook (2023)	98	Bild mit freundlicher Genehmigung von Prolyte Group B.V. (2024)

Bildmaterial © Broadweigh – verwendet mit freundlicher Genehmigung für nicht-kommerzielle, technische Bildungszwecke. Quelle: Broadweigh Gen 3 Instructions & Broadweigh Ecosystem Flyer, Stand 2024.

Bildquellen von Prolyte im Whitepaper

Bildmaterial © Prolyte B.V. – verwendet mit freundlicher Genehmigung für technische und nicht-kommerzielle Bildungszwecke. Quelle: Prolyte Blackbook, Ausgabe 2023.