



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Medien-/Veranstaltungstechnik

Fachkunde Veranstaltungstechnik

1. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselderger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 60877

Autoren:

Fünders, Jochen – Selfkant

Hille, Roland – Jena

Honisch, Norbert – Köln

Lück, Michael – Oelde

Nies, Andreas – Aachen

Thomczek, Jan – Frankfurt

Zanini, Falco – Köln

Unterstützung:

Für die großzügige Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung der Kapitel 7 und 11 dieses Buches bedankt sich der Arbeitskreis „Fachkunde Veranstaltungstechnik“ besonders bei den Autoren des Arbeitskreises „Fachkunde Elektrotechnik“.

Verlagslektorat:

Dipl.-Ing. Andreas J. Nies

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Grafische Produktionen Neumann, Rimpar

1. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-6087-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Layout, Satz: Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: WOA Festival GmbH, Wacken; © Frédéric Prochasson, © Medienzunft Berlin,
@ fefufoto – stock.adobe.com sowie Fotos der Autoren

Druck: ((folgt))



Inhalte

„Fachkunde Veranstaltungstechnik“ ist das Standardwerk für den Einstieg in die Branche der Veranstaltungstechnik. In 11 Kapiteln werden die relevanten Gewerke durchleuchtet und die entsprechenden Normen und Vorschriften verständlich aufbereitet.

Zahlreiche farbige Abbildungen wecken das Interesse, erleichtern das Verständnis und beschleunigen den Wissenserwerb. In jedem Kapitel gibt es zahlreiche Wiederholungsfragen mit denen der Lernerfolg sowohl im schulischen

Kontext als auch im Selbststudium kontrolliert werden kann. Ein Farbleit-system erleichtert die Orientierung und das Wieder-Auffinden von bereits gelesenen Inhalten.

Zielgruppe

Autoren und Verlag empfehlen „Fachkunde Veranstaltungstechnik“ für Auszubildende im Beruf „Fachkraft für Veranstaltungstechnik“. Für Zusatzqualifikationen sowie für Meister und Meisterinnen für Veranstaltungstechnik dient das Werk zum Nachschlagen der Grundkenntnisse und als wertvolle Ergänzung. Beispiele für Zusatzqualifikationen sind: Sachkunde PSA, Pyrotechnik, Sachkunde für Veranstaltungsriggering, Grundlagen Theatertechnik, Sachkunde Traversen, Elektrofachkraft, Lichtdesign, Laserschutzbeauftragte und Grundlagen Medientechnik.

Die Autoren

Unter den Autoren sind Lehrer, Ingenieure und Unternehmer. Durch ihre jahrelange Erfahrung in der Veranstaltungstechnik und Lehrtätigkeit in wichtigen Fortbildungen der Branche ist ein praxisnahes Buch mit erprobten und relevanten Inhalten entstanden.

Feedback

Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de. Wir freuen uns über Ihre Hinweise und Verbesserungsvorschläge.

Sommer 2024



Inhaltsverzeichnis

1	Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	10	2.5	Abschränkungen und Schutzvorrichtungen	50
1.1	Rechtsgrundlagen Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	10	2.6	Barrierefreiheit	52
1.1.1	Das duale System im Arbeitsschutz, grundsätzliche Regelungen	10	2.7	Bestuhlung und Gänge	54
1.1.2	Stand der Technik, ISO/EN/DIN	11	2.8	Brandschutz	55
1.1.3	Betriebsmittel/Arbeitsmittel, Betriebssicherheitsverordnung, Prüfungen	11	2.8.1	Baulicher Brandschutz	55
1.1.4	Arbeitsstätten in Gebäuden und im Freien	12	2.8.2	Technischer Brandschutz	57
1.1.5	Gefahrstoffe, Gesundheitsschutz	12	2.8.3	Löschmittel, Löschanlagen und Löschgeräte	58
1.1.6	Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz	14	2.8.4	Brandschutzvorhang	59
1.2	Betriebliche Arbeitsschutzorganisation	16	2.8.5	Brandklassen, Löschvermögen und Anzahl von Feuerlöschern	60
1.2.1	Pflichten, Pflichtenübertragungen	16	2.9	Sicherheitsbeleuchtung	63
1.2.2	Gefährdungsbeurteilung und deren Folgen	17	2.10	Verantwortlichkeiten	65
1.2.3	Anweisungen und Unterweisungen	20	3	Mechanik	68
1.2.4	Koordination nach ArbSchG und BaustellV	21	3.1	Statik	68
1.3	Branchenspezifische Besonderheiten	22	3.1.1	Kräfte	68
1.3.1	DGUV Vorschrift 17/18	22	3.1.2	Kräftesummen	69
1.3.2	Absturzgefahr	23	3.1.3	Momente	70
1.3.3	Leitern und Tritte	24	3.1.4	Hebelgesetz	70
1.3.4	Besondere szenische Darstellung	25	3.1.5	Lastarten	71
1.3.5	Optische Gefährdung	26	3.1.6	Lasteinzugsbereiche	72
1.3.6	Effekte, feuergefährliche Handlungen und Pyrotechnik	27	3.1.7	Gleichgewichtsbedingungen (GGB)	73
1.3.7	Sicherheitstechnische Einrichtungen	30	3.1.8	Auflagerreaktionen	74
1.3.8	Lärm	30	3.1.9	Tragwerke	75
1.3.9	Kabelbrücken	33	3.1.10	Fachwerke	76
1.4	Brandschutz	34	3.1.11	Kippsicherheit	77
1.4.1	Rechtsgrundlagen des Brandschutzes	35	3.2	Kinetik	78
1.4.2	Brandursachen-Brandentstehung	36	3.2.1	Bewegungsarten	78
1.4.3	Brandschutzordnung und Pläne	37	3.2.2	Trägheitsgesetz und Wechselwirkungsgesetz	79
1.4.4	Brandverhalten von Baustoffen und Brandschutznachweise	39	3.2.3	Reibungskräfte	80
1.4.5	Abschalten von Brandmeldeanlagen	39	3.2.4	Federkraft	81
1.4.6	Brandbekämpfung	39	3.2.5	Fliehkraft	81
2	Versammlungsstätten	42	3.2.6	Impuls und Drehimpuls	82
2.1	Rechtsgrundlagen	43	3.2.7	Mechanische Arbeit	82
2.2	Anwendungsbereich der MVStättVO	45	3.2.8	Kraftumformende Einrichtungen	83
2.3	Besucherzahl	47	3.2.9	Energieerhaltungssatz	83
2.4	Rettungswege	48	3.2.10	Mechanische Energie	84
			3.2.11	Mechanische Leistung	84
			3.2.12	Wirkungsgrad	84
			3.3	Festigkeitslehre	85
			3.3.1	Werkstoffe	85
			3.3.2	Belastungen am Körper	89

3.3.3	Berechnung von inneren Spannungen	92	6.3.3	Genehmigungspflichtige Fliegende Bauten	153
3.3.4	Verbindungstechnik	98	6.3.4	Ausführungsgenehmigung und Prüfbuch	153
4	Rigging	100	6.4	Lastannahmen für Fliegende Bauten	155
4.1	Sicherheitsgrundsätze und Verantwortung	100	6.4.1	Lasten durch Begehung und Personenbesetzung	155
4.2	Ausbildung in Qualifizierungsstufen	101	6.4.2	Waagrechte Lasten auf Geländer und Brüstungen	161
4.3	Lastaufnahmeeinrichtung	102	6.4.3	Windlasten	164
4.3.1	Lastaufnahmemittel	102	6.4.4	Schneelasten	171
4.3.2	Tragmittel	104	6.5	Globale Standsicherheit	172
4.3.3	Anschlagmittel	105	6.5.1	Beispielhafter Nachweis der Kippsicherheit	173
4.4	Persönliche Schutzausrüstung (PSA)	109	6.5.2	Beispielhafter Nachweis der Gleitsicherheit	174
5	Bühnenmaschinerie	112	6.5.3	Unterpallung	175
5.1	Maschinentechnische Einrichtungen	113	6.6	Spezielle Fliegende Bauten	176
5.2	Obermaschinerie	114	6.6.1	Trailerbühnen	176
5.2.1	Kettenzüge	114	6.6.2	Traversenbühnen	177
5.2.2	Bandzüge	117	6.6.3	LED-Wände	180
5.2.3	Seilzüge	118	6.6.4	PA-Türme	183
5.2.4	Bewegliche Portalanlagen	124	6.7	Abschließende Aspekte bei der Planung	184
5.2.5	Stative	125	7	Energieversorgung	186
5.2.6	Hubarbeitsbühnen	126	7.1	Gefahren im Umgang mit dem elektrischen Strom	186
5.2.7	Abwurfssysteme	128	7.1.1	Wirkungen des elektrischen Stroms im menschlichen Körper	186
5.2.8	Vorhangschielen	128	7.1.2	Maßnahmen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	188
5.3	Untermaschinerie	129	7.1.3	Qualifikationen für Arbeiten in der Elektrotechnik	189
5.3.1	Hubpodien	129	7.1.3	Qualifikationen für Arbeiten in der Elektrotechnik	189
5.3.2	Bühnenwagen	133	7.1.4	Erste Hilfe	190
5.3.3	Drehscheiben	134	7.2	Grundbegriffe der Elektrotechnik	191
5.4	Steuerung maschinentechnischer Einrichtungen	136	7.2.1	Elektrische Spannung	191
5.4.1	Betriebsarten von Antrieben	140	7.2.2	Elektrischer Strom	194
5.5	Bühnentechnische Flächen und Aufbauten	141	7.2.3	Elektrischer Widerstand und Leitwert	198
5.5.1	Vorhänge	141	7.2.4	Elektrische Leistung	202
5.5.2	Geländer	142	7.2.5	Elektrische Arbeit	204
5.5.3	Podeste	143	7.3	Grundschaltungen der Elektrotechnik	205
5.5.4	Bodenbelag	145	7.3.1	Reihenschaltung	205
5.5.5	Bühnenboden	145	7.3.2	Parallelschaltung	209
6	Fliegende Bauten	150	7.3.3	Gemischte Schaltungen	211
6.1	Definition: Fliegende Bauten	150	7.3.4	Brückenschaltung	213
6.2	Beteiligte Personen und Abgrenzung der Tätigkeiten	151	7.3.5	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	215
6.3	Freistellungsgrenzen und Baubuch-Pflicht	151			
6.3.1	Anforderungen an Fliegende Bauten	151			
6.3.2	Verfahrensfreie Fliegende Bauten	152			

7.4	Elektrisches Feld	216	8.1.2	Elektromagnetisches Spektrum	284
7.4.1	Eigenschaften des elektrischen Feldes	216	8.1.3	Lichtstrom	285
7.4.2	Grundgrößen des elektrischen Feldes	217	8.1.4	Lichtausbeute	285
7.4.3	Kondensator	219	8.1.5	Lichtmenge	285
7.4.4	Schaltungen von Kondensatoren	223	8.1.6	Raumwinkel	285
7.5	Magnetisches Feld	224	8.1.7	Lichtstärke	286
7.5.1	Eigenschaften der Magnete und Darstellungshilfen	224	8.1.8	Leuchtdichte	287
7.5.2	Elektromagnetismus	226	8.1.9	Beleuchtungsstärke	287
7.5.3	Grundgrößen des magnetischen Feldes	228	8.1.10	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	288
7.5.4	Eisen im Magnetfeld einer Spule	229	8.2	Farbe	289
7.5.5	Strom und Magnetfeld	232	8.2.1	Definition	289
7.5.6	Spannungserzeugung durch Induktion	235	8.2.2	Farbtemperatur	289
7.6	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	236	8.2.3	Temperaturstrahlung	289
7.7	Wechselstromtechnik	238	8.2.4	Schwarzer Strahler	290
7.7.1	Kenngößen der Wechselstromtechnik	238	8.2.5	CIE-Farbenraum	290
7.7.2	Sinusförmige Wechselgrößen	240	8.2.6	Grundfarben in der Lichttechnik	290
7.7.3	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	244	8.2.7	Additive Farbmischung	290
7.8	Elektrische Anlagen	248	8.2.8	Subtraktive Farbmischung	291
7.8.1	Hauptstromversorgungssysteme	248	8.2.9	Farbwiedergabe	292
7.8.2	Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen	250	8.3	Optik	294
7.8.3	Netzsysteme	253	8.3.1	Reflexion, Absorption und Transmission	294
7.9	Schutzmaßnahmen	255	8.3.2	Abstrahlwinkel, Halbstreuwinkel und Lichtstärkeverteilung	294
7.9.1	Schutz gegen elektrischen Schlag	255	8.3.3	Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz	296
7.9.2	Automatische Abschaltung der Stromversorgung	256	8.3.4	Farbfilter	297
7.9.3	Doppelte oder verstärkte Isolierung	261	8.3.5	Spiegel	298
7.9.4	Schutztrennung	261	8.4	Linien	300
7.9.5	Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	262	8.5	Grundlagen des menschlichen Sehens	302
7.9.6	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	263	8.5.1	Aufbau des Auges	302
7.9.7	Differenzstrom-Überwachungseinrichtung	267	8.5.2	Adaptation	303
7.10	Prüfung elektrischer Anlagen und Geräte	268	8.5.3	Bedingungen für das Sehen	303
7.10.1	Erstprüfungen von ortsfesten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln nach DIN VDE 0100-600	269	8.6	Leuchtmittel	304
7.10.2	Wiederkehrende Prüfungen von elektrischen Anlagen und ortsfesten Betriebsmitteln nach DIN VDE 0105	276	8.6.1	Glühlampen	304
7.10.3	Wiederholungsprüfungen an elektrischen Geräten	280	8.6.2	Entladungslampen	306
8	Beleuchtungstechnik	284	8.6.3	LED	308
8.1	Physikalische Grundlagen	284	8.7	Scheinwerfer	310
8.1.1	Definition von Licht	284	8.7.1	Arten von Scheinwerfern	310
			8.7.2	Sicherheit im Umgang mit Scheinwerfern	313
			8.8	Dimmer	316
			8.8.1	Mechanische Dimmer	316
			8.8.2	Elektrische Dimmer	316
			8.8.3	Lastverteilungen	318
			8.9	Lichtsteuerung	320
			8.9.1	Lichtsteuerungen in der Praxis	320

8.9.2	Grundlegende Bedienelemente einer Lichtsteuerung	320	9.7.1	Allgemeines	392
8.9.3	Steuersignale	321	9.7.2	Verstärkerklassen	392
8.9.4	Ethernet-Netzwerk	323	9.7.3	Stromversorgung	392
8.10	Beleuchtung im Theater	325	9.7.4	Ausgangsleistung und Impedanz	392
8.11	Beleuchtung bei Film und Fernsehen	328	9.7.5	Verzerrungen und Eigenrauschen	393
8.12	Lichtgestaltung	330	9.7.6	Dämpfungsfaktor	394
8.12.1	Wirkung von Farben auf den Betrachter	330	9.7.7	Schutzschaltungen	394
8.12.2	Umgang mit Farben	331	9.8	Lautsprecher	395
8.12.3	Umsetzung des Lichtkonzeptes in die Praxis	332	9.8.1	Charakteristika	395
9	Tontechnik	334	9.8.2	Wandlerprinzipien und Chassistypen	397
9.1	Physikalische Grundlagen	334	9.8.3	Gehäusebauarten	399
9.1.1	Schwingungen und Schwingungsüberlagerungen	334	9.8.4	Lautsprecheranordnungen	402
9.1.2	Ausbreitung von Schall	335	9.8.5	Frequenzweichen und Filter	406
9.1.3	Schalldruck und Schalldruckpegel	337	9.8.6	In Ear Monitoring	407
9.1.4	Raumakustik	338	10	Medientechnik	410
9.2	Physiologische Grundlagen	339	10.1	Signalübertragungsarten	410
9.2.1	Das menschliche Gehör	339	10.1.1	Einleitung	410
9.2.2	Wahrnehmung von Schall	340	10.1.2	Analoge Signaltechnik	410
9.2.3	Räumliches Hören	342	10.1.3	Analoge Videoübertragungstechnik	411
9.2.4	Die ideale Stereo-Hörposition in der Praxis	343	10.1.4	Digitale Signaltechnik	413
9.3	Signalquellen	344	10.1.5	Digitale Videoübertragungstechnik	413
9.3.1	Mikrofone	344	10.1.6	Signalschnittstellen und Anschlüsse	414
9.3.2	Zuspielgeräte	349	10.2	Codec und Container	425
9.4	Signalübertragung	352	10.3	Kamerasysteme	430
9.4.1	Kabelverbindungen	352	10.3.1	Funktionsweise einer digitalen Kamera	430
9.4.2	Drahtlosverbindungen	359	10.3.2	Aufbau einer Kamera	431
9.4.3	Digitale Schnittstellen und Austauschformate	366	10.3.3	Anwendungsarten und Einsatzarten	432
9.5	Mischpulte	372	10.3.4	Smartphone-Kameras	434
9.5.1	Allgemeines	372	10.3.5	DSL-Kamera	436
9.5.2	Bauformen und Einsatzgebiete	372	10.3.6	Tragbare Kameras	438
9.5.3	Analoge und digitale Mischpulte im Vergleich	374	10.3.7	Studiokamera	440
9.5.4	Mischpult-Komponenten und Funktionen	375	10.3.8	Modulkamera	442
9.6	Signalprozessoren	382	10.3.9	Objektive	444
9.6.1	Allgemeines	382	10.3.10	Objektivarten	446
9.6.2	Lösungen als Hard- und Software	382	10.4	Signalquellen	450
9.6.3	Mono- und Stereokonfigurationen	383	10.4.1	DVD	450
9.6.4	Serielle Signalbearbeitung (Insert)	384	10.4.2	Blu-ray-Disk	451
9.6.5	Parallele Signalbearbeitung (Aux)	388	10.4.3	SD-Karte	451
9.7	Endstufen	392	10.4.4	HDD-Multimedia-Player	453
			10.4.5	Medienserver	453
			10.4.6	Dateisysteme	454
			10.5	Signalverarbeitung	456
			10.5.1	Videotechnik	456

10.5.2	Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)	457	11.5 Präsentation	501	
10.5.3	Topologien	458	11.5.1	Aufgaben einer Präsentation und Vorbereitung	501
10.5.4	Kabel	459	11.5.2	Visualisierung	502
10.5.5	Stecksystem	460	11.5.3	Vortragen einer Präsentation	503
10.5.6	Repeater	460	11.6 Projektmanagement	504	
10.5.7	Hub und Switch	460	11.6.1	Projektphasen	505
10.5.8	Videoskalierer	461	11.7 Auftrag und Umsetzung	506	
10.5.9	Bildmischer	462	11.7.1	Kundenerwartungen und Umgang mit dem Kunden	506
10.6 Bildwiedergabetechnik	463		11.7.2	Phasen eines Kundenauftrags	507
10.6.1	Hochleistungsprojektoren	463	11.7.3	Kundenservice	509
10.6.2	Videobeamer	465	11.8 Kalkulation und Angebot	510	
10.6.3	LED-Flächen und LED-Wände	468	11.8.1	Kalkulation im Industriebetrieb	511
10.6.4	Bildschirme	470	11.8.2	Kalkulation von Dienstleistungen	512
			11.8.3	Kalkulation im Handwerksbetrieb	512
			11.8.4	Rechnungsstellung	514
11 Beruf, Betrieb und Logistik	474		11.9 Qualitätsmanagement	515	
11.1 Geschichte der modernen Veranstaltungstechnik und -branche	474		11.9.1	Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff.	515
11.2 Gliederung der Veranstaltungsbranche	477		11.9.2	TQM-Methode	516
11.2.1	Tourneebetrieb	478	11.9.3	Qualitätswerkzeuge	517
11.3 Logistik	480				
11.3.1	Grundlagen der Logistik	480			
11.3.2	Lager, Lagereinrichtungen und -geräte	481			
11.3.3	Transport und Güterverkehr national und international	487			
11.3.4	Personal	490			
11.4 Berufliche Handlungskompetenz	493				
11.4.1	Teamarbeit	496			
11.4.2	Arbeitsmethoden und Zeitplanung	497			
11.4.3	Kommunikation	498			
11.4.4	Kreativitätstechniken	499			
11.4.5	Informationsbeschaffung	500			

Hinweis:

Bis eine gendergerechte Darstellung allgemein eingeführt werden kann, wird auch in diesem Buch nur ein grammatisches Geschlecht bei Berufs- und Gruppenbezeichnungen eingesetzt. Dieses generische Maskulinum umfasst sprachlich alle Menschen dieser Berufe und Gruppen, unabhängig vom biologischen Geschlecht.

1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz



10 ▶ Rechtsgrundlagen 11 ▶ TRBS • allgemein anerkannten Regeln der Technik • Stand der (Sicherheits-) Technik 12 ▶ Arbeitsstättenverordnung • Gefahrstoffverordnung 13 ▶ Gefahrenpiktogramme • **Wiederholungsfragen** 14 ▶ Brandschutzzeichen • Gebotszeichen • Rettungszeichen • **Sicherheitskennzeichnung** • Verbotsschilder • Warnzeichen 16 ▶ **Betriebliche Arbeitsschutzorganisation** • Pflichtenübertragung • Sicherheitsbeauftragte 17 ▶ Gefährdungsbeurteilung • Risikomaßzahl • Risikomatrix 18 ▶ Risikofaktor • S-T-O-P-Prinzip 19 ▶ Erste Hilfe • Verbandkästen 20 ▶ Betriebsanweisungen • Unterweisungen 21 ▶ Zusammenarbeit formell zu koordinieren 22 ▶ **Branchenspezifische Besonderheiten** • DGUV Vorschrift 17/18 • Eigensicherheit • Einfehlersicherheit 23 ▶ **Absturzgefahr** • Absturzkante • Rückhaltesystem 24 ▶ Leitern • Rollgerüste 25 ▶ Flugwerken • Stuntmaster 26 ▶ Laser • **Optische Gefährdung** • UV-Filter 27 ▶ **feuergefährliche Handlungen** 28 ▶ Brandsicherheitswache • Feuerspucken • Flammenprojektionen • Isopar 29 ▶ Pyrotechnik 30 ▶ **Lärm** • **Sicherheitstechnische Einrichtungen** • wiederkehrenden Prüfung 31 ▶ Beurteilungspegel 32 ▶ Freizeitlärmlassen • Immissionsschutzgesetz • **Wiederholungsfragen** 33 ▶ **Kabelbrücken** • Verkehrssicherungspflicht 34 ▶ **Brandschutz** 35 ▶ Rechtsgrundlagen • Versicherungsbedingungen 36 ▶ Brandentstehung • Brennbare Flüssigkeiten • Zündquellen 37 ▶ Brandschutz Helfer • Brandschutzordnung 38 ▶ Alarmplan • Feuerwehrpläne • Flucht- und Rettungswegepläne • Räumungskonzept 39 ▶ Brandbekämpfung • Brandmeldeanlagen • Brandverhalten von Baustoffen • Wandhydranten 40 ▶ Feuerlöscher 40 ▶ **Wiederholungsfragen**

Tabelle 1: Risikofaktor

Kategorie	Einordnung des Ergebnisses
hohes Risiko Risikofaktor 12 – 25	Risiken sind zwingend durch Schutzmaßnahmen zu minimieren. Ist das Risiko durch Anwendung von Schutzmaßnahmen nicht weiter minimierbar, kann der Vorgang nicht durchgeführt werden.
mittleres Risiko Risikofaktor 6 – 10	Risiken sind durch Schutzmaßnahmen zu minimieren. Ist das Risiko durch Anwendung von Schutzmaßnahmen nicht weiter minimierbar, kann der Vorgang bei Beachtung besonderer Sorgfalt durchgeführt werden.
geringes Risiko Risikofaktor 1 – 5	Akzeptabel bei geeigneter Überwachung oder bei Anwendung von Schutzmaßnahmen. Keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen erforderlich

Sobald sich aus der Bewertung des Risikos (**Tabelle 3, Seite 17**) ergibt, dass Sicherheitsmängel vorliegen, sind Schutzmaßnahmen abzuleiten und umzusetzen. Dabei sind zuerst technische Schutzmaßnahmen einzusetzen, erst danach organisatorische und zuletzt personenbezogene. Dies ergibt das sogenannte T-O-P-Prinzip (**Tabelle 2**). In manchen Zusammenhängen wird als erste Maßnahme ein Ersatz gefährlicher Tätigkeiten oder Arbeitsmittel, die Substitution, angestrebt. Es wird dann vom S-T-O-P-Prinzip gesprochen (**Tabelle 2**).

Bei der Erstellung der GBU soll sich der Unternehmer von fachkundigen Personen, wie z. B. Fachkräften für Arbeitssicherheit oder anderen Spezialisten, unterstützen lassen.

Die Wirksamkeit der festgelegten Maßnahmen ist regelmäßig, z. B. durch Begehungen oder Beobachtungen, zu überprüfen. Zusätzlich zu der Wirksamkeitskontrolle sollten GBUs in regelmäßigen Abständen, z. B. alle 3 bis 5 Jahre, überprüft werden.

Gefährdungsbeurteilungen sind außer als Erst-Beurteilung auch durchzuführen, wenn sich Verfahren, Organisation oder Regelwerke ändern. Besonders bei Neuanschaffungen von Maschinen ist die GBU bereits in den Beschaffungsprozess zu integrieren. Eine neue Veranstaltung, eine neue Tournee oder eine neue Produktion sind ebenfalls Anlässe für eine GBU. Zusätzlich sollten GBUs bei einer Häufung von Unfällen, Krankmeldungen oder Beschwerden überprüft und aktualisiert werden.

Tabelle 2: Rangfolge der Schutzmaßnahmen

1. Gefahrenquelle vermeiden/beseitigen (Substitution) Durch Arbeitsgestaltung, Auswahl geeigneter Technik, Arbeitsmittel und Arbeitsstoffe wird das Entstehen von Gefahrenquellen vermieden. (z. B. Hubarbeitsbühnen statt Leitern einsetzen)	S
2. Sicherheitstechnische Maßnahmen Maßnahmen, damit Gefahrenquellen nicht wirksam werden. Vorhandene oder zu erwartende Gefährdungen werden beherrscht. (z. B. Absturzsicherung wie Geländer oder Fallschutznetz)	T
3. Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen Durch organisatorische Maßnahmen wird verhindert, dass die Person einer Gefahrenquelle ausgesetzt wird. Dies kann durch zeitliche oder räumliche Trennung von Gefahrenquellen und Personen erreicht werden. (z. B. Abstand zu Gefährdungen, freie Bühne bei Rig-Fahrten, erforderliche Qualifikation)	O
4. Persönliche Schutzausrüstungen (PSA) verwenden (personenbezogen) PSA werden zur Verringerung der Verletzungs- und Erkrankungsrisiken eingesetzt. (z. B. Helm, Sicherheitsschuhe, Gehörschutz)	P
5. Verhaltensbezogene Sicherheitsmaßnahmen (personenbezogen) Wirkung von Gefahrenquellen wird durch ein sicherheitsgerechtes Verhalten der Beschäftigten verringert. (z. B. Unterweisungen, Betriebsanweisungen, Hinweise)	

1.3.4 Besondere szenische Darstellung

Neben der Darbietung von Musik, Gesang, Sprache oder optischen Showeffekten können **besondere szenische Darstellungen** den künstlerischen Ausdruck unterstützen oder alleinig den Mittelpunkt einer Aufführung darstellen. Dies sind z. B. Artistik und Akrobatik, sportliche Aktionen sowie die Mitwirkung von Tieren oder Waffen. Bei diesen Darstellungen besteht ein **besonders hohes Risiko von Verletzungen bis hin zum Tod des Akteurs**. Daher sind hier besonders strikte Schutzmaßnahmen anzusetzen, um mögliche Auswirkungen so weit wie möglich zu beherrschen und zu minimieren.

Nachfolgend werden einige Darstellungen beschrieben, bei denen die Fachkraft für Veranstaltungstechnik aktiv werden kann und ggf. muss.

Bei besonderen szenischen Darstellungen muss der Unternehmer besondere Sorgfalt darauf verwenden, nur tatsächlich geeignete Personen einzusetzen und die Darstellungen von fachlich geeigneten Personen beaufsichtigen zu lassen.

Je nach Vorhaben müssen weitere Spezialisten für eine individuelle Gefährdungsbeurteilung hinzugezogen werden, wie z. B. Waffenexperten oder Stuntmaster. Die geplanten Einsätze oder Szenen sind ausreichend zu proben. Ausführliche Informationen bietet die **DGUV Information 215-315 Besondere szenische Darstellungen**.

Bei manchen Darstellungen werden Abstürze als dramaturgisches Element genutzt und Absturzsicherungen oder Auffangeinrichtungen sollen nicht verwendet werden. In diesem Fall sind bei Darstellungen mit Absturzhöhen bis 3 m Vorkehrungen zu treffen, dass die abstürzende Person die Absturz- bzw. Absprungkante deutlich erkennt und sicher auf dem Boden landet. Dies wird u. a. dadurch erreicht, dass der Aufprallbereich mit nachgiebigen, den Fall absorbierenden Maten abgedeckt wird und dort keine Gegenstände stehen oder liegen, die eine Verletzung ermöglichen. Ab 3 m Absturzhöhe muss ein Stunt Coordinator oder Trainer die Stürze betreuen.

Unmittelbar mit Absturzgefahr verbunden sind **Artistik und Akrobatik**, da hier häufig Arbeitsmittel wie z. B. Vertikalstangen, Trapeze und anderes verwendet werden, um die Darstellungen darauf, daran oder damit durchzuführen (**Bild 1**).

Für einen sicheren Stand oder eine sichere Aufhängung werden diese Arbeitsmittel mit geeigneten, **von der jeweiligen Location bereitgestellten Anschlagpunkten verbunden** oder auf geeigneten Flächen aufgestellt. Die Eignung der Anschlagpunkte ist von den Darstellern persönlich zu prüfen und **die Arbeitsmittel sind vom Darsteller selbst aufzubauen**.

Dabei sind möglichst geeignete Materialien, wie z. B. Normteile zu verwenden, die der Auftraggeber bzw. Veranstalter auf diese Weise nachvollziehbar überprüfen kann. Eine Sonderform der besonderen szenischen Darstellung findet sich im sogenannten *Fliegen von Personen*.

Detaillierte Auskunft gibt die **DGUV Information 215-320 Arbeitsmittel zum szenischen Bewegen von Personen**. Hierunter verstehen sich Darstellungen, bei denen Personen an oder in sogenannten Flugwerken hängen und im Raum bewegt werden. Hierbei kann ein Fliegen, Schweben oder Fallen dargestellt werden. In manchen Flugwerken sind Rotationen um alle Achsen möglich. Als Flugwerk gelten auch an Punktzügen aufgehängte Plattformen (**Bild 2**) oder Lifte.



Bild 1: Personen im Fluggeschirr



Bild 2: Schwebende Plattform

Feuergefährliche Handlungen

Ein weiterer „special effect“ sind **feuergefährliche Handlungen**. Hierunter werden alle Handlungen verstanden, bei denen mit Feuer umgegangen wird, z. B. Feuerspucken, Tragen von Fackeln oder Flammen in Form von Flammenstößen.

Da nach den Versammlungsstättenverordnungen der Länder die Verwendung von offenem Feuer, brennbaren Flüssigkeiten, Gasen und Pyrotechnik zunächst verboten ist, sind hier **Gefährdungsbeurteilungen** zu erstellen und besondere Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Sollten feuergefährliche Handlungen geplant werden, sind der Betreiber der Versammlungsstätte und die örtliche Brandschutzdienststelle vorher mit einzubeziehen. In der Regel werden die Anwesenheit einer Brandsicherheitswache und weitere Vorsichtsmaßnahmen vorgeschrieben.

Feuergefährliche Handlungen, besonders im Publikumsbereich, sind **ausreichend zu proben** und Einsatzkräfte sowie alle Beteiligten sind einzuweisen. Zu den üblichen feuergefährlichen Handlungen zählen das Tragen von Fackeln oder das Feuerspucken. Dabei sollten **Sicherheitsfackeln** genutzt werden, die selbsttätig beim Loslassen verlöschen. **Feuerspucken** darf nur von erfahrenen Feuerspuckern unter Beachtung der Schutzmaßnahmen und Einsatz zugelassener Flüssigkeiten durchgeführt werden.

Obwohl dies bereits herstellerseitig verboten ist, zählt das Abbrennen von Wunderkerzen im Zuschauerraum ebenfalls zu den üblichen feuergefährlichen Handlungen. Wunderkerzen erzeugen giftige Gase und sind nicht für den Einsatz in Innenräumen vorgesehen.

Eindrucksvolle und kräftige **Flammenprojektionen** können mittels Flüssiggas (**Bild 1 und Bild 2**) erzeugt werden. Hierzu sind auf dem Markt spezielle **Showflammenanlagen** erhältlich, die einen sicheren Umgang mit Flüssiggas unter Beachtung der Bestimmungen ermöglichen. Hierbei ist z. B. die **DGUV Vorschrift 79 Flüssiggas** zum Umgang, zum Transport und zur Lagerung von Flüssiggas zu beachten. Besonderes Augenmerk muss auf die Verlegung und den Anschluss der temporären Leitungen gelegt werden. Als weitere Sicherheitsmaßnahme muss eine Flammenüberwachung stattfinden, sodass ohne Zündflamme kein Gas austreten kann.

Eine andere Möglichkeit, Flammen auf der Bühne zu erzeugen, besteht darin, **Flammenanlagen mit Isopropanol oder Isopar(raffin)** zu betreiben (**Bild 3**). Dieses wird in einem **Druckbehälter mit Treibgas versetzt**, kontrolliert über Düsen versprüht und dabei gezündet wird. Hierbei sind alle Vorschriften und **technischen Regeln zum Betrieb von Druckgasanlagen (BetrSichV)** zu beachten und befähigte bzw. sachkundige Personen einzusetzen, die die Anlagen installieren und betreiben. Zusätzlich sind die **Druckanlagen** durch eine zugelassene Überwachungsstelle regelmäßig zu prüfen.

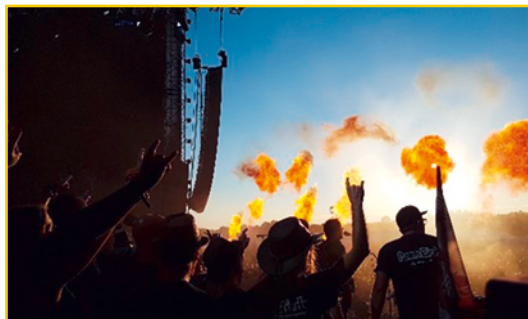


Bild 1: Showflammenprojektion



Bild 2: Flüssiggas-Flammen



Bild 3: Flammen mit Isopar

1.3.9 Kabelbrücken

Die temporäre Verlegung von Kabeln auf Fußböden in Gebäuden oder im Freien gehört zu einer der häufigsten Aufgaben in der Veranstaltungstechnik. Im Idealfall können diese entlang von Wänden verlegt werden. Sollen Kabel im Raum bzw. auf der Fläche verlaufen (zu den grundsätzlichen Verlegearten [siehe Kapitel 4.8.4](#)), sind diese vor jeder Art von mechanischen Einflüssen wie z. B. darauf treten, überrollt werden usw. zu schützen.

Dies gilt umso mehr für den Schutz von Signalleitungen. Die Grundlage dafür geben u. a. die DIN VDE 0100-711, die Arbeitsstättenrichtlinien und die VStättVO der Länder.

Als Schutz werden entweder Gummiriefenmatten benutzt oder **Führungssysteme für Kabel und Leitungen** nach DIN EN 61537 VDE 0639 (**Bild 1**).

Umgangssprachlich werden diese Führungssysteme häufig **Kabelbrücken** und in der Veranstaltungsbranche auch nach dem ersten Hersteller *Yellow Jacket* genannt.

Der Einsatz von Kabelbrücken dient dabei also in erster Linie nicht dazu, Stolpergefahren im Sinne der Verkehrssicherungspflicht zu reduzieren. Dennoch sollte auf eine möglichst barrierefreie Verlegung geachtet werden.

Kabelbrücken existieren in vielen verschiedenen Größen vom Netzkabel bis zu Starkstromkabel. Es sollten immer passende Größen verwendet werden.

In **Bild 2** ist ein Produkt zu sehen, in dem mehrere Kanälelemente nebeneinander liegen und mit sehr flachen Rampenelementen ergänzt wurden. Diese ermöglichen ein einfaches Überfahren mit Transportkisten (Cases), Transportwagen (Dollies) oder Rollstühlen.

In der Praxis ist auch zu beachten, dass vor Türen im Verlauf von Fluchtwegen keine Schwellen vorhanden sein dürfen. Damit verbietet sich die Verlegung von Kabeln vor Türen generell – auch geschützt von einer Matte oder einer Kabelbrücke.

Im Freien gilt die Kabelbrücke als Hindernis bzw. Gefahrenstelle, vor der der Verantwortliche mit entsprechenden Hinweisschildern andere Verkehrsteilnehmer, wie z. B. Fahrradfahrer, warnen muss.



Bild 1: Kabelbrücken offen und geschlossen



Bild 2: Barrierefreie Kabelbrücken



© Steffen und Lindner GmbH

Bild 1: Feuerlöscher richtig einsetzen – DGUV-Information 205-039

Wiederholungsfragen

1. Welche Arten von Brandschutz kennen Sie und in welche Rangfolge werden diese angewendet?
2. Informieren Sie sich über die Brandschutzmaßnahmen in Ihrem Betrieb und ordnen Sie diese der Rangfolge aus Nr. 1 nach ein.
3. Was ist in diesem Zusammenhang bei Batterieladepunkten für Elektrostapler aber auch andere Batteriegetriebene (z.B. Li-ion Akku) Geräte zu beachten?
4. Beschaffen Sie sich die ASF und vergleichen Sie diese mit Ihrer betrieblichen Praxis. Nennen Sie Abweichungen
5. Nennen Sie die konkreten Brandrisiken in Ihrem Betrieb.
6. Welche Person berät und unterstützt den Unternehmer bei Brandschutzfragen?
7. Mit welchen Dokumenten wird der betriebliche Brandschutz und Notfallmaßnahmen unterstützt und dokumentiert?
8. Was ist bei der Abschaltung von Brandmeldeanlagen zu beachten? Kann eine Location dies verweigern?
9. Was tun Sie nach Entdecken eines Brandes, in welcher Reihenfolge?

2 Versammlungsstätten



43 ▶ Rechtsgrundlagen • Landesbauordnungen • Musterbauordnung **44 ▶** Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO) • Versammlungsstättenverordnung **45 ▶ Anwendungsbereich der MVStättVO** • Im Freien • Versammlungsräume **46 ▶** Ausnahmen **47 ▶ Besucherzahl** • Bemessungsformel • bestimmungsgemäßer Benutzung • Personenzahl **48 ▶ Rettungswege** • Anzahl • Entfernung • Mindestbreite **49 ▶ Kennzeichnung** • Türen **50 ▶ Abschrankungen und Schutzvorrichtungen** • Bühne • Stufenreihen **51 ▶** Crash-Barriers • Graben • Mannesmann-Gitter • Polizeigitter **52 ▶ Barrierefreiheit** • Zwei-Kanal-Prinzip • Zwei-Sinne-Prinzip **53 ▶** KfZ-Parkplätze • **Rollstuhlbenutzer** **54 ▶ Bestuhlung und Gänge** • Sitzplatzreihen • Treppenstufen **55 ▶ Brandschutz** • Baulicher Brandschutz • Baustoffklassen • Feuerwiderstandsklassen **56 ▶** Brandabschnitte • Brandschutzverglasungen • Feuerschutztüren • Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) • Rauchschutztüren **57 ▶ Technischer Brandschutz** **58 ▶** Feuerlöschanlagen • Gaslöschanlage • Löschwasserleitungen • Sprinkleranlage • Sprühwasser-Löschanlage • Wandhydranten **59 ▶ Brandschutzvorhang** • Feuerlöscher • Löschdecke **60 ▶** Anzahl von Feuerlöschern • **Brandklassen** **61 ▶** Löschmitteleinheiten • Löschvermögen **63 ▶ Sicherheitsbeleuchtung** • Antipanikbeleuchtungen • Ersatzbeleuchtungen • Sicherheitsbeleuchtungen **64 ▶** Hervorzuhebende Stellen **65 ▶ Verantwortlichkeiten** • Anforderungen • Betreiberpflichten • Instandhaltung • Prüfung • Veranstaltungsleiter • Verantwortlichen für Veranstaltungstechnik (VfV) **66 ▶** Personalanforderungen • **Wiederholungsfragen**

2 Versammlungsstätten



Bild 1: Römische Versammlungsstätte „Kolosseum“

Orte, an denen Veranstaltungen stattfinden nennt man, da sich hier eine große Zahl von Menschen versammelt, Versammlungsstätten. Versammlungsstätten gab es bereits sehr früh in der Menschheitsgeschichte. So kannten die Römer beispielsweise Theater mit halbrunden Zuschauerräumen und Amphitheater¹ mit Zuschauerräumen in Form eines geschlossenen Ovals. Ein berühmtes Exemplar eines bis heute erhaltenen römischen Amphitheaters ist das Kolosseum in Rom (**Bild 1**).

Große Menschenansammlungen in Bauwerken bergen immer besondere Gefahren. Um diesen zu begegnen, gab es von der Antike bis heute immer Vorschriften dazu, wie die entsprechenden Versammlungsstätten aussehen mussten. Heute werden diese Vorschriften Baurecht genannt. Historische Beispiele für baurechtliche Vorschriften sind das „Corpus Juris“ aus dem römischen Reich sowie der „Schwabenspiegel“, der „Sachsenspiegel“ und das „Stangenrecht“ aus dem Mittelalter.

Im Jahre 27 kam es in Fidenae, nördlich vom antiken Rom, zu einer massiven Katastrophe, die ca. 50000 Menschenleben kostete. Dort wurde im Auftrag von Kaiser Tiberius unter Aufsicht eines entlassenen Sklaven ein hölzernes Amphitheater errichtet. Aufgrund vieler Konstruktionsfehler stürzte das Theater am Eröffnungstag ein. Anschließend wurden die ersten strengen Baugesetze erlassen, die sich unter anderem auf die finanzielle Leistungsfähigkeit des Bauherrn und die Standsicherheit bezogen. Nach dem Brand von Rom 67 n. Chr. erließ Kaiser Nero weitere Bauvorschriften.

Die heute in Deutschland gültigen baurechtlichen Grundlagen sind die Bauordnungen der Bundesländer sowie im Bereich von Veranstaltungen die jeweiligen Versammlungsstättenverordnungen. Diese werden in **Kapitel 2.1** behandelt.

Ziel der oben genannten Rechtsvorschriften war und ist es, Schäden an Personen und Sachgütern zu vermeiden. Hierzu wird zunächst die Besucherzahl auf ein verantwortbares Maß beschränkt (**Kapitel 2.3**). Weiterhin gibt es Vorschriften, die bei einer sicheren und schnellen Evakuierung im Gefahrenfall helfen sollen. Hierzu zählen die Bestuhlungs-Vorschriften (**Kapitel 2.4**), die Regelungen zu den Rettungswegen (**Kapitel 2.5**), die Vorschriften zur Barrierefreiheit (**Kapitel 2.7**) sowie die Sicherheitsbeleuchtung (**Kapitel 2.9**). Zur Gefahrenprävention und -abwehr gibt es darüber hinaus Brandschutzvorschriften (**Kapitel 2.10**) und eine klare Festlegung von Verantwortlichkeiten (**Kapitel 2.11**).

¹ amph (griech.) = ringsherum

2.1 Rechtsgrundlagen

Die heute gültigen rechtlichen Voraussetzungen für den Bau von Gebäuden in Deutschland werden unter dem Begriff „Baurecht“ zusammengefasst. Wenn es um Versammlungsstätten geht, bewegt man sich dabei im Bereich des Bauordnungsrechtes (**Bild 1**). Das grundlegende Element des Bauordnungsrechtes sind die jeweiligen Landesbauordnungen (LBOs).

☀ Die Regulierung von Bauvorhaben obliegt in der Bundesrepublik Deutschland den Bundesländern.

Um die verschiedenen Bauordnungen der Länder zu vereinheitlichen, wird von der Bauministerkonferenz die sogenannte **Musterbauordnung (MBO)** herausgegeben. Die Bauministerkonferenz, auch genannt ARGEBAU, bezeichnet das jährliche Zusammentreffen der Fachminister und Senatoren des Fachbereiches aus allen Bundesländern.

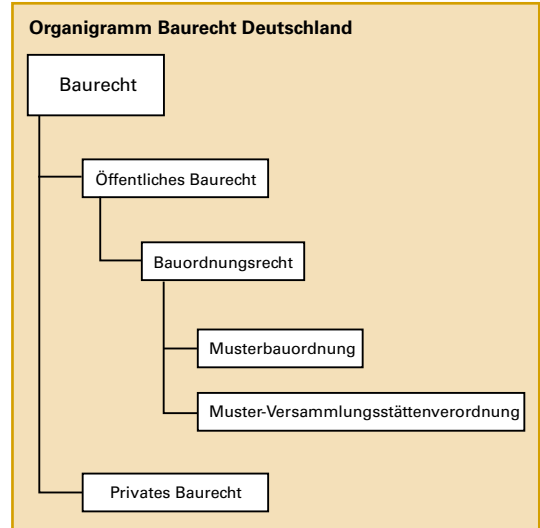


Bild 1: Baurecht in Deutschland

☀ Die Musterbauordnung dient den Ländern als Vorlage bei der Erstellung und Änderung ihrer jeweiligen **Landesbauordnungen**. Im Einzelnen können die Regelungen jedoch davon abweichen.

Tabelle 1 kann entnommen werden, welche Verordnung für das jeweilige Bundesland gilt und wann sie zuletzt geändert wurde.

Tabelle 1: Umsetzung der Musterbauordnung in den Ländern

Titel	Abkürzung	Datum	Letzte Änderung
Landesbauordnung für Baden-Württemberg	LBO	05.03.2010	18.07.2019
Bayerische Bauordnung	BayBO	14.08.2007	25.05.2021
Bauordnung für Berlin	BauO Bln	26.09.2005	14.05.2020
Brandenburgische Bauordnung	BbgBO	17.09.2008	20.05.2016
Bremische Landesbauordnung	BauO	04.09.2018	14.05.2019
Hamburgische Bauordnung	HBauO	14.12.2005	28.01.2014
Hessische Bauordnung	HBO	28.05.2018	03.06.2020
Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern	LBauO M-V 2015	15.10.2015	19.11.2019
Niedersächsische Bauordnung	NBauO	03.04.2012	10.11.2021
Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen – Landesbauordnung 2018	BauO NRW 2018	21.07.2018	02.07.2021
Landesbauordnung Rheinland-Pfalz	LBauO	24.11.1998	15.06.2015
Landesbauordnung (Saarland)	LBO	18.02.2004	15.07.2015
Sächsische Bauordnung	SächsBO	28.05.2004	20.03.2020
Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt	BauO LSA	10.09.2013	17.07.2014
Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein	LBO	22.01.2009	29.11.2018
Thüringer Bauordnung	ThürBO	13.03.2014	22.03.2016

Ausnahmen

In vier Ausnahmefällen findet die MVStättVO keine Anwendung: Erstens bei Räumen, die dem Gottesdienst gewidmet sind, zweitens bei Unterrichtsräumen in allgemein- und berufsbildenden Schulen, drittens bei Ausstellungsräumen in Museen und viertens bei Fliegenden Bauten.

☀️ Wenn Anlagen, die laut Baugenehmigung für andere Zwecke gedacht sind, im vorliegenden Fall als Versammlungsstätte genutzt werden, muss die MVStättVO angewendet werden. Die oben genannten Ausnahmen sind, solange die Zweckbindung nicht erfüllt wird, nicht gültig.

Räume, die dem Gottesdienst gewidmet sind: Wichtig ist, dass diese bereits in der Baugenehmigung als solche deklariert worden sein müssen. Dann gilt die Verordnung während der Dauer des Gottesdienstes nicht (**Bild 1**). Wird allerdings eine andere Veranstaltung, beispielsweise ein Konzert eines Orchesters dort abgehalten, müssen die Regeln der (M)VStättVO beachtet werden (**Bild 2**).

Unterrichtsräume: Zu beachten ist, dass die Ausnahme nur allgemeinbildende und berufsbildende Schulen betrifft, beispielsweise also keine Universitäten mit eingeschlossen sind. Auch in den Schulen gilt die Ausnahme nur für Unterrichtsräume, nicht aber für Aulen, Mehrzweckhallen oder Pausenräume. Darüber hinaus ist auch hier die Zweckbindung maßgeblich. Für eine Abschlussfeier oder eine Schuldisco in einem besonders großen Unterrichtsraum wäre z. B. die (M)VStättVO anzuwenden.

Ausstellungsräume in Museen: Betroffen sind ausdrücklich nur die Ausstellungsräume der Museen, da dort ein großer Teil des Platzes von den Ausstellungsgegenständen eingenommen wird (**Bild 3**). Bewirtungsflächen, Veranstaltungsräume, Tagungsräume, Eingangshallen oder ähnliche Einrichtungen innerhalb von Museen zählen nicht dazu. Zudem können auch die Ausstellungsräume bei entsprechenden Umnutzungen ihren Ausnahmestatus zeitweise verlieren. Ein Beispiel hierfür wäre die Verwendung der Ausstellungsfläche für einen Vortrag mit mehr als 200 Zuhörern.

Fliegenden Bauten: Fliegende Bauten sind Anlagen für die temporäre Aufstellung, die wiederholt auf- und abgebaut werden können (**Bild 4, s. Kapitel 6**). In der neuesten Version der MVStättVO wird explizit betont, dass Versammlungsstätten im Freien, Sportstadien und Freisportanlagen nur für die Anwendung der Verordnung infrage kommen, wenn sie keine Fliegenden Bauten sind.

Über die Art der Nutzung(en) entscheidet grundsätzlich der Bauherr im Bauantrag. Wird zu einem späteren Zeitpunkt ein anderer Gebrauch beabsichtigt, ist eine neue Genehmigung erforderlich:

” **MBO § 59:** „Die Errichtung, Änderung und Nutzungsänderung von Anlagen bedürfen der Baugenehmigung, soweit ... nichts anderes bestimmt ist.“

Sollen z. B. Sporthallen oder Lagerhallen vorübergehend für Konzerte, Karnevalsveranstaltungen oder sonstige Feiern genutzt werden, ist die Genehmigung der Nutzungsänderung erforderlich. Dabei kann es vorkommen, dass die genehmigenden Behörden zusätzliche Maßnahmen vorschreiben. Ein begrenztes Element sind bei Nutzungsänderungen häufig die Kapazitäten der Rettungswege (**s. Kapitel 2.6**).



Bild 1: Gottesdienst



Bild 2: Konzert in einer Kirche



Bild 3: Ausstellung im Museum



Bild 4: Fliegende Bauten bei einem Musikfestival

Rettungswege: Bei Richtungsänderungen und Kreuzungspunkten müssen Rettungszeichenleuchten oder beleuchtete Rettungszeichen sein (**Bild 1, Seite 63**). An jeder Stelle des Rettungsweges muss mindestens ein Rettungszeichen erkennbar sein. Die für die Rettungswege notwendigen Treppen und Flure sowie deren Verbindungen müssen Sicherheitsleuchten haben.

Besucherräume: Die Versammlungsräume sowie alle für Besucher zugängigen Räume (z. B. Toiletten, Foyers und Garderoben) müssen Sicherheitsleuchten haben.

Bereiche für Mitwirkende: Räume für Mitwirkende mit Ausnahme von Büroräumen müssen über Sicherheitsbeleuchtung verfügen, wenn sie größer als 20 m² sind. Unabhängig von der Fläche gilt dies auch für Bühnen, Szenenflächen, Bildwerferräume, Scheinwerferräume sowie elektrische Betriebsräume und Räume für haustechnische Anlagen.

Hervorzuhebende Stellen

Einige Orte in Versammlungsstätten sind durch Sicherheitsbeleuchtungen besonders hervorzuheben. So müssen Stellen mit erhöhter Sturzgefahr wie Stufen, Treppen, Rampen, Podeste und sonstige Niveauänderungen im maximalen horizontalen Abstand von 2 m eine Sicherheitsbeleuchtung aufweisen.

Außerdem gilt dies für Feuerlöscher, Feuermelder, sonstige Einrichtungen zur Brandbekämpfung, Erste-Hilfe-Einrichtungen und alle relevanten Einrichtungen für Menschen mit Behinderung (Toiletten, Schutzbereiche, Kommunikationseinrichtungen, Alarminrichtungen und Fluchtgeräte).



Bild 1: Sicherheitsbeleuchtung markanter Stellen

Einschalten der Sicherheitsbeleuchtung

☀ Die Sicherheitsbeleuchtung in Versammlungsstätten muss eingeschaltet sein, sobald sich Personen in den Räumen aufhalten.

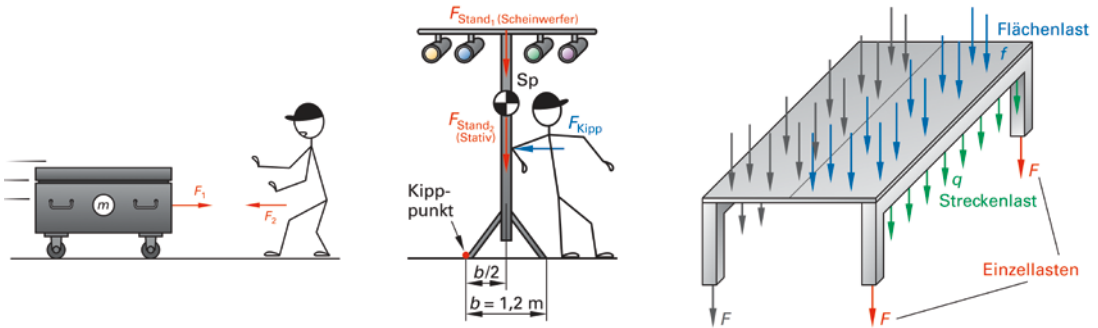
Eine Zuwiderhandlung stellt eine Ordnungswidrigkeit nach § 47 der MVStättVO dar. Hiervon gibt es nur zwei Ausnahmen: Erstens, wenn die Räume ausreichend durch das Tageslicht erhellt sind. Zweitens, wenn die Räume betriebsmäßig verdunkelt sein müssen, wie z. B. bei Theatervorstellungen. In diesem Falle muss aber einerseits die Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsstellung gehalten werden und andererseits müssen Ausgänge, Gänge und Stufen jederzeit weiter beleuchtet sein¹. Bereitschaftsstellung bedeutet laut VDE ein automatisches Einschalten nach spätestens 1 s, sobald die Netzspannung ausfällt.

☀ Die Sicherheitsbeleuchtung fliegender Bauten muss bei Dunkelheit gleichzeitig mit der Hauptbeleuchtung eingeschaltet werden.

Die Sicherheitsbeleuchtung muss sowohl in fliegenden Bauten als auch in Versammlungsstätten bei Netzausfall mindestens 3 Stunden lang leuchten können.

¹ Bei Gängen in Versammlungsräumen mit auswechselbarer Bestuhlung sowie bei Sportstadien mit Sicherheitsbeleuchtung ist eine Stufenbeleuchtung nicht erforderlich (MVStättVO).

3 Mechanik



68 ▶ Statik • Kräfte **69 ▶ Kräftesummen** • Lineare Kräftesysteme • Zentrale Kräftesysteme
70 ▶ Biegemoment • Drehmomente • Hebelgesetz **71 ▶ Einzellast** • Flächenlast • **Lastarten** •
 Linienlast • Punktlast • Streckenlast **72 ▶ Dreieckslast** • Lasteinzugsbereiche • Trapezlast
73 ▶ Gleichgewichtsbedingungen **74 ▶ Auflagerreaktionen** • Einspannung • Festlager •
 Loslager • statisch bestimmt • statisch unbestimmt • Wertigkeit **75 ▶ Flächentragwerke** •
 Stabtragwerke • **Tragwerke** **76 ▶ Abzählformel** • Fachwerke • Knoten • Stäbe • Stabwerke
77 ▶ Kippmoment • **Kippsicherheit** • Kippsicherheitsnachweis • Standmoment
78 ▶ Kinetik • Beschleunigte Kreisbewegung • Gleichförmige geradlinige Bewegung • Gleichförmige
 Kreisbewegung • Gleichmäßig beschleunigte Bewegung **79 ▶ Beschleunigungsrampe** •
 Hubdynamik • Trägheitsgesetz • Wechselwirkungsgesetz **80 ▶ Gleitreibungszahl** •
 Haftreibungszahl • Reibungskräfte • Rollreibungszahl **81 ▶ Federkraft** • Fliehkraft • Zentrifugalkraft
82 ▶ Impuls • Mechanische Arbeit **83 ▶ Energieerhaltungssatz** • Flaschenzug • Hebel • Rolle
84 ▶ Mechanische Energie • Mechanische Leistung • Wirkungsgrad **85 ▶ Festigkeitslehre** •
 Metalle **87 ▶ Holz** **88 ▶ Brandverhalten** • Kunststoffe **89 ▶ Bauteilnachweis** • **Belastungen am Körper** •
 Betriebskoeffizienten • Teilsicherheitskonzept **90 ▶ Biegung** • Druckkraft • Knickung •
 Scherung • Torsion • Zugkraft **91 ▶ Flächenträgheitsmoment** • Widerstandsmoment **92 ▶ Eulerfälle** •
innere Spannungen **95 ▶ Biegemomentverlauf** **97 ▶ Beanspruchung Lochleibung** **98 ▶ Formschlüssige** •
 Kraftschlüssige • Stoffschlüssige • **Verbindungstechnik** • **Wiederholungsfragen**

3.1.3 Momente

Momente (Drehmomente) werden in der Mechanik als Kraft F mit einem bestimmten Wirkabstand r um einen Punkt definiert. Ein Moment ohne entsprechendes Gegenmoment bewirkt eine Drehung eines Körpers um einen Punkt. Es ist eine gerichtete Größe und wird mit dem Formelbuchstaben M bezeichnet. Dabei liegt der Berechnung die Kraft mit einer rechtwinklig zum Radius verlaufenden Wirkungslinie zugrunde. Verläuft die Wirkungslinie nicht rechtwinklig zum Radius, so wird die Kraft in Komponenten zerlegt. Verläuft die Wirkungslinie durch den Drehpunkt, besitzt die Kraft keinen senkrecht zum Drehpunkt liegenden Wirkabstand; sie erzeugt dann kein Moment.

Bewirkt eine Kraft das Kippen eines Bauteils um den Auflagepunkt, wird dies als Kippmoment bezeichnet. Führt eine Kraft zur Biegung eines Bauteils, nennt man dies Biegemoment (**Bild 1**).

Nach der gängigen Vereinbarung haben Momente, die im Uhrzeigersinn wirken (also in mathematisch negativer Richtung), negative Werte. Momente entgegen dem Uhrzeigersinn (also in mathematisch positiver Richtung) haben positive Werte. Als zusätzliche Kennzeichnung der Wirkrichtung werden kreisförmig gebogene Pfeile mit der jeweiligen Drehrichtung verwendet:

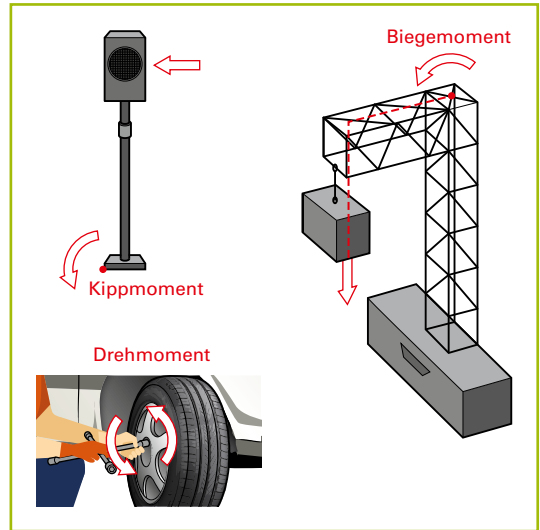


Bild 1: Dreh-, Kipp- und Biegemoment

Moment	
Formelbuchstabe:	M
Einheit:	Newtonmeter
Einheitszeichen:	Nm
Formel	$M = F \cdot r$
M Moment	
F Kraft	
r Radius	

- ☀ M : positiver Wert
- ☾ M : negativer Wert

3.1.4 Hebelgesetz

Ein an einem Drehpunkt beweglich gelagerter Körper ist im Gleichgewicht, wenn die Summe der auf ihn wirkenden Drehmomente gleich null ist.

☀ $M_1 = M_2$
 $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$

Der senkrechte Abstand r vom Angriffspunkt der Kräfte zum Drehpunkt wird Hebelarm genannt. Bei einseitigen Hebeln wirken die Kräfte auf einer Seite, bei zweiseitigem Hebel auf beiden Seiten des Drehpunktes (**Bild 2**).

Praktisch kann bei zweiseitigen Hebeln das fünffache Gewicht mit einem gegenüberliegenden Hebelarm, der fünfmal so lang ist, aufgewogen werden. Bei einem einseitigen Hebel benötigt man mit einem fünfmal so langen Hebelarm nur ein Fünftel der Kraft.

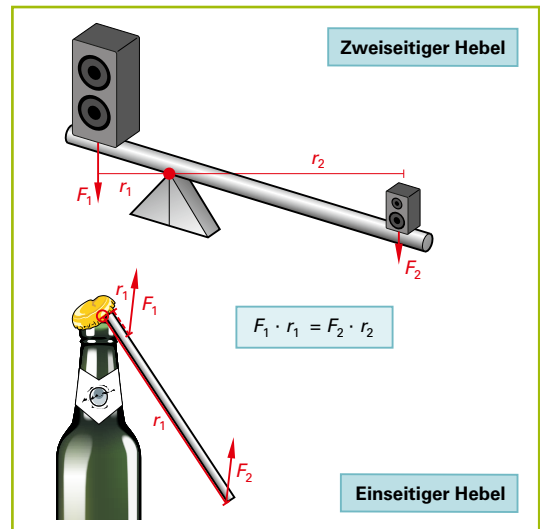


Bild 2: Einseitiger und zweiseitiger Hebel

3.1.5 Lastarten

Die Last bzw. Belastung beschreibt die äußeren Kräfte und Momente, welche auf einen Körper einwirken. Dabei unterscheidet man zwischen ständigen Lasten, wie beispielsweise der Eigenlast (durch Gravitation), und veränderlichen Lasten, wie beispielsweise Wind-, Schnee- oder Verkehrslasten. Veränderliche Lasten werden durch Normen für unterschiedliche Regionen, Gelände und Höhen festgelegt. Sie sind als veränderliche Einwirkung im Eurocode 1 geregelt (s. Kapitel #.#).

Temperaturbedingte Längenänderungen können Zwängungen erzeugen. Diese sind zwar zu bedenken, sind jedoch in der Veranstaltungstechnik meist nicht relevant und werden daher vernachlässigt.

Punktlast

Die Punktlast ist eine Einzellast, die als Kraft in genau einem Punkt angreift, wie beispielsweise ein Scheinwerfer an einer Traverse. Punktlasten werden oft als Eigengewichte der lastausübenden Körper angegeben und müssen zur Berechnung in Kräfte umgerechnet werden.

Streckenlast

Die Streckenlast beschreibt, meist als gleichförmige *Linienlast*, die Verteilung einer Belastung über eine bestimmte Länge, wie beispielsweise ein Vorhang entlang einer Traversenstrecke. Sie wirkt wie viele kleine Einzelasten, die entlang einer Linie angeordnet sind.

Flächenlast

Die Flächenlast beschreibt die kontinuierliche Verteilung einer Belastung über eine Fläche und ergibt sich wie beim Druck aus einer resultierenden Kraft pro Fläche. Schnee mit konstanter Dicke auf einem Dach oder ein einheitlicher Bodenbelag erzeugen eine einheitliche Flächenlast. Die Tragfähigkeit von bspw. Bühnenböden oder Podesten werden für eine maximale Flächenlast ausgelegt, wobei meist das maximal zulässige Gewicht pro Quadratmeter angegeben wird.

Achtung: Zur Einführung in das Thema werden hier die Formelbuchstaben F , q und f für Punkt-Strecken- und Flächenlasten verwendet. In Bau-Statik in Kapitel # verwendet man abweichende Formelzeichen (vgl. Seite 8). Großbuchstaben bezeichnen jedoch immer Punktlasten, Kleinbuchstaben Strecken- oder Flächenlasten.

Punktlast

Formelbuchstabe: F

Einheit: Newton

Einheitenzeichen: N

Formel: $F = m \cdot a$



Streckenlast

Formelbuchstabe: q

Einheit: Newton pro Meter

Einheitenzeichen: $\frac{N}{m}, \frac{kN}{m}$

Formel: $q = \frac{F}{l}$



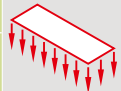
Flächenlast

Formelbuchstabe: f

Einheit: Newton pro Quadratmeter

Einheitenzeichen: $\frac{N}{m^2}, \frac{kN}{m^2}$

Formel: $f = \frac{F}{A}$



m Masse l Länge

a Beschleunigung A Fläche

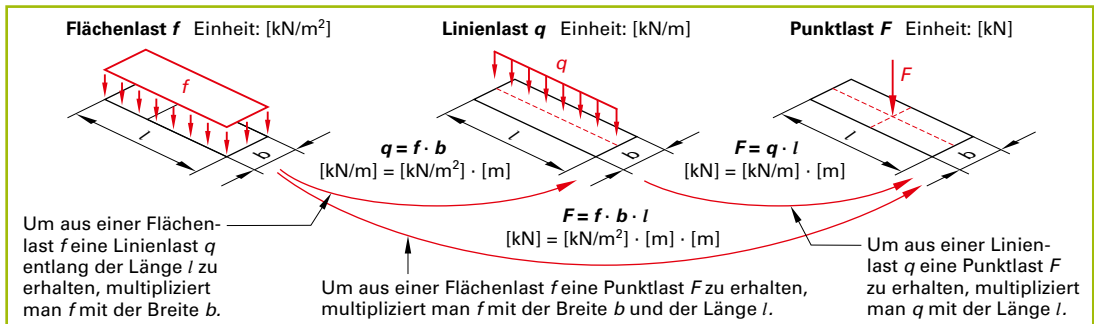


Bild 1: Umrechnung von Lastarten

3.1.6 Lastezugsbereiche

Die Last auf eine Fläche wird meist durch Träger an den Randbereichen abgetragen. Für die auftretenden Streckenlasten entlang dieser Träger müssen die Lastezugsbereiche betrachtet werden. Also: Welcher Anteil der gesamten Flächenlast wird an den jeweiligen Trägern wirksam?

Der Lastezugsbereich gibt den Teilbereich einer Strecken- oder Flächenlast an, der auf die jeweiligen Träger abgetragen wird. Dabei ergeben homogene Lastverteilungen meist symmetrische Lastezugsbereiche, die sich geometrisch bestimmen lassen. Die Voraussetzung dafür ist, dass die tragenden Bereiche symmetrisch verteilt und alle Felder belastet sind. In **Bild 1** übernimmt der vordere Träger beispielsweise den blau gezeichneten Teil der Flächenlast. Die grün gezeichnete Streckenlast teilt sich hälftig auf die beiden Füße auf.

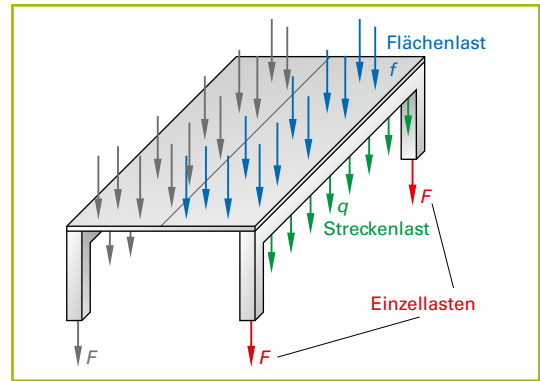


Bild 1: Lastezugsbereiche am Podest

In **Tabelle 1** sind Beispiele für Lastezugsbereiche zu sehen. Die farblich gekennzeichneten Streckenlasten werden auf die Personen der entsprechenden Farbe abgetragen. Die farblich gekennzeichneten Flächenlasten werden auf die farblich zugeordneten Träger abgetragen. Wie man sieht, trägt eine Person oder ein Träger (ein sogenannter Unterzug) in der Mitte die meiste Last ab, da der zugehörige Lastezugsbereich am größten ist.

In **Tabelle 1** sind Beispiele für Lastezugsbereiche zu sehen. Die farblich gekennzeichneten Streckenlasten werden auf die Personen der entsprechenden Farbe abgetragen. Die farblich gekennzeichneten Flächenlasten werden auf die farblich zugeordneten Träger abgetragen. Wie man sieht, trägt eine Person oder ein Träger (ein sogenannter Unterzug) in der Mitte die meiste Last ab, da der zugehörige Lastezugsbereich am größten ist.


Tabelle 1: Beispiele für homogene Lastverteilung mit symmetrischen Stützpunkten

	1 Punkt	2 Punkte	3 Punkte (geteilter Körper)	3 Punkte (durchgehender Körper)
Streckenlast	 100 %	 50 % 50 %	 25 % 50 % 25 %	 18,75 % 62,5 % 18,75 %
	Träger seitlich	Träger rundum	Träger rundum 2 Felder, geteilte Platte	Träger rundum 2 Felder
Flächenlast		 45°	 45° 45°	 30° 60°
		Dreieckslast/ Trapezlast unter 45°	Dreieckslast/Trapezlast unter 45°	durchgängige Platte Dreieckslast/Trapezlast unter 60°

3.1.1 Kippsicherheit

Wer eine Dekoration, ein Arbeitsmittel oder eine maschinentechnische Einrichtung der Veranstaltungstechnik aufstellt, muss diese gegen ein unbeabsichtigtes Bewegungen sichern. Dazu zählt insbesondere die Sicherung gegen das Umkippen. Eine Fachkraft für Veranstaltungstechnik muss einen Kippsicherheitsnachweis für die anzunehmenden Lasten und den Faktor der Kippsicherheit berechnen können. Der Nachweis der Kippsicherheit ist zudem Bestandteil des Standsicherheitsnachweises für Fliegende Bauten (**Kapitel 1.3**).

Die Kippsicherheit ist umso größer, je größer das Standmoment ist. Das Standmoment hängt von den Hebelverhältnissen und den stabilisierenden Lasten ab.

 Ein Körper bleibt auf seiner Standfläche stehen, wenn diese vom Lot durch den Körper-Schwerpunkt getroffen wird (**Bild 1**).

Kippsicherheitsnachweis

In **Beispiel 1** wird ein einfacher Kippsicherheitsnachweis geführt: Das Kippmoment wird durch Multiplikation der kippenden (destabilisierenden) Kraft mit dem zugehörigen Hebel berechnet. Der Hebel ist in diesem Falle die Höhe vom Boden, in der diese Kraft angreift.

Das Standmoment ergibt sich aus zwei (stabilisierenden) Komponenten. Die erste Komponente hängt mit der Gewichtskraft aus dem Gewicht der Scheinwerfer zusammen, die zweite Komponente mit der Gewichtskraft aus dem Eigengewicht des Stativs. Der Hebel entspricht in beiden Fällen dem horizontalen Abstand zwischen dem Kippunkt und einem Lot durch die Schwerpunkte.

Da das Standmoment kleiner ist als das Kippmoment, würde das Stativ in der gezeigten Situation kippen. Dies zeigt sich auch darin, dass der ermittelte Faktor ν kleiner ist als 1. $\nu = 1$ entspräche der Kippgrenze. Bei $\nu \geq 1,2$ bei Fliegenden Bauten spricht man von einem sicheren Stand.

Maßnahmen gegen das Kippen

Ist das Standmoment zu gering, so müssen Maßnahmen getroffen werden, um das Kippmoment aufzunehmen. Dazu wird mit Ballastierung, Verschraubung, Erdankern, zusätzlicher Stützweite u. a. je nach Bedingungen und Untergrund gearbeitet. Achtung: Auch ein genügend ballastierter Aufbau kann Probleme hinsichtlich der Tragfähigkeit mit sich bringen, z. B. muss das Vertikalrohr des Statives das Biegemoment, welches aus der horizontalen Kraft resultiert, tragen können! Standsicherheit wird durch gleichzeitige globale Kippsicherheit und Tragfähigkeit erreicht.

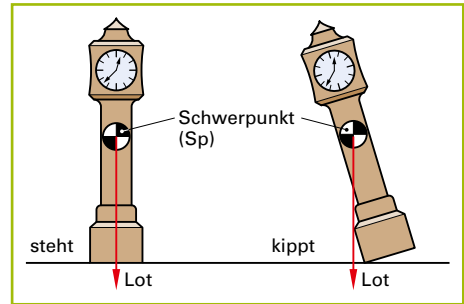


Bild 1: Körper mit Lot

Bedingung für Kippsicherheit

Formel: $M_K < M_S$

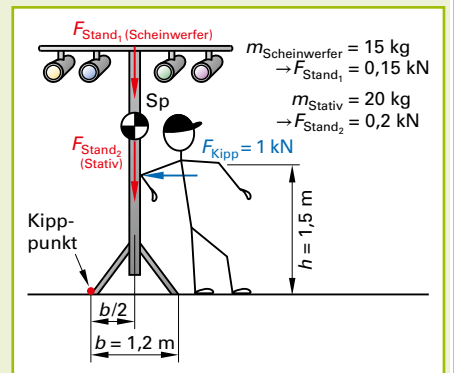
M_K Kippmoment
 M_S Standmoment

Faktor der Kippsicherheit

Formel: $\nu = \frac{M_S}{M_K}$

ν Faktor der Kippsicherheit

Beispiel 1: Kippsicherheit eines Lichtstativs



Kippmoment:

$$M_K = F_K \cdot h$$

$$M_K = 1 \text{ kN} \cdot 1,5 \text{ m} = 1,5 \text{ kNm}$$

Standmoment:

$$M_S = F_{S1} \cdot \frac{b}{2} + F_{S2} \cdot \frac{b}{2}$$

$$M_S = 0,2 \text{ kN} \cdot 0,6 \text{ m} + 0,15 \text{ kN} \cdot 0,6 \text{ m}$$

$$= 0,21 \text{ kNm}$$

Vergleich:

$$M_K = 1,5 \text{ kNm} > M_S = 0,21 \text{ kNm}$$

$$\nu = \frac{M_S}{M_K} = \frac{0,21 \text{ kNm}}{1,5 \text{ kNm}} = 0,14$$

Das Stativ würde kippen.

Konstruktionen aus handelsüblichem Stahl haben eine hohe Belastungsgrenze, sind aber relativ schwer. Aluminium-Legierungen besitzen im Vergleich dazu ein besseres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht, sind allerdings aufgrund der aufwendigeren Herstellung meist etwas teurer. Wegen ihres Gewichtsvorteiles werden sie für höher belastete Leichtbau-Konstruktionen dennoch mehrheitlich eingesetzt. Insbesondere zählen hierzu Traversen oder Schellen.

Moderne Stahl-Legierungen können zwar ein noch besseres Verhältnis von Gewicht zu Festigkeit aufweisen als Aluminium, sind jedoch noch nicht der Standard, da sie meist sehr teuer sind.

Für die Festigkeitsberechnung von Aluminiumkonstruktionen wird im Gegensatz zu Konstruktionen aus Baustahl die beim Schweißen entstehende Wärmeeinflusszone (WEZ, Bild 1) berücksichtigt.

Aluminium-Legierungen neigen auch zur Oxidation, bilden dabei jedoch eine optisch wenig störende, leicht graue Schutzschicht ohne erhebliche Bauteilschwächung. Häufig werden Oberflächenbehandlungen, wie Lackierung, Pulverbeschichtung (Aufschmelzen eines farbigen Pulvers) oder Anodisierung (farbige Oxidschicht durch einen elektrochemischen Prozess) vorgenommen, um das Material zu schützen und optisch aufzuwerten. Bezeichnungen der Werkstoffe werden entsprechend europäischer Normung nach Art der Herstellung und Seriennummer oder nach den Legierungsbestandteilen vorgenommen (Bild 2).

Mit Metallen können Bauteile mit hoher Festigkeit und geringem Materialvolumen gebaut werden, deren Eigenschaften im gesamten Bauteil homogen sind, wenn man von den Schwächungen in der WEZ absieht.

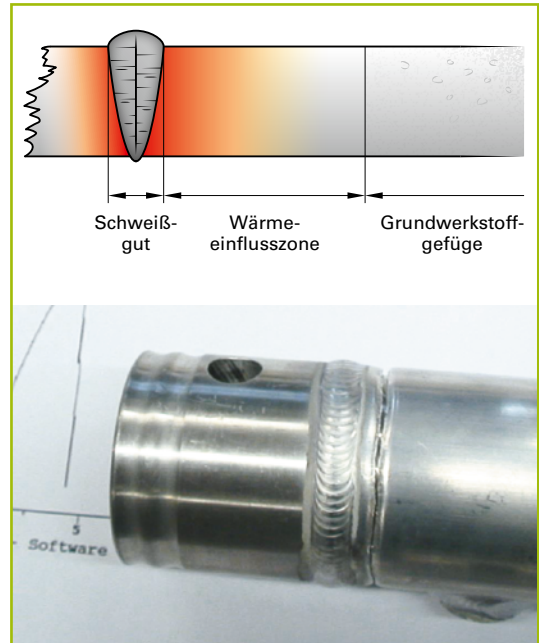


Bild 1: Wärmeeinflusszone

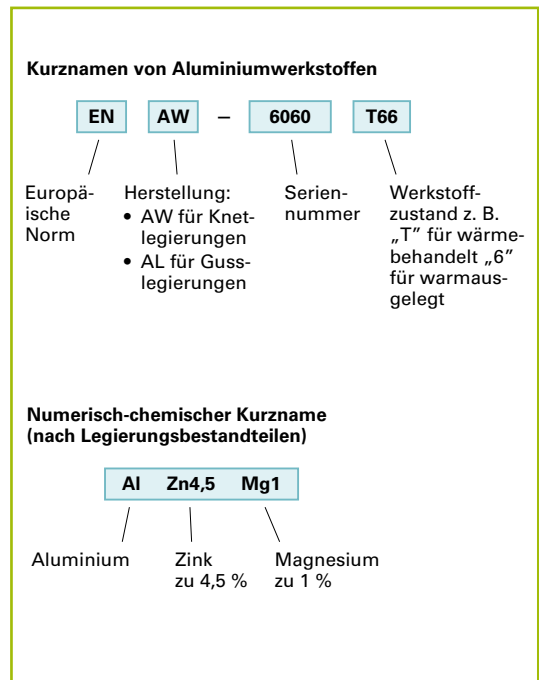


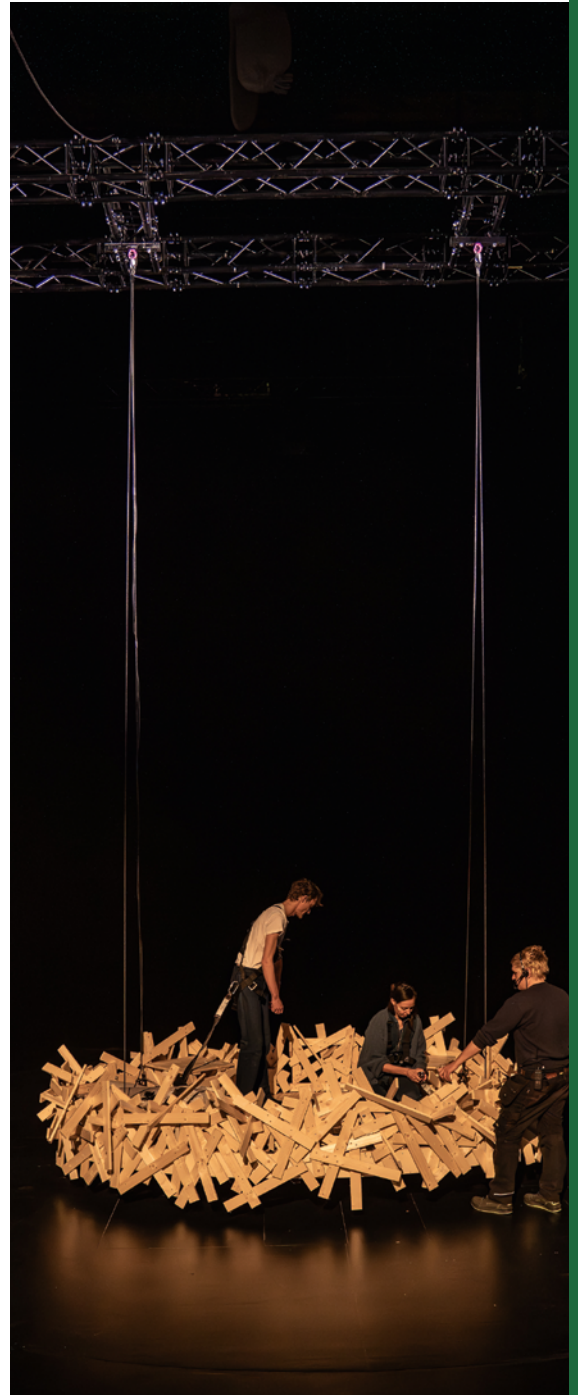
Bild 2: Bezeichnungen für Aluminium

Zur Verarbeitung und berechenbaren Ausführung von Schweißkonstruktionen müssen Personen mit entsprechender Schulung und Betriebe mit entsprechender Zertifizierung eingesetzt werden.

Verbindungen mit Schrauben, Bolzen oder Nieten lassen häufig eine leichter auszuführende und berechenbarere Verbindung zu. Je nach Stückzahl, Einsatzzweck und Bauteil- bzw. Verbindungsform muss die geeignete Verbindungsart gewählt werden. Das spezifische Gewicht, die Neigung zur Oxidation und die relativ aufwendige Gewinnung sowie die damit verbundene Umweltbelastung sollten in die Überlegung zur Verwendung stets mit einfließen.

4 Rigging

100 ▶ Sicherheitsgrundsätze und Verantwortung • IGWV SQQ • Verantwortungen im Rigging • **101 ▶ Qualifizierungsstufen** • Kompetenzen • Level • SQQ • **102 ▶ Lastaufnahmeeinrichtung** • C-Haken • Hebezeuge • **Lastaufnahmemittel** • Schellen • Trussadapter • **103 ▶ Traversen** • **104 ▶ Faserseile** • Seilendverbindungen • Stahlseile • **Tragmittel** • **105 ▶ Anschlagmittel** • Betriebskoeffizienten • Ketten • MBL • WLL • **106 ▶ Bridle** • Rundschlingen • Safety • **107 ▶ Drahtseilhalter** • Firehooks • Karabinerhaken • Lasthaken • Ovalringe • Schäkel • **108 ▶ Schnellverbindungsglieder** • Seilschlösser • Spannschlösser • Trägerklemmen • **109 ▶ Auffanggurt** • Falldämpfer • Handschuhe • Schuhwerk • Schutzhelm • **110 ▶ Ablegereife** • Anschlagmöglichkeiten • Gebrauchsdauer • Lagerung • Lebensdauer • mitlaufende Auffanggeräte • Prüfung • **Wiederholungsfragen**



4 Rigging

In der Veranstaltungstechnik steht beim Rigging das Montieren und Benutzen von Lastaufnahme-einrichtungen zur Installation von Bühnenkonstruktionen, Beschallung, Licht und Dekorationen im Vordergrund. Klassische Tätigkeiten sind das Anschlagen, Halten und Bewegen von Lasten.

- **DGUV¹ Information 215-313**
Lasten über Personen
- **IGVW S002²**
Veranstaltungsriggering
Organisation und Arbeitsverfahren

4.1 Sicherheitsgrundsätze und Verantwortung

Beim Arbeiten mit großen Höhenunterschieden besteht ein enormes Gefährdungspotenzial durch Absturz von Personen oder herabfallende Gegenstände. Für ein sicheres Arbeiten müssen daher folgende Grundsätze eingehalten werden:

- Es müssen technische und organisatorische Schutzmaßnahmen beachtet werden.
- Die persönliche Schutzausrüstung (PSA) muss ggf. benutzt werden.
- Körperliche und psychische Überlastung müssen vermieden werden.
- Es darf nie unter Zeitdruck gearbeitet werden.
- Es darf keine Arbeiten auf übereinanderliegenden Ebenen gleichzeitig geben.
- Vor dem Beginn der Arbeiten muss ein Rettungskonzept für alle zu erwartenden Notfallsituationen erarbeitet werden.
- Alle Gefährdungen müssen in einer Gefährdungsbeurteilung erfasst werden.
- Die grundlegenden Verantwortungen müssen geklärt sein (**Tabelle 1**).
- Die beteiligten Personen müssen über ausreichendes Wissen und Erfahrung verfügen (**siehe Kapitel 3.6.3**).

Tabelle 1: Verantwortungen im Rigging

Veranstalter	Betreiber	Riggingunternehmen	Rigger
<p>Grundlegende unternehmerische Gesamtverantwortung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betreiberverantwortung und Pflichten • Auswahl qualifizierter und fachkundiger Riggingunternehmen • Festlegung klarer Verantwortungen: Veranstalter / Tourneeveranstalter -> ggf. Einsatz weisungsbefugter Koordinatoren • Abstimmung verschiedener Unternehmen am Veranstaltungsort • Eingreifen bei Gefährdungen, Überforderung oder Übermüdung 	<p>Allgemeine Verkehrssicherungspflicht für Gelände und Gebäude:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherung der Arbeitsstätte und Arbeitsumgebung (z.B. techn. Maßnahmen gegen Absturz) • Errichtung von dauerhaften Anschlageneinrichtungen zur Benutzung von Persönlicher Schutzausrüstung (PSA) • Sicherung von Gefahrenbereichen vor Betreten • Abstimmung mit Haustechnik, Gebäudereinigung und Security 	<p>Ausreichende Sachkunde und Erfahrung in jeweiligen Tätigkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auswahl geeigneter Personen entsprechend Qualifizierungsstufen (Level 1 – 3) • Sichere und fachkundige Planung • Sichere und fachkundige Durchführung auf dem Stand der Technik • Verhindern von sicherheitswidrigem Arbeiten 	<p>Sorgfalt bei allen sicherheitsrelevanten Tätigkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fachliche Verantwortung im eigenen Tätigkeitsbereich • Eigene Sicherheit • Sicherheit der von seinem Handeln Betroffenen • Feststellung der eigenen gesundheitlichen Eignung

¹ DGUV = Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.

² IGVW = Interessengemeinschaft Veranstaltungswirtschaft; S002 = Standard der Qualität, Bereich Organisation, Nummer 2

4.2 Ausbildung in Qualifizierungsstufen

Für die Ausbildung im Rigging gibt es den IGWW Qualifizierungsstandard SQQ2¹ „Sachkunde für Veranstaltungsrigging“. Die Ausbildung erfolgt in drei Stufen (Level 1 – 3), welche aufeinander aufbauen. Die jeweils geforderten Kompetenzen können **Bild 1** entnommen werden.

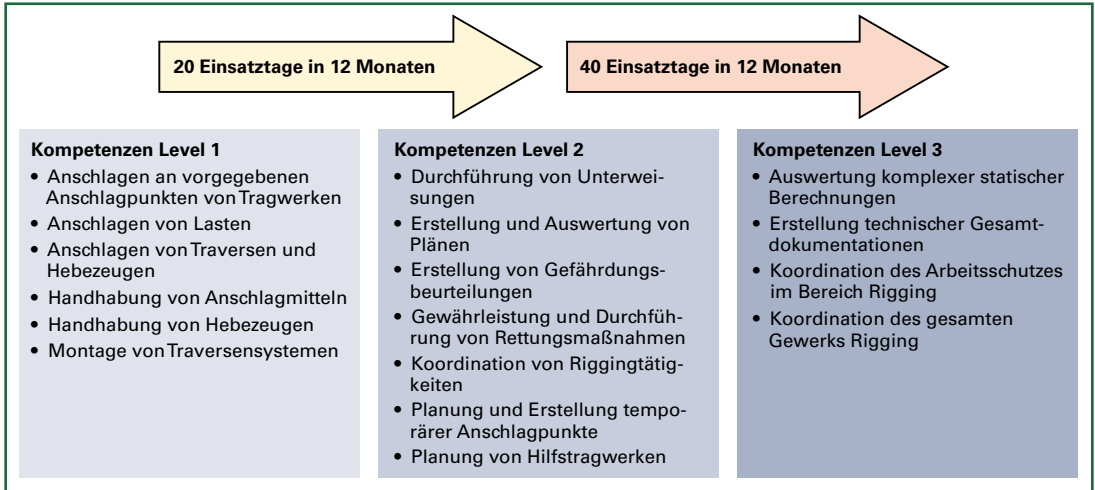


Bild 1: Kompetenzen der Qualifizierungsstufen

Ein Quereinstieg in höhere Stufen ohne die vorangegangene Qualifizierungsstufe ist nicht möglich. In jeder Stufe muss praktische Erfahrung in Form von Einsatztagen als Sachkundiger im Veranstaltungsrigging mit einem Tätigkeitsnachweis dokumentiert und nachgewiesen werden. Die Ausbildung jeder Stufe schließt mit einer praktischen und einer theoretischen Prüfung ab. Mathematische Grundkenntnisse in Grundrechenarten, Trigonometrie und Gleichungssystemen sind Grundvoraussetzungen. Lehrinhalte sind: Recht, Arbeitsschutz, Gefährdungsbeurteilung, elektrotechnische Grundlagen, Statik, technische Arbeitsmittel, persönliche Schutzausrüstung, technische Kommunikation, Projekt- und Personalkoordination, Systemauswahl, Sicherungssysteme sowie personale Kompetenzen. Welches Level für den jeweiligen Einsatz nötig ist, hat der Unternehmer zu entscheiden. Er leitet dies aus der Gefährdungsbeurteilung ab. Die Komplexität der Aufgabe und der damit verbundenen Inhalte und Verantwortungen müssen dabei berücksichtigt werden. Grundvoraussetzung zur Ausbildung im Bereich Rigging sind: die Vollendung des 18. Lebensjahrs, 3 Jahre Arbeitserfahrung mit fachbezogenem Tätigkeitsschwerpunkt, eine arbeitsmedizinische Eignungsuntersuchung für Arbeiten mit Absturzgefahr (G41) und eine Ausbildung in Erster Hilfe.



Bild 2: Rigger mit PSA

¹ IGWW = Interessengemeinschaft Veranstaltungswirtschaft; SQQ2 = Standard der Qualität, Bereich Organisation, Nummer 2

4.3 Lastaufnahmeeinrichtung

⚡ Eine **Lastaufnahmeeinrichtung (Bild 1)** ist ein System aus Lastaufnahmemittel, Anschlagmittel und Hebezeug inklusive Tragmittel.

Hebezeuge sind maschinentechnische Einrichtungen, die zum Heben und Bewegen von Lasten verwendet werden. Beispiele sind: Kettenzüge, Bandzüge und Seilzüge (s. Kapitel 5.2).

Lastaufnahmemittel sind Arbeitsmittel zur Aufnahme von Lasten. Dazu gehören: Laststangen, Traversen, Traversenaufhängungen, Haken von Punktzügen oder Flugrahmen von Projektoren.

Tragmittel sind fest mit der maschinentechnischen Einrichtung verbunden und nehmen die Last beim Heben auf. Dazu zählen: Seile, Ketten und Stahlbänder.

Anschlagmittel verbinden Lastaufnahmemittel und Last. Beispiele hierfür sind: Rundschlingen, Schellen, Seile und Ketten.

4.3.1 Lastaufnahmemittel

Schellen (Coupler) sind über ein Scharnier aufklappbare Verbindungen aus zwei Halbschellen (Bild 2). An der dem Scharnier gegenüberliegenden Seite befindet sich eine schwenkbare Schraube mit Flügelmutter, mit der die Schelle auf der Auflageplatte zusammengedrückt werden kann. Schellen werden zum Befestigen von Lasten an Rohren verwendet. Sie sind meist aus Aluminium in unterschiedlichen Breiten gefertigt und in Varianten für 48,8 mm oder 60 mm durchmessende Rohre ausgelegt. Bei Lasten über Personen dürfen sie nur mit der Hälfte der angegebenen WLL belastet werden.

Trussadapter¹ sind Lastaufnahmemittel für Traversen (Bild 3). Sie bestehen aus zwei Schellen, einem Vierkant und einer Ringschraube und können zum Aufhängen von Lasten an eine Traverse oder zum Aufhängen einer Traverse verwendet werden. Dabei sind nicht nur die Taglasten der Einzelkomponenten zu beachten, sondern auch die Herstellerangabe für die Traglast des gesamten Systems.

C-Haken sind Scheinwerferhaken in C-Form (Bild 4). Dies ist eine preiswerte Möglichkeit, Lasten an Rohre zu hängen. Die Last lässt sich damit erst aufhängen und dann festschrauben, was in der Praxis hilfreich ist. Jedoch können diese nur für hängende Lasten verwendet werden, sind nicht eigensicher und müssen daher zusätzlich gesichert werden. Je nach Bauweise hinterlassen sie Kratzer und Druckstellen am Tragrohr und sollten dementsprechend nicht für empfindliche Aluminiumrohre verwendet werden.

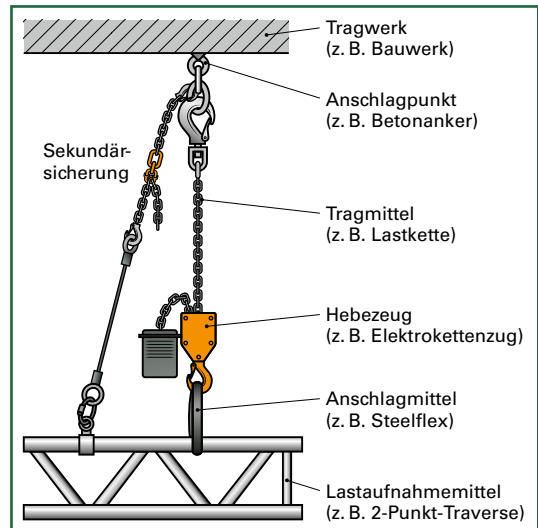


Bild 1: Lastaufnahmeeinrichtung Übersicht

Mindestbruchkraft – MBL (Minimum Breaking Load)
Ist die Kraft, bei der das Bauteil rechnerisch tatsächlich versagt und bricht.

Maximale Arbeitslast – WLL (Working Load Limit, auch Tragfähigkeit oder Nenntraglast) Ist die statische Nutzlast in kg, wobei für hängende Lasten über Personen der Wert halbiert werden muss.



Bild 2: Schelle (Coupler)



Bild 3: Trussadapter



Bild 4: C-Haken

¹ Auch: Universalverbinder, Lifting Bracket, Loadbar oder Gizmo

Traversen

Als Laststrecke zum Einhängen von Scheinwerfern, Tontechnik und Dekorationen werden sehr häufig Fachwerkträger aus Aluminiumlegierungen verwendet, die sogenannten Traversen (Bild 1). Diese können als Systembaukasten in unterschiedlichen Längen und Bauformen über passende Verbindungselemente wie Ecken, Winkel, Kreuze oder Ständer zu den unterschiedlichsten tragenden Konstruktionen kombiniert werden. Sie besitzen ein sehr gutes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Eigengewicht.


In Bild 2 sind die häufigsten Bauformen gezeigt: 2-Punkt-, 3-Punkt- und 4-Punkt-Traversen. Sie unterscheiden sich in der Anzahl der Gurtrohre und in ihrer Höhe.

Die maximal zulässigen Nutzlasten sollten den Tabellen der Hersteller entnommen werden (Bild 3). Diese treffen Aussagen über die zulässigen Punkt- und Streckenlasten.

Bild 4 zeigt, an welchen Stellen in einer Traverse Druck- und Zugkräfte entstehen, wenn diese horizontal gelagert ist und eine Kraft nach unten wirkt.

Die einzelnen Elemente können je nach Ausführung über *konische Verbinder*, *Flanschplatten*, genietete Hülsen mit Bolzen oder *Gabelverbindungen* mit Bolzen verbunden werden. Am häufigsten kommen konische Verbinder zum Einsatz (Bild 5). Bei diesen ist es wichtig, dass immer alle Trusspins eingesetzt werden. Die Auflagerung der Traversen und das Aufhängen großer Lasten sollte nur an Knotenpunkten erfolgen. Systeme verschiedener Hersteller dürfen nicht gemischt werden, außer der Hersteller gibt ausdrückliche Kompatibilität an.

Vor jeder Benutzung muss eine Sichtprüfung und einmal jährlich eine Sachkundigenprüfung erfolgen. Nicht mehr benutzt werden dürfen Traversen mit Löchern, Rissen, beschädigten Schweißnähten oder geknickten Elementen. Zudem dürfen sie nicht insgesamt verbogen sein und Dellen dürfen nicht größer sein als die Materialstärke.

 In Verbindung mit Traversen dürfen niemals Stahlschellen aus dem Gerüstbau zum Befestigen von Lasten verwendet werden, da diese unweigerlich Kratzer und Dellen hinterlassen.

➔ **IGVW-SQP1¹**
Traversen

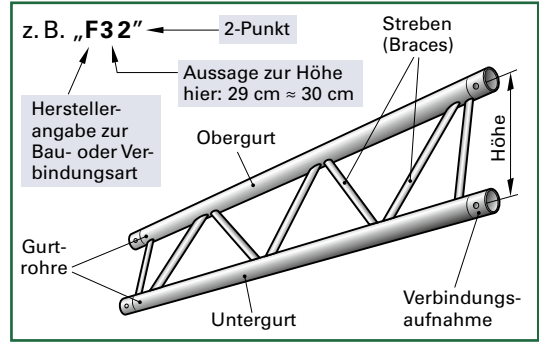


Bild 1: Aufbau einer Traverse

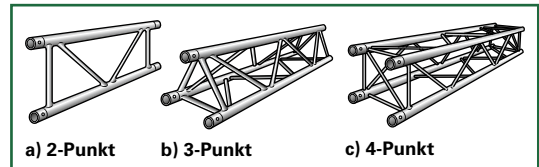


Bild 2: Traversen-Typen

Spannweite	Streckenlast		Punktlast		1/3 Punktlast	
	kg/m	mm	kg	mm	kg(2x)	mm
2	570	2	855	2	570	3
3	379	6	687	6	426	7
4	284	15	565	12	368	13

Bild 3: Beispiel Nutzlasttabelle

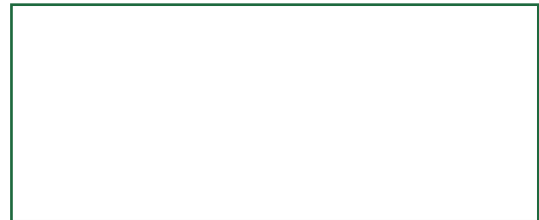


Bild 4: Beispiel Belastungen in der Traversen



Bild 5: Traversenverbindung (Konus und Pins)

¹ SQP1 = Standard der Qualität, Bereich Praxis, Nummer 1

Sicherungsseile (Safety)

Befestigungen von Lasten über Personen müssen eigensicher (siehe Kapitel #.#), gegen Selbstlösen gesichert, im Brandfall tragfähig und nur mit Werkzeug lösbar sein. Wird eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, ist eine unabhängige *Sekundärsicherung* wie in **Bild 2** erforderlich. Diese Sicherung soll möglichst keinen Fallweg zulassen. Bei Werkzeugen, Geräten, Maschinen oder Anlagen, die nach der Montage noch ausgerichtet werden müssen, darf das Spiel der Sicherung einen Fallweg von maximal 20 cm zulassen. Sie muss an dem vom Hersteller definierten und gekennzeichneten Befestigungspunkt des Arbeitsmittels eingehängt werden und nicht an Griffe o. Ä. Die Herstellerangabe auf der Plakette gibt die maximal zulässige zu sichernde Last an. Die Ausführung mit Falldämpfer, einer zusätzlich verpressten Schlaufe, ermöglicht durch Dehnung eine Abmilderung des Fallstoßes.

Auslenkung (Bridle)

Alle Tragfähigkeitsangaben der Hersteller sind für senkrechten Zug angegeben. Bei seitlicher Auslenkung, wie bei mehrsträngigen Anschlagvarianten (Bridle) zur Schaffung von Lastverteilung an Lastaufnahmemitteln (**Bild 3**), ist die tatsächliche Belastung in Abhängigkeit vom Winkel erhöht. Das erfordert eine angepasste Bemessung der Anschlagmittel. Die Auslenkungen sind möglichst gering zu halten und Winkel über 60° sind nicht zulässig.

Rundschlingen

Lastbänder¹ aus Polyester dürfen beim Anschlag von Lasten über Personen nur mit der Hälfte der durch den Hersteller angegebenen Tragfähigkeit bemessen werden und benötigen eine ausreichend dimensionierte sekundäre Sicherung. Im Falle eines Brandes oder enormer Hitze könnten die Fasern schmelzen und die Tragfähigkeit verloren gehen.

Der Einsatz von **Steefflex-Rundschlingen** mit Stahldrahteinlage macht eine Sekundärsicherung unnötig. Die Schlinge besteht aus einem viele Male gewickelten Stahlseil, das über eine Kontrollöffnung in der Polyester-Ummantelung geprüft werden kann. Diese innere Sichtkontrolle ist vor jeder Benutzung vorgeschrieben. Der Mindestbiegeradius darf nicht unterschritten werden.

Eine farbliche Codierung der Lastbänder oder Steefflex-Rundschlingen (**Tabelle 1**) gibt eine Aussage zur Tragfähigkeit.

Prüfung auf Beschädigung der Ummantelung oder Nähte, vorhandenes Typenschild, farbliche Veränderung, Schmelzbrennspuren, Korrosion oder Beschädigung der Beschlagteile.

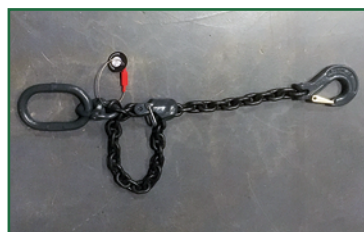


Bild 1: Verkürzerkette

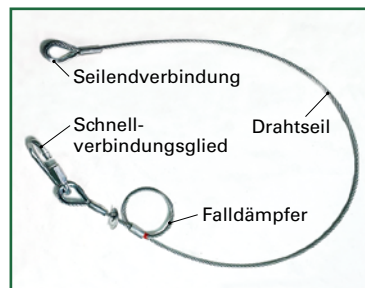


Bild 2: Sicherungsseil

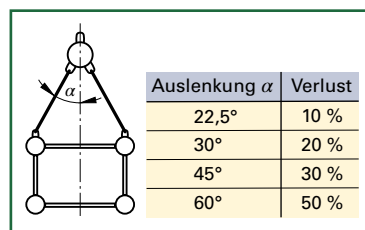


Bild 3: Bridle-Auslenkung

Tabelle 1: Beispielwerte Rundschlingen

Farbe	WLL direkt	WLL geschnürt	WLL umgelegt
Lila	1000 kg	800 kg	2000 kg
Grün	2000 kg	1600 kg	4000 kg
Gelb	3000 kg	2400 kg	6000 kg
Grau	4000 kg	3200 kg	8000 kg
Rot	5000 kg	4000 kg	10000 kg

➔ DGUV Information 209-021

Belastungstabellen Anschlagmittel – ausführliche Tabellen zur Tragfähigkeit und Tragfähigkeitsminderung

Praxistipp:

Keine Steefflex, Seile o. Ä. direkt um Doppel-T-Träger legen, wegen harter Biegekanten. Vorher mit Stoff umschlingen oder Holzklötze mit größerem Radius an den Kanten unterlegen.

¹ Auch „Schlupf“ oder „Endloshebeband“

5 Bühnenmaschinerie



5 Bühnenmaschinerie

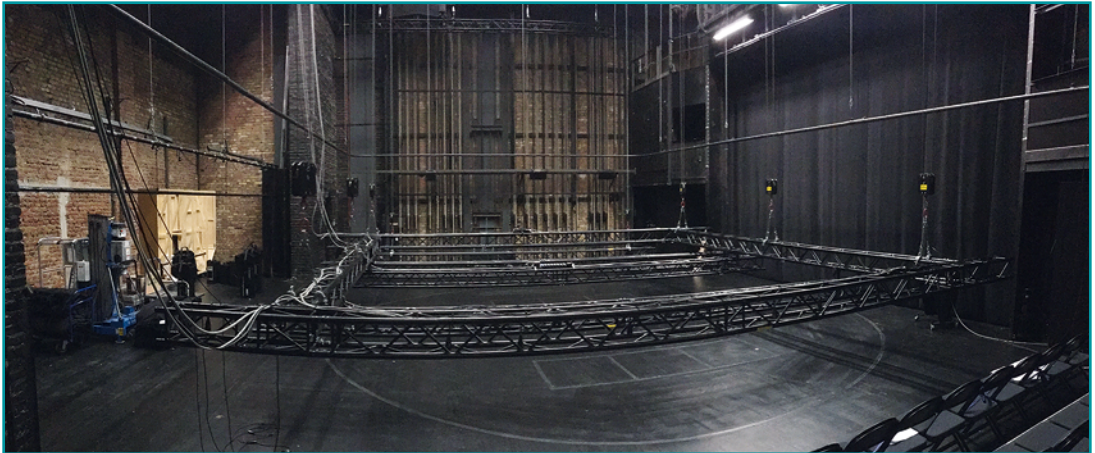


Bild 1: Technische Anlagen auf der Bühne

Bühnenmaschinerie umfasst alle technischen Einrichtungen zum Halten und Bewegen von Arbeitsmitteln, Dekorationen und Darstellern. Mit ihr werden Bühnen- und Zuschauersituationen hergestellt und Schutzeinrichtungen geschaffen. Sie ist an jedem Veranstaltungsort individuell.

In **Bild 2** finden sich Positionen, Orte und Begrifflichkeiten. Grundsätzlich wird zwischen Obermaschinerie, Untermaschinerie, Flächen und Aufbauten unterschieden. Einrichtungen oberhalb des Bühnenniveaus heißen Obermaschinerie. Unterhalb des Bühnenniveaus oder auf Höhe des Bühnenbodens befindet sich die Untermaschinerie. Flächen und Aufbauten sind in allen Bereichen eingesetzte Elemente zur Herstellung von Oberflächen oder Raum- und Sichtbereichsbegrenzung.

Zwischen festen Häusern und mobil errichteten Bühnen finden sich häufig Unterschiede. Grundsätzliche Positionen, Orte und Begrifflichkeiten sind bei beiden zu finden.

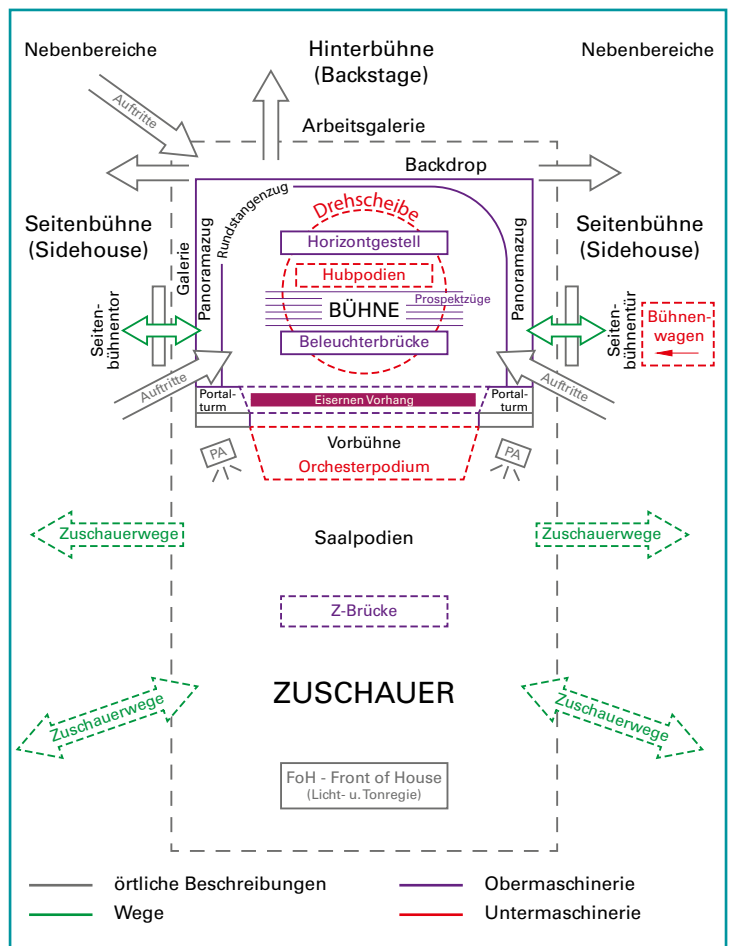


Bild 2: Grundriss der Anordnung der Bühnenmaschinerie bei Veranstaltungsorten

Zur Kombination von mehreren Zügen ist es möglich, eine Schwerlastwippe zu benutzen. Dabei lassen sich nebeneinanderliegende Laststangen verbinden. Dies ermöglicht über eine Lastverteilung das Heben von größeren Lasten an diesen Punkten (**Bild 1**).

Weitere Formen von Elektroseilzügen

Panoramazüge haben Laststangen an der linken und rechten Außenseite der Bühne parallel zur Bühnenlängsachse (**Bild 2, 7**). Zusammen mit hinter der Bühne angebrachten Prospektzügen können Dekorationen damit so angeordnet werden, dass sie einen Panorama-Hintergrund bilden.

Rundstangenzüge besitzen eine u-förmige, entsprechend den Bühnenaußenseiten geformte, durchgängige Laststange, die ein komplettes Abdecken mit Dekorationen der Bühnenseiten- und -rückwand ermöglicht (**Bild 2, 6**).

Elektroseilzüge mit Beleuchtungsbrücken werden an verschiedenen Positionen über der Bühne und im Zuschauerraum verfahrbar realisiert. Dabei werden Laststangen, Traversen oder begehbare Stege mit der Möglichkeit zum Einhängen von Beleuchtungsmitteln oder Projektoren bewegt. Strom- und Datenkabelversätze sind meist über Schleppkabel von oben direkt an die Züge geführt. Zum Einhängen der Beleuchtungsmittel können die Züge in eine angenehme Arbeitshöhe auf Bühnenniveau gefahren werden. Je nach Position auf der Bühne und Einsatzzweck werden verschiedene Beleuchtungsbrücken unterschieden: Im hinteren Bereich quer zur Bühnenlängsachse kann ein **Horizontgestell** (**Bild 3**) für Oberlicht auf die Bühne und die Ausleuchtung einer hinten liegenden Horizontdekoration genutzt werden. Die **Z-Brücke** ist eine Beleuchterbrücke im Zuschauerraum. **Seitenlichtgestelle** dienen zum Einsatz von Leuchtmitteln als Seitenlicht an den Bühnenseiten. **Oberlichtzüge** werden für die Beleuchtung von oben über der Bühne genutzt.

Rohrwellenzüge wickeln die Lastseile auf einer gemeinsamen Rohrwinde auf und bewegen so die Laststange (**Bild 4**). Sie werden für Panoramazüge oder Züge mit untergeordneter Aufgabe verwendet und kommen seltener zum Einsatz. Da hier mit einem Antrieb mehrere Tragseile über eine durchgehende Achse betrieben werden, erreicht man eine mechanische Synchronisation und umgeht das Problem möglicher Geschwindigkeitsabweichungen mehrerer Antriebe.

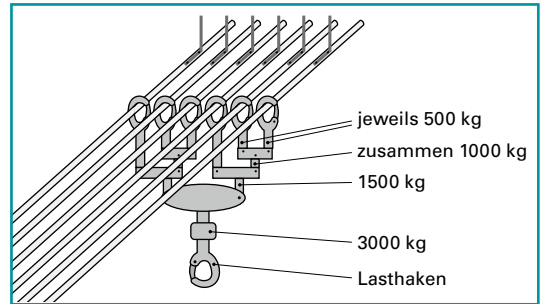


Bild 1: Schwerlastwippe

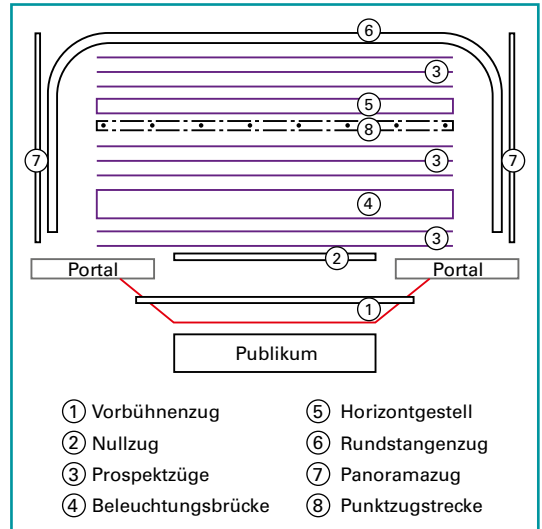


Bild 2: Übersicht der Züge im Grundriss



Bild 3: Horizontgestell im Theaterhaus Jena

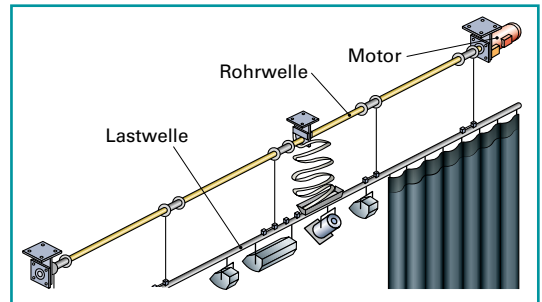


Bild 4: Rohrwellenzug – schematisch

5.2.4 Bewegliche Portalanlagen

In festen Theaterhäusern werden die Öffnungen der Bühnenbereiche häufig mit verfahrbaren Toren realisiert. Insbesondere die Bühnenöffnung einer *Guckkastenbühne*¹ umrahmt vom Prozenium ist über den Spielvorhang hinaus mit verschiedenen Einrichtungen versehen.

Brandschutzvorhang wird die auch als *Eiserner Vorhang* oder *Kurtine* bezeichnete Schutzvorrichtung genannt, die meist in Form eines Bühnentors im Portal zur Unterteilung der Brandabschnitte zwischen Bühnenhaus und Zuschauerraum verbaut wird. Nur in kleinen Spielstätten werden hier tatsächlich textile Vorhänge genutzt. Normalerweise handelt es sich um vertikal verfahrbare stabile Stahltore, die enormen thermischen Belastungen und Krafteinwirkungen durch Druckunterschiede standhalten müssen. Sie setzen am Boden formschlüssig auf. An den Seitenführungen werden zum Rauchschutz umlaufend Dichtelemente verbaut. Zum längeren Standhalten gegen die Hitze werden teilweise Sprühflutanlagen zur Kühlung und feuerhemmende Beschichtungen in Form von Mineralstoffplatten eingesetzt. Das Schließen muss auch bei Stromausfall automatisch funktionieren und darf bei Antrieb durch Schwerkraft nicht ungebremst passieren. Der Fahrweg darf nicht mit Dekorationen, Kabeln oder Veranstaltungstechnik unterbaut werden. Beim Fahren des Tores muss ein Warnsignal gut hörbar sein. Eine Durchgangstür mit maximal 1 m Breite kann eingebaut sein.

Portalbrücke: Den oberen Abschluss des Bühnenportals bildet die Portalbrücke (**Bild 2**). Sie ist auf der publikumsabgewandten Seite häufig in mehreren Galerien begehbar. Oft sitzt sie in Schienen und ist für eine variable Anpassung des Bühnenausschnitts in der Höhe elektrisch oder hydraulisch vertikal verfahrbar. Da sie auf der Bühnenseite meist als Beleuchtungsbrücke dient, kann sie oft zum Anbringen der Scheinwerfer auf Bühnenniveau abgesenkt werden.

Portaltürme: Links und rechts umrahmen die Portaltürme die Bühnenöffnung. Auch diese können häufig zum Einstellen der Portalbreite verfahrbar sein. Die Bewegung erfolgt dann händisch, mit Seilwinden, mit Elektroseilzügen oder mit einer Hydraulik. Die Führung ist häufig mit Seilumlenkung so gebaut, dass ein symmetrisches Öffnen und Schließen der Türme passiert. Auf der dem Publikum abgewandten Seite finden in den Portaltürmen häufig Arbeitsplätze für die Inspizienz², Soufflage³ oder den Maschinenstand⁴ Platz, da der Bühnenbereich von dort meist gut eingesehen werden kann. Sind Portalbrücke und -türme nicht verfahrbar, können sie verstellbare Blenden besitzen, um die Portalöffnung zu variieren.



Bild 1: Brandschutzvorhang

➔ Brandschutzvorhang / Eiserner Vorhang Kapitel 1.4.4 und Kapitel 2.#



Bild 2: Portalbrücke

¹ **Guckkastenbühne:** Klassische Aufteilung zwischen Zuschauerraum und Bühne, bei der die Bühne lediglich durch einen festen Ausschnitt (Portal) eingesehen werden kann und rundherum durch schwarze Aushänge / Begrenzungen an einen Kasten erinnert.

² **Inspizienz** = (lat.) hinsehen, prüfen: Person übernimmt Koordination des künstlerischen und technischen Ablaufs.

³ **Soufflage:** Person, die ggf. den Schauspielern souffliert, also Texthilfen und Textsätze zuflüstert.

⁴ **Maschinenstand:** Bereich des Maschinenpults oder anderer Steuerungseinrichtungen für die Maschinisten.

5.3 Untermaschinerie

Alle maschinentechnischen Anlagen, die sich auf gleicher Höhe mit dem Bühnenniveau oder unterhalb des Bühnenniveaus befinden, werden der Untermaschinerie zu geordnet.

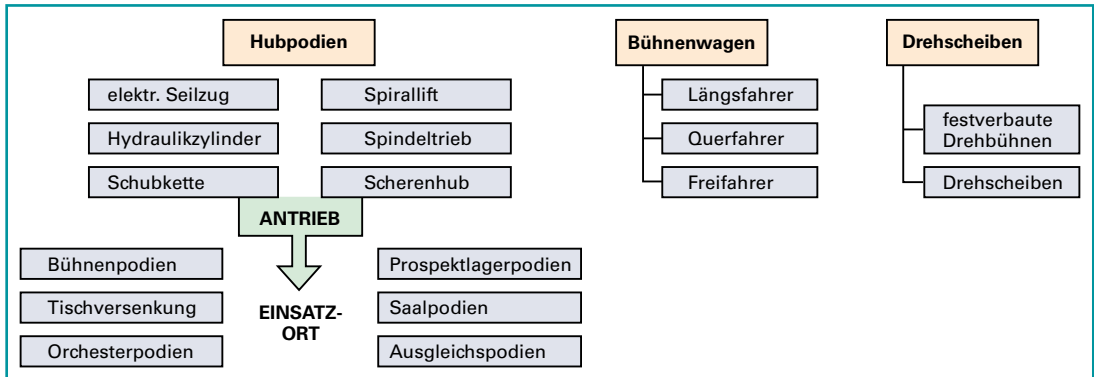


Bild 1: Übersicht über Untermaschinerie

5.3.1 Hubpodien

Um Teile der Bühnenfläche in der Höhe zu verfahren, werden verschiedene Formen von beweglichen Podienflächen verbaut, die ein Heben und Senken von Lasten, Darstellern, Dekorationen und Zuschauerbereichen ermöglichen. In Theatern sind sie meist fest im Bühnenboden eingebaut und werden durch Antriebe in der Unterbühne bewegt. Für mobile Bühnen und Veranstaltungsorte gibt es sie auch in modularen Systemen. Auch für effektvolle szenische Bewegungen in der Oper, im Musical oder der Konzertschau werden sie eingesetzt (Bild 2). Eindrucksstarke Beispiele sind auf Podien verfahrbare Wasserbecken oder Eisflächen. In festen Häusern können mit Hubpodien auch Bühnenschrägen hergestellt oder die gesamte Topografie¹ des Saals angepasst werden.

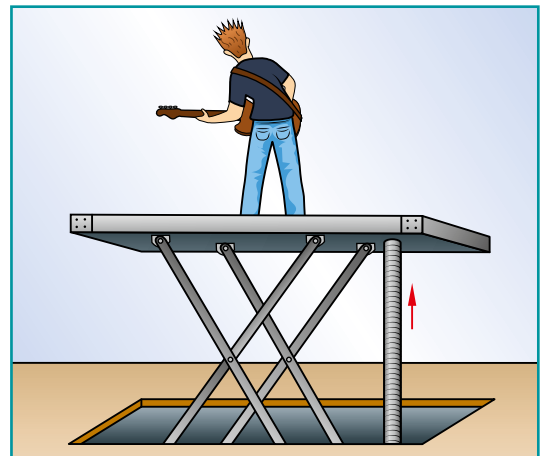


Bild 2: Scherenhubpodium

Als Teil des Bühnenbodens müssen Podien im Stillstand eine Nutzlast von 500 kg/m^2 tragen. Werden sie für Zuschauerbereiche genutzt, sind es 750 kg/m^2 laut DIN EN 1991-1. Damit ergeben sich je nach Fläche sehr große Gesamtlasten für die Auslegung der Antriebe. Durch Gegengewichte können die Antriebsleistungen reduziert werden. Bei vielen nicht selbsthemmenden Antrieben und elastischen Tragmitteln (Seile, Ketten, Hydraulikzylinder) muss eine Verriegelung im Stillstand erfolgen. Häufig ist eine Verriegelung durch formschlüssige Verbindungen nur in bestimmten Raststellungen möglich. Dies wird auf das verwendete Abstufungssystem² angepasst. An den Übergängen zu nebenliegenden Podesten oder Bühnenkanten entstehen Scherkanten und ggf. Absturzkanten, die entsprechend gesichert werden müssen. Unter den Podestkanten gibt es häufig umlaufende Abweiser und Sensoren, die bei Widerstand das Podest zum Stillstand bringen. Unterschieden wird nach ortsfesten Antrieben und mitfahrenden Antrieben (Kletterantrieben). Zu bedenken ist, gerade bei szenischem Einsatz, die Schallemission durch den Antrieb und durch die bei der geführten Bewegung entstehende Reibung.

¹ Topografie = altgriech.: Ortsbeschreibung / Oberflächenbeschaffenheit; hier: Erhebungen der Oberflächen in Saal und Bühne

² Abstufungssystem: einheitliche Höhenschritte für in der Höhe einstellbare Podeste mit fester Stufung; z. B. 16 2/3 cm oder 20 cm pro Stufe; vgl. Kapitel 5.5.3 Podeste

Für **ortsfeste Bühnen** in Theatern, Opernhäusern oder Konzertstätten werden üblicherweise Holzbühnenböden aus Dielen auf einer tragenden Unterkonstruktion verbaut (**Bild 1**). Die Bühnendielen sind aus Pich-Pine, Oregon-Pine oder Schwarzkiefer mit stehenden Jahresringen (**Bild 2**) aufgesägte und gehobelte, ca. 45 - 50 mm dicke Rifts¹, die über Nut und Feder ineinandergreifen. Als Unterkonstruktion kommen Kanthölzer oder Leimbinder (Brettschichtholz) quer zu den Dielen zum Einsatz.

Wichtig ist, dass der Dielenboden so verlegt wird, dass bei Belastung keine störenden Geräusche in Form von „Knarzen“ entstehen. Dazu wird Holz mit maximal 8-10 % Restfeuchte verbaut und jedes Rift mit maximal einer Schraube gegen das Verrutschen gesichert, um Spannungen durch unterschiedliche Ausdehnung des Holzes gering zu halten. Die Oberfläche wird geschliffen und mit speziellem Bühnenöl meist schwarz, anthrazit oder farblos in mehreren Schichten geölt. Die stehenden Jahresringe und die geölte Oberfläche ermöglichen es, mit Holzschrauben zu arbeiten, ohne dass deutlich sichtbare Schraublöcher zurückbleiben, da sich die Holzfasern wieder zusammendrücken. Die Unterseite wird meist mit Brandschutz und Insektizid imprägniert. Zur Pflege wird die Oberfläche dünn angeschliffen und neues Bühnenöl gleichmäßig aufgetragen. Dies erfolgt je nach Belastung und Abnutzung einmal pro Jahr. Mit der Zeit und durch Feuchtigkeitseintrag können Bereiche in den oberen Schichten weich werden und es müssen mit einem professionellen Muldenschliff oder durch Austausch von kompletten Rifts die faserstrukturzerstörten Bereiche entfernt und ersetzt werden.

Immer häufiger werden Bühnenbodenplatten aus hochbelastbaren ca. 30-65 mm starken Verbund-Massivholzplatten mit Rifts als Nuttschicht verwendet. Es gibt sie als Zweischichtplatten und als Dreischichtplatten. Zweischichtplatten mit 20 mm Nuttschicht werden direkt auf die Unterkonstruktion geschraubt. Dreischichtplatten mit kreuzweise verleimter 12 mm Nuttschicht aus Rifts, Tragschicht und Gegenzug² aus Sperrholz (**Bild 3** und **Bild 4**) werden schwimmend verlegt, das heißt, die Platten werden nur untereinander mit Nut und Feder verbunden, nicht mit dem Untergrund verschraubt. Dreischichtplatten eignen sich auch für klappbare Böden.



Bild 1: Aufbau des Bühnenbodens von unten

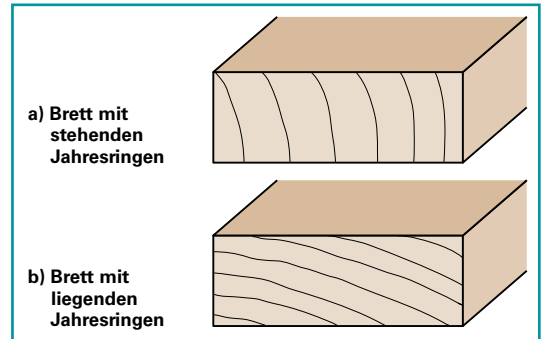


Bild 2: Stehende und liegende Jahresringe

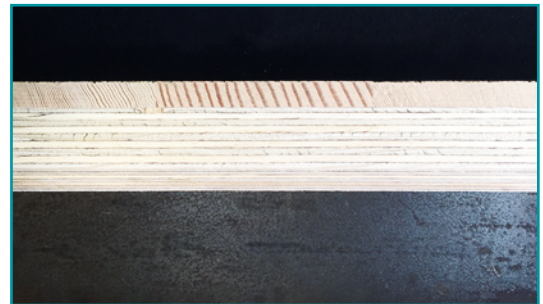


Bild 3: Dreischichtplatte im Schnitt

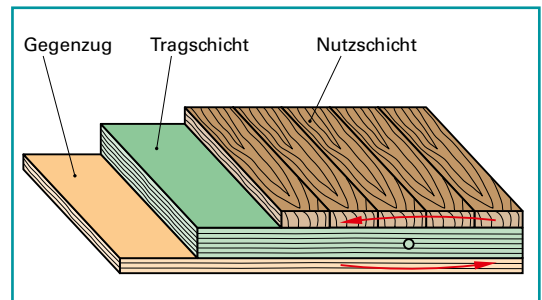


Bild 4: Schichten einer Dreischichtplatte

¹ Rift: Brett mit stehenden Jahresringen, bzw. bei dem die Jahresringe zwischen 90° – 60° auftreffen

² Gegenzug: Holzschicht, die dem durch Feuchtigkeitsunterschiede auftretenden Verzug der Nut- und Tragschicht zueinander entgegenwirkt

6 Fliegende Bauten



6 Fliegende Bauten

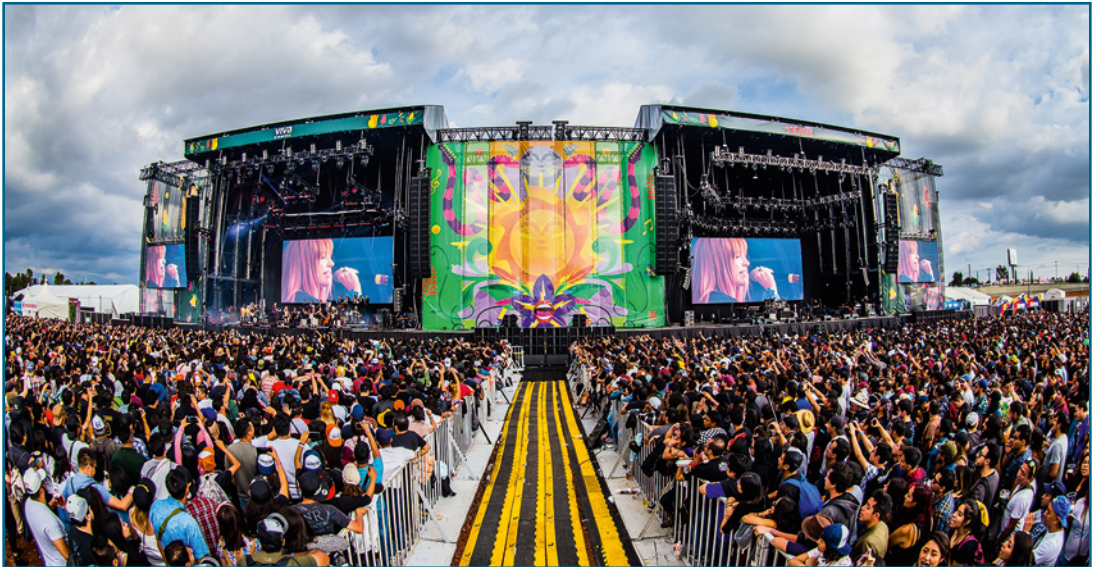


Bild 1: Zwei große „Pitch Roofs“ mit Sidewings

Wie im **Kapitel 1** bereits beschrieben, sind die Fliegenden Bauten aus baurechtlicher Sicht als bauliche Anlagen zu betrachten. Die Besonderheit gegenüber den festen Gebäuden liegt in der Mobilität. Um Veranstaltungen im Außenbereich durchführen zu können ist der Veranstalter auf Bühnendächer, Tribünen, Podien, PA-Tower, LED-Wände, Trailerbühnen und ähnliche Konstruktionen angewiesen. Besonders wichtig ist die Betrachtung der Windstabilität, da im Veranstaltungsbereich häufig Leichtbau-Elemente, wie z. B. Traversen, eingesetzt werden. Aus diesem Grunde ist in dem Zuge eine Ballastierung oder Verankerung durch Stabanker für die Anlage erforderlich. Einige Konstruktionen, wie z. B. große Trailerbühnen, kommen aufgrund des hohen Gesamtgewichts ohne zusätzliche Verankerung oder Ballast aus.

6.1 Definition: Fliegende Bauten



Drei Parameter unterscheiden einen Fliegenden Bau von einem festen Bauwerk:

1. Temporäre Aufstellung (max. 3 Monate, mit Sondergenehmigung 6 Monate)
2. Geeignet und dazu bestimmt, wiederholt auf- und abgebaut zu werden
3. Bauliche Anlage = Verbindung mit dem Erdboden (auch aus eigener Schwere)

Nicht zu den Fliegenden Bauten gehören Konstruktionen in Innenräumen. Dies hat die Argebau¹ festgelegt:

„ Der Arbeitskreis stellt fest, dass ortsveränderliche veranstaltungstechnische Einrichtungen wie Bühnen- und Traversenkonstruktionen bei Errichtung innerhalb von Gebäuden keine Fliegenden Bauten sind und somit keiner Ausführungsgenehmigung bedürfen. “

Dieser Beschluss bedeutet, dass es nach Definition keine eigenständigen baulichen Anlagen innerhalb von Gebäuden gibt und somit auch die Regeln des Bauwesens für innerräumliche Einrichtungen nicht zwingend gültig sind. Dennoch ist die Standsicherheit nachzuweisen. Dieser Nachweis kann bei Fliegenden Bauten auch innerhalb von Gebäuden anhand der Prüfbücher (**Kapitel 6.3.4**) durchgeführt werden.

¹ Die Argebau ist die maßgebende Arbeitsgruppe für die gesetzliche Auslegung von Normen für Fliegende Bauten.

Kraftfluss bei einem Podest

In **Beispiel 1** wird der Lastfluss eines $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ großen Podestes (**Bild 1**) von der Platte bis zur Stütze berechnet. Dabei ermittelt man zunächst die gesamte Flächenlast q_k . Es ist die Summe aus der Nutzlast durch Begehung und Eigenlast (**Zeilen 1-3** in **Beispiel 1** unten auf dieser Seite).

Zeile 5: Die Aufteilung der gesamten Flächenlast auf die Unterzüge ergibt sich aus dem Abstand der Unterzüge. Ein Unterzug nimmt die Last der Fläche auf, die sich von $0,5\text{ m}$ links bis $0,5\text{ m}$ rechts davon erstreckt (blaue Fläche in **Bild 2**). Daher multipliziert man die gesamte Flächenlast mit $1,0\text{ m}$ und erhält eine Streckenlast.

Zeilen 4 – 7: Aus dieser Streckenlast zusammen mit der Eigenlast der Unterzüge ergibt sich die gesamte Streckenlast eines Unterzuges.

Zeile 8: Die so erhaltenen Streckenlasten ergeben Auflagerreaktionen von $13,7\text{ kN}$ für die inneren vier Unterzüge und $13,7/2\text{ kN}$ für die äußeren beiden. Diese Lasten wirken auf den Hauptträger (3) ein (orangefarbene Pfeile, **Bild 2**).

Zeilen 9 – 11: Die Eigenlasten der Hauptträger und die Einwirkungen durch die Unterzüge (Zeile 8) stellen die Gesamtlast eines Hauptträgers $Q_{k,ges}$ dar.

Zeile 12: Jede Stütze trägt die Hälfte dieser Last, also $36,05\text{ kN}$ ($\sim 3,6\text{ t}$) aus den vertikalen Lasten ab. Um diese Last sicher auf den Boden zu übertragen, muss die zulässige Bodenpressung beachtet und ggf. eine Unterpallung (**Kapitel 6.5.3**) verwendet werden. Zu den vertikalen Lasten kommen noch horizontale Lasten hinzu (siehe Seite #). Die Fußpunkte müssen daher an ihrer Position fixiert werden.

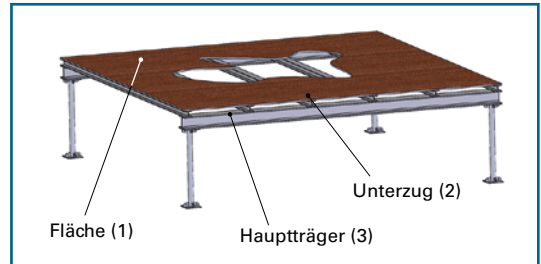


Bild 1: Podest $5\text{ m} \times 5\text{ m}$

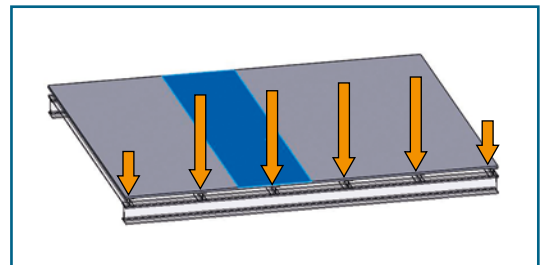


Bild 2: Einzugsbereich mittlerer Unterzug

Beispiel 1: Lastfluss Fläche $5\text{ m} \times 5\text{ m}$

1	Einwirkung auf die Fläche (1)	$p_k = 5,00\text{ kN/m}^2$, Nutzlast, allgemeine Begehung
2	Eigenlast der Holzfläche (1)	$g_k = 0,25\text{ kN/m}^2$
3	Flächenlast gesamt	$q_k = 5,25\text{ kN/m}^2$
4	Abstand der Unterzüge (2) $a = 1,0\text{ m}$	---- Einzugsbereich (blau, Bild 2)
5	Last auf einen Unterzug (2)	$q_k = 5,25\text{ kN/m}^2 \cdot 1,0\text{ m} = 5,25\text{ kN/m}$
6	Eigenlast der Unterzüge (2)	$g_k = 0,23\text{ kN/m}$
7	Gesamte Streckenlast eines Unterzuges (2)	$q_k = 5,48\text{ kN/m}$
8	Reaktion der Unterzüge (2) als Einwirkung auf (3)	$A_k = B_k = Q_k = 5,48\text{ kN/m} \cdot \left(\frac{5,0\text{ m}}{2}\right) = 13,7\text{ kN}$ Punktlasten (orange, Bild 2)
9	Eigenlast des Hauptträgers (3)	$g_k = 0,72\text{ kN/m}$
10	Gesamte Eigenlast des Hauptträgers bei 5 m Länge	$G_k = 0,72\text{ kN/m} \cdot 5,0\text{ m} = 3,60\text{ kN}$
11	Gesamte Punktlasteinwirkung durch alle Unterzüge	$Q_k = 4 \cdot 13,7\text{ kN} + \frac{2 \cdot 13,7\text{ kN}}{2} = 68,5\text{ kN}$
		$Q_{k,ges} = 72,10\text{ kN}$
12	Stützlast des Hauptträgers (3) pro Stütze	$A_k = B_k = \frac{Q_{k,ges}}{2} = 36,05\text{ kN}$

Die Windzonen 3 und 4 sind entsprechend **Tabelle 1** weiter unterteilt: Es gibt Binnenland, Inseln und küstennahe Gebiete. Als küstennahe Gebiete zählen 5 km breite Streifen von der Wasserlinie in Richtung Binnenland.

In der **Tabelle 1** sind die **Basiswindgeschwindigkeit** $v_{b,0}$ und der **Basisstaudruck** $q_{b,0}$ in der jeweiligen Windzone angegeben. Außerdem gehen aus der Tabelle die Formeln für die anzusetzenden Böengeschwindigkeitsdrücke hervor. Hier sind, je nach Höhe z der Bauwerke, in jedem Gebiet zwei Formeln relevant. Dabei liegen die Grenzen zwischen den Formeln bei 7, 4 oder 2 Metern. Die Bauwerkshöhe z ist ggf. in die Formel für den Staudruck q einzusetzen. Die unterschiedlichen Werte hängen mit dem Bewuchs der Landschaft zusammen. Sie stammen, ebenso wie die Faktoren in den Formeln, aus Messungen über viele Jahre hinweg. Einer einheitlichen, übergeordneten Formel folgen sie nicht.

Der Faktor 0,7 in den Formeln ist eine Abminderung für Fliegende Bauten, bedingt durch die zeitlich begrenzte Aufstellung. Der zweite Faktor und der dritte Faktor ergeben sich aus den zurückgerechneten Messwerten.



Bild 1: Windzonen

Tabelle 1: Staudrücke nach Windzonen - außer Betrieb

Windzone 1 (Binnenland)		
$v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$	$z \leq 7 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,32 \text{ kN/m}^2 = 0,34 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,32 \text{ kN/m}^2$	$7 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,7 \cdot 0,32 \cdot (z/10)^{0,37} \text{ kN/m}^2$
Windzone 2 (Binnenland)		
$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$	$z \leq 7 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,39 \text{ kN/m}^2 = 0,41 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,39 \text{ kN/m}^2$	$7 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,7 \cdot 0,39 \cdot (z/10)^{0,37} \text{ kN/m}^2$
Windzone 3 (Binnenland)		
$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$	$z \leq 7 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,47 \text{ kN/m}^2 = 0,49 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,47 \text{ kN/m}^2$	$7 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,7 \cdot 0,47 \cdot (z/10)^{0,37} \text{ kN/m}^2$
Windzone 3 (küstennahe Gebiete und Inseln der Ostsee)		
$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$	$z \leq 4 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,8 \cdot 0,47 \text{ kN/m}^2 = 0,59 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,47 \text{ kN/m}^2$	$4 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 2,3 \cdot 0,47 \cdot (z/10)^{0,27} \text{ kN/m}^2$
Windzone 4 (Binnenland)		
$v_{b,0} = 30,0 \text{ m/s}$	$z \leq 7 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,56 \text{ kN/m}^2 = 0,59 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$7 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,7 \cdot 0,56 \cdot (z/10)^{0,37} \text{ kN/m}^2$
Windzone 4 (küstennahe Gebiete und Inseln der Ostsee)		
$v_{b,0} = 30,0 \text{ m/s}$	$z \leq 4 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,8 \cdot 0,56 \text{ kN/m}^2 = 0,59 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$4 \text{ m} < z \leq 50 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 2,3 \cdot 0,56 \cdot (z/10)^{0,27} \text{ kN/m}^2$
Windzone 4 (Inseln der Nordsee)		
$v_{b,0} = 30,0 \text{ m/s}$	$z \leq 2 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,1 \text{ kN/m}^2 = 0,77 \text{ kN/m}^2$
$q_{b,0} = 0,56 \text{ kN/m}^2$	$2 \text{ m} < z \leq 300 \text{ m}$	$q = 0,7 \cdot 1,5 \cdot (z/10)^{0,19} \text{ kN/m}^2$

6.5.1 Beispielhafter Nachweis der Kippsicherheit

Für die fiktive Trailerbühne aus **Bild 1** wird in **Beispiel 1** die globale Standsicherheit überschlägig berechnet. Betrachtet wird der frontale Wind, der im Betrieb mit Rückwand maßgebend ist. Zu beachten ist, dass die Formelbuchstaben aus der Baustatik, wie beispielsweise W für die Windkraft und G für die Gewichtskraft, statt derjenigen aus der Physik verwendet werden.

Zeilen 1 bis 4: Zunächst werden die Flächen und Staudrücke festgestellt. Für die Staudrücke werden die Werte aus **Tabelle 1, Seite 167** verwendet. Für die Rückwand wird der Staudruck gemittelt, da deren Ausdehnung teils unter 8 m und teils zwischen 8 m und 20 m liegt (Zeile 2).

Zeilen 5 bis 8: Anschließend werden die Windkräfte ermittelt. Die aerodynamischen Beiwerte stammen von der „Arbeitsgruppe Bühnen“.

Für die vertikalen Anteile W_v der Windkraft wird zwischen abhebend (Zeile 5, negatives Vorzeichen) und niederdrückend (Zeile 8, positives Vorzeichen) unterschieden.

Ebenfalls in den Zeilen 5 bis 8 werden die Kippmomente M_k der Teilflächen durch Multiplikation der Windkräfte mit den Hebeln errechnet. Dabei wird zwischen den vertikalen (Zeilen 5, 8) und den horizontalen (Zeilen 6, 7) Windlasten unterschieden. Die Hebellängen ergeben sich aus den betrachteten Kipp-Punkten (eingezeichnet in **Bild 1**). Wichtig ist, dass die relevanten Hebel immer senkrecht zur Last stehen. Momente gegen den Uhrzeigersinn werden mit positivem, Momente im Uhrzeigersinn mit negativem Vorzeichen gezählt. Die Seitenwände sind symmetrisch und kompensieren sich gegenseitig bei frontalem Wind.

Zeilen 9 bis 11: Das resultierende Kippmoment ergibt sich aus der Summe der Teil-Kippmomente. Dieses wird mit dem Sicherheitsbeiwert von 1,2 multipliziert. Das Kippmoment durch Wind kann also nach der Rechnung bis zu 396,6 kNm im Uhrzeigersinn betragen. Aufgrund des Gewichtes der Konstruktion wird das Standmoment mit 490 kNm berechnet. Es ist also größer als das berechnete Kippmoment. Die Konstruktion ist kippsicher!

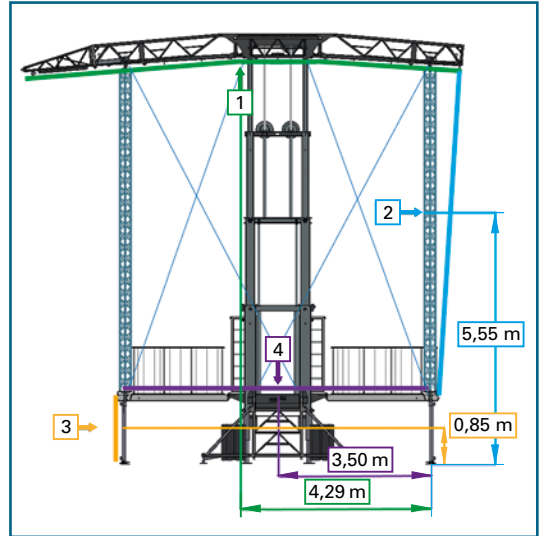


Bild 1: Trailerbühne

Beispiel 1: Kippsicherheit einer Trailerbühne

Teil	Fläche	Staudruck im Betrieb	
1 Dach	$A_1 = 12,5 \text{ m} \cdot 9,9 \text{ m} = 123,75 \text{ m}^2$	$q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$ ($h > 8 \text{ m}$)	
2 Rückwand	$A_2 = 12,5 \text{ m} \cdot 7,7 \text{ m} = 96,25 \text{ m}^2$	$q_k = 0,218 \text{ kN/m}^2$ (h gemittelt)	
3 Podium Front-Verkleidung	$A_3 = 12,5 \text{ m} \cdot 1,7 \text{ m} = 21,25 \text{ m}^2$	$q_k = 0,20 \text{ kN/m}^2$ ($h < 8 \text{ m}$)	
4 Podium (nur festes Podium angesetzt)	$A_4 = 12,5 \text{ m} \cdot 7,0 \text{ m} = 87,50 \text{ m}^2$		
Teilfläche	Windkraft $W = c_f \cdot q \cdot A$	Hebel H	Kippmoment $M_k = W \cdot H$
5 Dachfläche (1)	$W_v = -(1,4 \cdot 0,3 \cdot 123,75) \text{ kN} = -51,98 \text{ kN}$	$H_h = 4,29 \text{ m}$	$M_k = -223,0 \text{ kNm}$ ☹
6 Rückwand (2)	$W_h = (1,3 \cdot 0,218 \cdot 96,25) \text{ kN} = 27,28 \text{ kN}$	$H_v = 5,55 \text{ m}$	$M_k = -151,4 \text{ kNm}$ ☹
7 Podiumsverkleidung (3)	$W_h = (1,4 \cdot 0,2 \cdot 21,25) \text{ kN} = 5,95 \text{ kN}$	$H_v = 0,85 \text{ m}$	$M_k = -5,06 \text{ kNm}$ ☹
8 Podiumsfläche (4)	$W_v = (0,8 \cdot 0,2 \cdot 87,50) \text{ kN} = 14,0 \text{ kN}$	$H_h = 3,50 \text{ m}$	$M_k = +49,0 \text{ kNm}$ ☺
9 Resultierendes Kippmoment	$M_{k,res} = -330,46 \text{ kNm}$ ☹		
10 Kippmoment inkl. Sicherheitsbeiwert	$M_k' = \nu \cdot M_{k,res} = -1,2 \cdot 330,46 \text{ kNm} = -396,6 \text{ kNm}$		
11 Standmoment (Kraft durch Eigenlast $G_k = 140 \text{ kN}$)	$M_{st} = G_k \cdot h_v = 140,0 \text{ kN} \cdot 3,5 \text{ m} = 490 \text{ kNm}$		

6.6.3 PA-Türme

PA-Türme oder -Tower gibt es in Gerüst- und Traversen-Bauweise. Bei der Ausgestaltung von PA-Türmen stehen drei Punkte im Vordergrund: die Kippsicherheit, die Biegebeanspruchung im Mast und die mögliche Schwingungsanfälligkeit. In **Bild 1** wurde die Biegebeanspruchung durch ein Zugseil entschärft. Zwar erhöht sich dadurch die Druckbeanspruchung im Mast, jedoch wären die Biegemomente ungleich höher beanspruchend. Ähnliche statische Systeme findet man auch bei Turmdrehkränen in der Bau-Branche. Auch diese nutzen aus, dass ein Biegemoment in ein Zug- und Druck-Kräftepaar gewandelt werden kann.

Oftmals werden für Traversentürme spezielle Basements entwickelt, um eine bessere Standsicherheit zu gewährleisten. **Bild 2** zeigt einen Stahl-Basement-Rahmen zur Füllung mit Beton zur Erhöhung der Standmomente. Für den Gabelstapler sind Fork-Kanäle eingebaut. Das Trucking-Maß beträgt $2,40\text{ m} \times 2,40\text{ m}$. Für eine Abspannung sind außenliegende Seillaschen angebracht. In dieser Bauform entspricht ein Tower dem „Euler-Knickfall 1“ (s.u.).

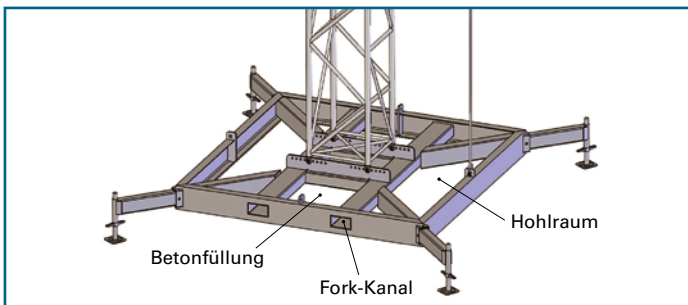


Bild 2: Basement zu PA-Turm

Sollen große Höhen und hohe Lasten erreicht werden, so ist ein abgespannter Tower (**Bild 3**) sinnvoll, da auf diese Weise die Knicklänge von Eulerfall 1 ($l_{cr} = 2 \cdot L$) auf Eulerfall 2 ($l_{cr} = L$) auf die Hälfte reduziert wird. Die Eulerfälle sind in **Kapitel ##** erklärt.

Die Möglichkeit abgespannter Tower sollte bei der grundsätzlichen Planung bedacht werden. Die Schwingungsanfälligkeit wird in diesem System ebenfalls reduziert. Das zugehörige Basement (**Bild 4**) ist modular mit Center und Auslegern bestückt und kann individuell an die Kippempfindlichkeit angepasst werden.

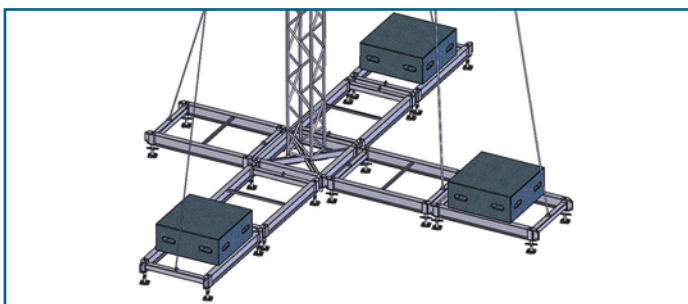


Bild 4: Basement zu PA-Turm mit Abspannungen

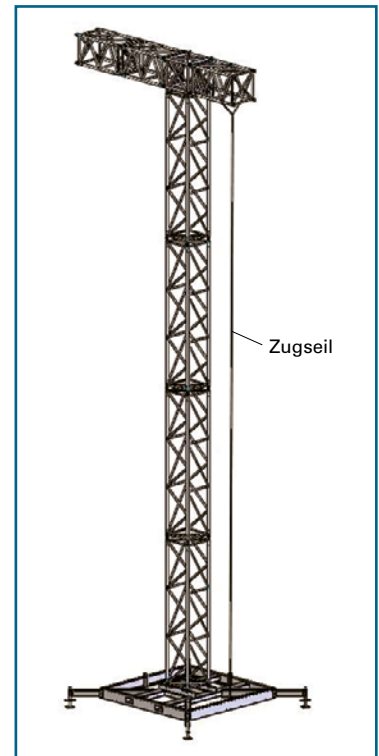


Bild 1: PA-Turm

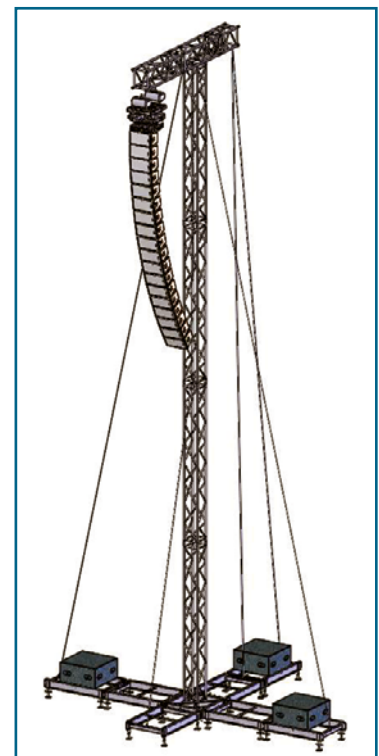


Bild 3: PA-Turm mit Abspannungen

7 Energieversorgung



7 Energieversorgung

7.1 Gefahren im Umgang mit dem elektrischen Strom

Die meisten Unfälle im Umgang mit dem elektrischen Strom geschehen durch Unachtsamkeit. Um eine Gefährdung zu vermeiden oder zu verringern, ist bei der Nutzung elektrischer Energie besondere Sorgfalt erforderlich.

7.1.1 Wirkungen des elektrischen Stroms im menschlichen Körper

Der elektrische Strom ist für den Menschen und für Tiere aus mehreren Gründen gefährlich. Alle Flüssigkeiten der menschlichen und tierischen Körper, z. B. Schweiß, Speichel, Blut und Zellflüssigkeit, sind Elektrolyte, d.h., sie leiten den elektrischen Strom.



Menschliche und tierische Körper leiten den elektrischen Strom.

Fast alle menschlichen Organe funktionieren aufgrund elektrischer Impulse, die vom Gehirn ausgehen. So steuern schwache elektrische Impulse von etwa 50 mV z. B. die Bewegung der Muskeln. Die Impulse werden vom Gehirn durch Nerven an die Muskeln herangeführt. Ist ein Nerv unterbrochen, arbeitet der Muskel nicht mehr, er ist gelähmt. Zwischen den Gehirnzentren, z. B. zwischen Sehzentrum, Bewegungszentrum oder Schmerzzentrum, fließen ebenfalls elektrische Ströme. Der Tod (Gehirntod) wird durch Messen dieser Gehirnströme festgestellt.

Viele Ströme (körpereigene Ströme) können über Elektroden erfasst und gemessen werden. So zeigt z. B. das **EKG** (Elektrokardiogramm) die elektrische Aktivität des Herzens, das **EEG** (Elektroenzephalogramm) die elektrische Aktivität des Gehirns.

Auch das Herz funktioniert durch elektrische Ströme, die es selbst erzeugt. Es ist also nicht vom Gehirn abhängig. Das Herz erzeugt je Minute etwa 80 Impulse, die der Herzmuskel mit je einer Kontraktion (Zusammenziehung) beantwortet. Wird die nötige Anzahl an Impulsen je Minute nicht mehr geliefert, schlägt es zu langsam.



Von außen kommende Ströme (Fremdstöme) können die Funktion von Organen beeinflussen.

Fließt ein Strom durch den menschlichen Körper, z. B. beim Berühren eines unter Spannung stehenden Leiters, so verkrampfen sich die Muskeln, wenn der von außen kommende Strom viel größer ist als der körpereigene Strom. Der Verunglückte ist dann unfähig, die Berührungsstelle wieder loszulassen. Die Reaktionen auf den menschlichen Körper sind abhängig von der Stromart (Gleich- oder Wechselstrom), vom Stromweg durch den Körper, von der Einwirkdauer und der Stärke des Berührungstroms I_B durch den Körper. Aus Untersuchungen hat man vier Wirkungsbereiche festgelegt (**Bild 1**).

Fließt Wechselstrom über das menschliche Herz, so versucht es den schnelleren und stärkeren Impulsen von außen zu folgen. Es arbeitet deshalb schneller. Dabei kommt es zu Rhythmusstörungen des Herzens, d. h., das Herz arbeitet unregelmäßig. Fällt der Stromfluss in die sogenannte vulnerable (verletzliche) Phase, kommt es zu dem gefährlichen **Herzkammerflimmern**. Als Folge davon fällt die Herzstätigkeit aus mit anschließendem Kreislaufstillstand. Aufgrund des Sauerstoffmangels kommt es bereits nach kurzer Zeit zur Schädigung der Gehirnzellen und führt im weiteren Verlauf zum Tod.

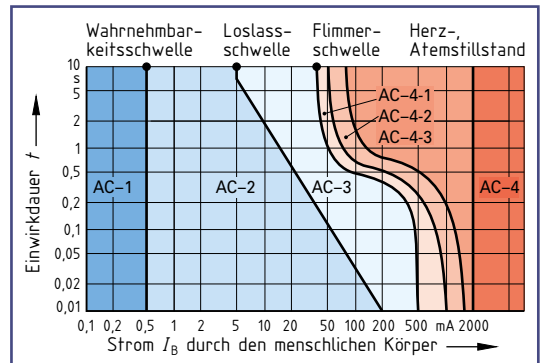


Bild 1: Zeit-Strombereiche bei Wechselstrom 50 Hz und einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen (VDE V 0140-479-1)

7.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik

7.2.1 Elektrische Spannung

Spannungserzeugung

In Spannungsquellen werden elektrische Ladungen voneinander getrennt. Dabei entsteht an einem Pol der Spannungsquelle ein Elektronenüberschuss und an dem anderen Pol ein Elektronenmangel. Der Pol mit Elektronenüberschuss ist negativ geladen und wird **Minuspol** genannt, der Pol mit Elektronenmangel ist positiv geladen und wird **Pluspol** genannt. Zwischen Pluspol und Minuspol einer Spannungsquelle kann man eine Spannung messen. Bei der Ladungstrennung werden Ladungen verschoben. Da zwischen ungleichartigen Ladungen Anziehungskräfte wirken, muss dazu Arbeit verrichtet werden. Diese Arbeit ist als Energie in den Ladungen gespeichert.

☛ Durch Ladungstrennung wird Spannung erzeugt. Getrennte Ladungen haben das Bestreben, sich auszugleichen.

Zur Veranschaulichung dient die mechanische Spannung in einem Gummiband. Zwei Kugeln an beiden Enden eines Gummibandes befestigt, stellen die positive und negative Ladung dar. Sind die beiden Kugeln dicht beieinander, besteht keine Spannung im Gummiband. Zieht man mit einer Kraft F die Kugeln auseinander, herrscht eine Spannung im Gummiband. Erhöht man die Kraft, zum Auseinanderziehen der Kugeln, steigt die Spannung im Gummiband. Trennt man nun zwei Kugelpaare mit der gleichen Kraft wie zuvor, können sie nur noch halb so weit auseinandergezogen werden, im Gummiband herrscht nur noch die halbe Spannung. Die Spannung ist umso größer, je mehr Arbeit zur Trennung pro Kugel (Ladung) aufgewendet wurde.

☛ Die erzeugte Spannung U ist die bei der Ladungsverschiebung aufgewendete Arbeit W pro Ladung Q (**Formelkasten rechts**).

Spannung am Verbraucher

Wird ein Verbraucher an eine Spannungsquelle angeschlossen, gleichen sich die getrennten Ladungen über den Verbraucher aus. Die bei der Ladungstrennung gespeicherte Energie wird in Arbeit umgesetzt, am Verbraucher misst man eine Spannung (**Bild 2, S. 9**).

☛ Die Spannung am Verbraucher ist die bei der Ladungsverschiebung frei werdende Arbeit W pro Ladung Q (**Formelkasten rechts**).

Potenziale in elektrischen Schaltungen

In elektrischen Schaltungen können Messpunkte auf unterschiedlichem Potenzial liegen. Z. B. liegt der Anschluss 4 des Netzteils (**Bild 1**) auf dem Potenzial $\varphi_4 = 9 \text{ V}$.

Zwischen Anschluss 4 des Netzteils (**Bild 1**) mit dem Potenzial $\varphi_4 = 9 \text{ V}$ und Masse mit $\varphi_1 = 0 \text{ V}$ herrscht eine Spannung von 9 V . Zwischen demselben Anschluss und Anschluss 3, mit dem Potenzial $\varphi_3 = 6 \text{ V}$ liegt jedoch die Spannung $U_{43} = \varphi_4 - \varphi_3 = 9 \text{ V} - 6 \text{ V} = 3 \text{ V}$.

☛ Das Potenzial φ bezieht sich immer auf einen Bezugspunkt (Masse). Zwischen zwei Punkten mit unterschiedlichen Potenzialen herrscht eine Spannung (**Formelkasten rechts**).

Spannung	
Formelzeichen	U
Einheitenname	Volt ¹
Einheitenzeichen	V
Einheitenvorsätze (Beispiele)	
1 mV	$= 1 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 0,001 \text{ V}$
1 kV	$= 1 \cdot 10^3 \text{ V} = 1000 \text{ V}$
1 MV	$= 1 \cdot 10^6 \text{ V} = 1000000 \text{ V}$
$U = \frac{W}{Q}$ $[U] = \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = \frac{\text{VAs}}{\text{As}} = \text{V}$	
U Spannung	Q Ladung
W Arbeit	

Tabelle 1: Spannungsbeispiele	
Monozelle	1,5 V
Autobatterie	12 V
Wechselstromnetz	230 V
Drehstromnetz	400 V
Höchstspannung	220 kV, 380 kV
Blitz	bis 1000 MV

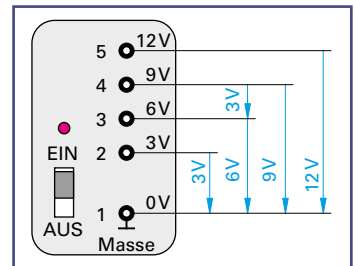


Bild 1: Potenziale


Spannung als Potentialdifferenz	
$U_{mn} = \varphi_m - \varphi_n$	
U Spannung	φ^2 Potenzial

¹ nach Volta, ital. Physiker, 1745 bis 1827; ² φ griech. Kleinbuchstabe phi.

7.8 Elektrische Anlagen


7.8.1 Hauptstromversorgungssysteme

Hauptstromversorgungssysteme bestehen aus den Hauptleitungen und allen Betriebsmitteln nach der Übergabestelle (Hausanschluss) des Netzbetreibers, die nicht gemessene elektrische Energie führen.


 Hauptleitungen sind Drehstromleitungen mit einer Mindeststrombelastbarkeit von 63 A. Der Leiterquerschnitt muss mindestens 10 mm² Kupfer betragen.

Hauptleitungen verlegt man in leicht zugänglichen Räumen, z.B. in Treppenträumen. Die Leitungen sind oberhalb der Kellerdecke in Rohren, Schächten, Kanälen oder unter Putz zu verlegen. Überstrom-Schutzeinrichtungen für Hauptleitungsabzweige ordnet man in unmittelbarer Nähe der Abzweigstelle in Gehäusen mit getrennten Abdeckungen an. Der Abstand der Abzweigstelle vom Fußboden soll mindestens 0,5 m und nicht mehr als 1,85 m betragen. Mindestbelastbarkeit von Hauptleitungen siehe **Bild 1**.

Messeinrichtungen und Tarifsteuergeräte sind in Zähler-schränken (**Bild 2**) zu montieren.

 Messeinrichtungen und Steuergeräte müssen frei zugänglich und ohne Hilfsmittel ablesbar sein.

Als Montageort wählt man z.B. den Hausanschlussraum oder Zählernischen (Mindestabmessungen der Zählernischen siehe **Tabelle 1**).

 Der Abstand vom Fußboden bis zur Unterkante des Zähler-schranks muss nach DIN 18013 mindestens 0,4 m, von der Oberkante des Zähler-schranks bis zur Decke mindestens 0,2 m betragen.

Messeinrichtungen sind gegen mechanische Beschädigung, Verschmutzung und Feuchtigkeit zu schützen. Deshalb ist eine Montage in feuergefährdeten Betriebsstätten, in Räumen mit erhöhter Temperatur oder in feuchten Räumen verboten. Im Zähler-schrank ist neben den Zählerfeldern in Abstimmung mit dem Netzbetreiber ein Montageplatz für die Tarifsteuerung vorzusehen, z.B. durch Rundsteuerempfänger oder Funksteuergeräte. Ein getrenntes Feld (**Bild 2**) für die Multimediaverkabelung des Gebäudes ermöglicht den Ausbau und die Anpassung an zukünftige Kommunikationssysteme.

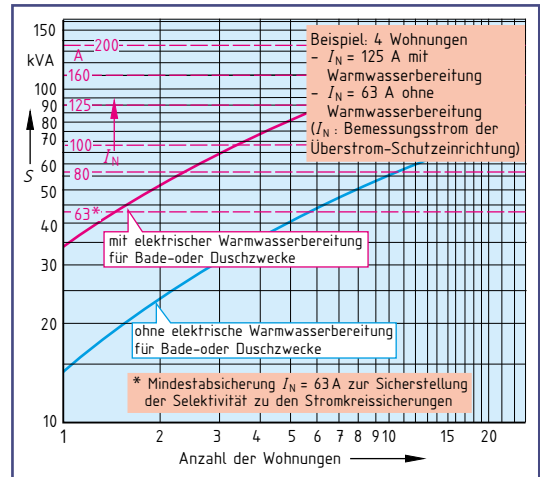


Bild 1: Mindeststrombelastbarkeit von Hauptleitungen in Wohngebäuden ohne Elektroheizung

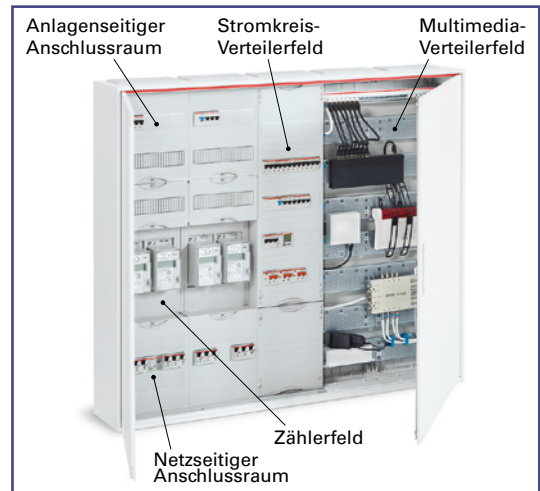


Bild 2: Aufbau eines Zähler-schranks (Beispiel)


Tabelle 1: Nischenmaße für teilversenkte und vollversenkte Zähler-schränke (nach DIN 18013)

Anzahl der Zählerfelder	Mindestmaße der Zähler-schranks-nische in mm			
	Breite	Tiefe teilversenkt	Tiefe vollversenkt	Höhe*
1	325	140	225	1125 oder 1425
2	575	140	225	
3	825	140	225	
4	1075	140	225	
5	1325	140	225	

* Abhängig von der Bestückung des Zähler-schranks

7.9.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs¹) schützen Personen, Nutztiere und Sachwerte bei Versagen des Basis- oder Fehlerschutzes (Seite 264). RCDs unterstützen zusätzlich, z. B. im TN-System oder TT-System, die angewendeten Schutzmaßnahmen. Da auch Isolationsfehler überwacht und unzulässige Kriechströme abgeschaltet werden, dienen RCDs zusätzlich dem Brandschutz.

 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (Bild 2) schalten Betriebsmittel in kurzer Zeit allpolig ab, wenn bedingt durch Isolationsfehler eine gefährliche Berührungsspannung U_B über dem maximal zulässigen Wert von 50 V auftritt.


Aufbau und Funktion

Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (Bild 1) besteht im Wesentlichen aus drei Funktionsgruppen:

- Der Summenstromwandler mit den Differenzialspulen dient im Fehlerfall zur Erfassung des Fehlerstromes I_Δ und zur Spannungserzeugung in der Messwicklung für den Fehlerstromauslöser.
- Die Messwicklung erregt den Fehlerstromauslöser. Es erfolgt eine mechanische Entklinkung.
- Die mechanische Entklinkung des Schalterschlosses bewirkt ein Trennen des Stromkreises.

Alle aktiven Leiter (z. B. L1, L2, L3, N), vom Netz zum zu schützenden Betriebsmittel, werden durch einen **Summenstromwandler (Bild 1)** geführt. Im fehlerfreien Zustand ist die Summe der zu- und abfließenden Ströme null. Die magnetischen Wechselfelder der Leiter im Summenstromwandler heben sich auf. In der Ausgangswicklung des Summenstromwandlers wird keine Spannung induziert.

Im Fehlerfall, z. B. bei Erdschluss eines Leiters oder bei Körperschluss eines Betriebsmittels, fließt ein Fehlerstrom über den PE-Leiter oder Erde zur Stromquelle zurück. Die Summe der zu- und abfließenden Ströme ist nicht mehr null. In der Ausgangswicklung des Summenstromwandlers wird nun eine Spannung induziert, die einen elektromagnetischen Fehlerstromauslöser auslöst (Bild 1) und alle geschützten Betriebsmittel allpolig vom Netz trennt. Mit der Prüftaste kann ein Fehler simuliert werden (Bild 2). Damit lässt sich aber nur die Auslösefunktion der RCD prüfen, jedoch nicht die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme.

 Die Auslösung der RCD mit der Prüftaste ist nach DGUV, Vorschrift 3 vom Betreiber der Anlage bei nicht stationären Anlagen, z. B. auf Baustellen, an jedem Arbeitstag, bei stationären Anlagen, z. B. in Fertigungsräumen, alle 6 Monate zu prüfen.

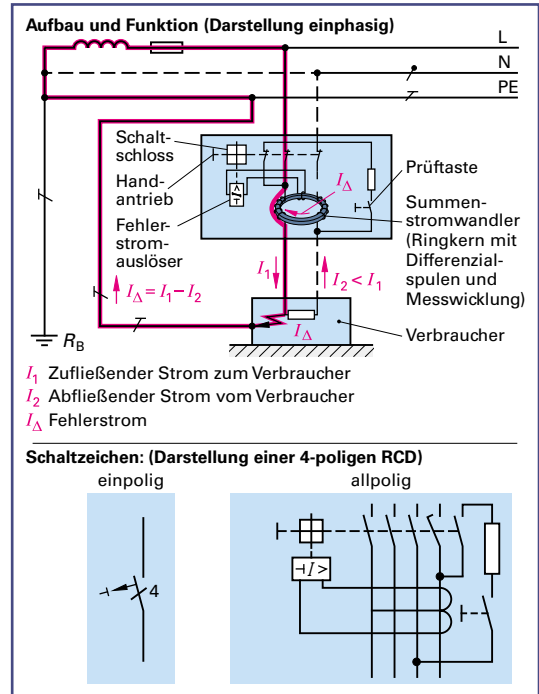


Bild 1: Aufbau, Funktion und Schaltzeichen einer RCD

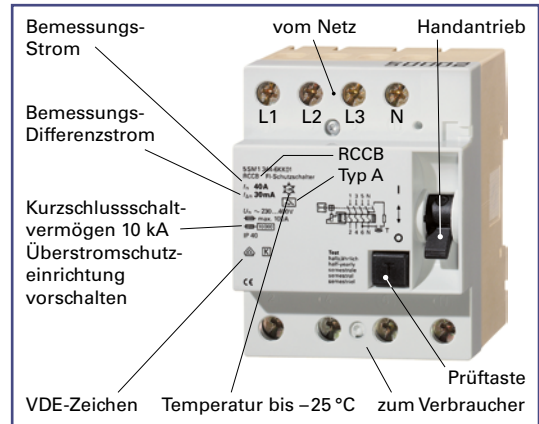


Bild 2: Fehlerstrom-Schutzeinrichtung RCCB, 4-polig

¹ RCD, Abk. für: Residual Current Protective Device (engl.) = Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Beim Messverfahren der Fehlerschleifenimpedanz (**Seite 273**) ist der Belastungsstrom I wesentlich kleiner als der im Fehlerfall auftretende Kurzschlussstrom I_K . Durch den hohen Kurzschlussstrom I_K könnte die Temperatur im Leiter ansteigen und die Fehlerschleifenimpedanz erhöhen. Nach DIN VDE 0100-600, Anhang D.6.4.3.7.2 soll deshalb die durch Messen ermittelte Fehlerschleifenimpedanz Z_S mit der maximal zulässigen Fehlerschleifenimpedanz überprüft werden (**siehe Beispiel, Seite 273**).



Die Fehlerschleifenimpedanz ist die Summe aller Widerstände des Verteilungsnetzes und Leitungen im Endstromkreis, in der Praxis ca. 1 Ω .

Sind Widerstandswerte von z. B. 5 Ω bei gleicher Leitungslänge vorhanden, so wäre ein Fehler, z. B. eine schlechte Klemmstelle, in der Anlage möglich.

In der Praxis wird die Fehlerschleifenimpedanz meist mit Multifunktionsmessgeräten bestimmt, die den Kurzschlussstrom und die Fehlerschleifenimpedanz direkt anzeigen (**Bild 1**).

Da bei der normalen Fehlerschleifenwiderstandsmessung eine vorhandene Fehlerstrom-Schutzeinrichtung auslöst, bieten neuere Messgeräte auch die Möglichkeit, die Fehlerschleifenimpedanz in Anlagen mit RCD zu messen, ohne dass die RCD auslöst.

Prüfen der automatischen Abschaltung im TT-System

Damit Überstrom-Schutzeinrichtungen im Fehlerfall auslösen, muss der Wert der Fehlerschleifenimpedanz $Z_S \leq U_0/I_a$ sein (**Seite 259**). Werden Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) eingesetzt, sind die Abschaltzeiten (**Tabelle 1, Seite 259**) und die Bedingung für den Erdungswiderstand $R_A \leq 50 V/I_{\Delta N}$ (**Tabelle 2, Seite 259**) zu erfüllen.

Messen des Erdungswiderstandes

Wird als Schutz im TT-System eine RCD gewählt, muss der erforderliche Bemessungs-Differenzstrom $I_{\Delta N}$ fließen. Als Nachweis muss der Erdungswiderstand R_A durch Messung, z. B. aus dem Messwert einer Strom-Spannungsmessung (**Bild 2**) oder mit Messgeräten (**Bild 2, Seite 275**) ermittelt werden. Jahreszeitliche Einflüsse, z. B. Umgebungstemperatur oder Bodenfeuchte, sind bei der Beurteilung der Messergebnisse zu berücksichtigen.



Bild 1: Messen der Fehlerschleifenimpedanz mit einem Multifunktionsmessgerät nach DIN VDE

Tabelle: Prüfungen im TN-, TT- und IT-System

System	Prüfung und Anforderungen
TN	<ul style="list-style-type: none"> Messen des Isolationswiderstandes, Seite 271 Messen der Fehlerschleifenimpedanz, Seite 273 Messen des Kurzschlussstromes I_K, Seite 258 Prüfen der Abschaltbedingung unter Berücksichtigung der Abschaltzeiten, Seiten 258, 273
TT	<ul style="list-style-type: none"> Messen des Isolationswiderstandes, Seite 271 Messen der Fehlerschleifenimpedanz, Seite 259 Messen des Erdungswiderstandes, Prüfen der Abschaltbedingung unter Berücksichtigung der Abschaltzeiten, Seite 259
IT	<ul style="list-style-type: none"> Prüfen der Isolationsüberwachung, Seite 275 Messen des Erdungswiderstandes R_A Künstlichen Fehler (Erdschluss) herstellen Messen des Fehlerstromes I_d Berechnung der Berührungsspannung aus dem Produkt $R_A \cdot I_d \leq 50 V$

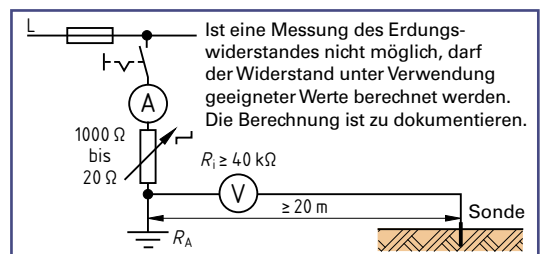


Bild 2: Messen des Erdungswiderstandes

Erdungswiderstand

$$R_A = \frac{U_E}{I_E} \quad R_A \leq \frac{U_L}{I_a} \quad R_A \leq \frac{50 V}{I_{\Delta N}}$$

- R_A Erdungswiderstand
- U_E Erderspannung bei der Prüfung
- I_E Erderstrom bei der Prüfung
- $I_{\Delta N}$ Bemessungs-Differenzstrom der RCD
- U_L zulässige Berührungsspannung 50 V
- I_a Auslösestrom der Überstrom-Schutzeinrichtung

8 Beleuchtungstechnik



8 Beleuchtungstechnik

8.1 Physikalische Grundlagen

8.1.1 Definition von Licht

Als Licht bezeichnet man den Teil des elektromagnetischen Spektrums, der mit dem Auge wahrgenommen werden kann. Die optischen Wellen werden in der überwiegenden Mehrzahl durch die Strahlung erhitzter Körper, also auf thermischem Wege hervorgebracht. Sie können auch durch elektrische Entladungen in Gasen, durch Fluoreszenz, Phosphoreszenz, chemische Umwandlung usw. erzeugt werden. Dann rührt die Lichterscheinung nicht von der Temperatur der Lichtquellen her. Alle nicht durch die Temperatur verursachten Leuchterscheinungen fasst man unter dem Begriff Lumineszenz zusammen. Abgesehen von diesen äußeren Unterschieden ist der Mechanismus der Lichtaussendung in allen Fällen gleich. Es handelt sich um Atomschwingungen, Molekülschwingungen oder um Elektronenübergänge in der äußeren Atomhülle. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt im Vakuum ca. 300000 km/s.

8.1.2 Elektromagnetisches Spektrum

Das sichtbare Spektrum liegt zwischen den Wellenlängen von 380 nm bis 780 nm, also zwischen dem ultravioletten und dem infraroten Bereich (**Bild 1** und **Tabelle 1**).

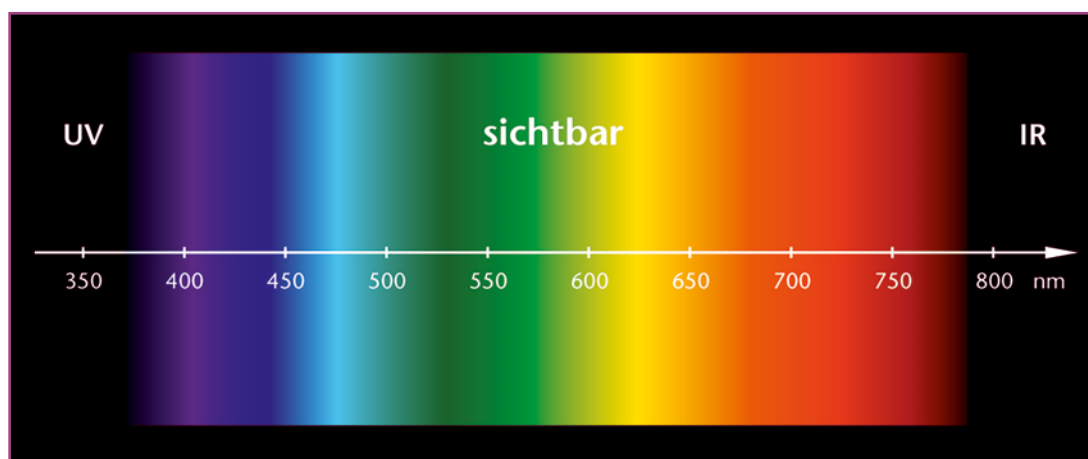


Bild 1: Sichtbares Licht

Tabelle 1: Strahlenbereiche

Bezeichnung	Wellenlängenbereich
Ultraviolettstrahlung – C (UV-C)	100 nm – 280 nm
Ultraviolettstrahlung – B (UV-B)	280 nm – 315 nm
Ultraviolettstrahlung – A (UV-A)	315 nm – 380 nm
Sichtbares Licht	380 nm – 780 nm
InfraRot A (IR-A)	780 nm – 1,4 µm
InfraRot B (IR-B)	1,4 µm – 3 µm
InfraRot C (IR-C)	3 µm – 1 mm

Tabelle 1: Farbwiedergabe unterschiedlicher Lichtquellen

Farbwiedergabe-eigenschaft	Farbwiedergabe-Index R_a /CRI	Lampenbeispiele
Sehr gut	100	Halogenleuchtstofflampen ($R=100$)
Sehr gut	90	Metall dampflampen wie HMI, MSR
Sehr gut	80 – 90	HQI, MHD
Gut	70 – 79	Standardleuchtstofflampen in Büros
Genügend	60 – 69	Standardleuchtstofflampen in Kellern oder Industriehallen
Genügend	40 – 59	HQL
Ungenügend	39	Na-Hochdruck-Lampen und Niederdruckentladungslampen

Spektrometer

Spektrometer werden inzwischen in einer Vielzahl von tragbaren Geräten angeboten. Die Messergebnisse werden in Form von Farbtafeln grafisch dargestellt, ergänzend können Farbwerte in direktem Vergleich mit den Referenzen abgebildet sein sowie das Maß an Abweichungen in Prozent.

Bild 1 zeigt eine Analyse der Eigenschaften einer Leuchtstofflampe. Zu erkennen ist ein Balkendiagramm der 15 Normfarben mit einer entsprechenden Bewertung des Farbwiedergabe-Indexes. Darunter finden sich folgende Angaben: Farbtemperatur (CCT), Farbwiedergabe-Index (CRI), Kameraindex (TLCI), Beleuchtungsstärke (LUX) und das Strahlungsmaximum in nm (LambdaP).

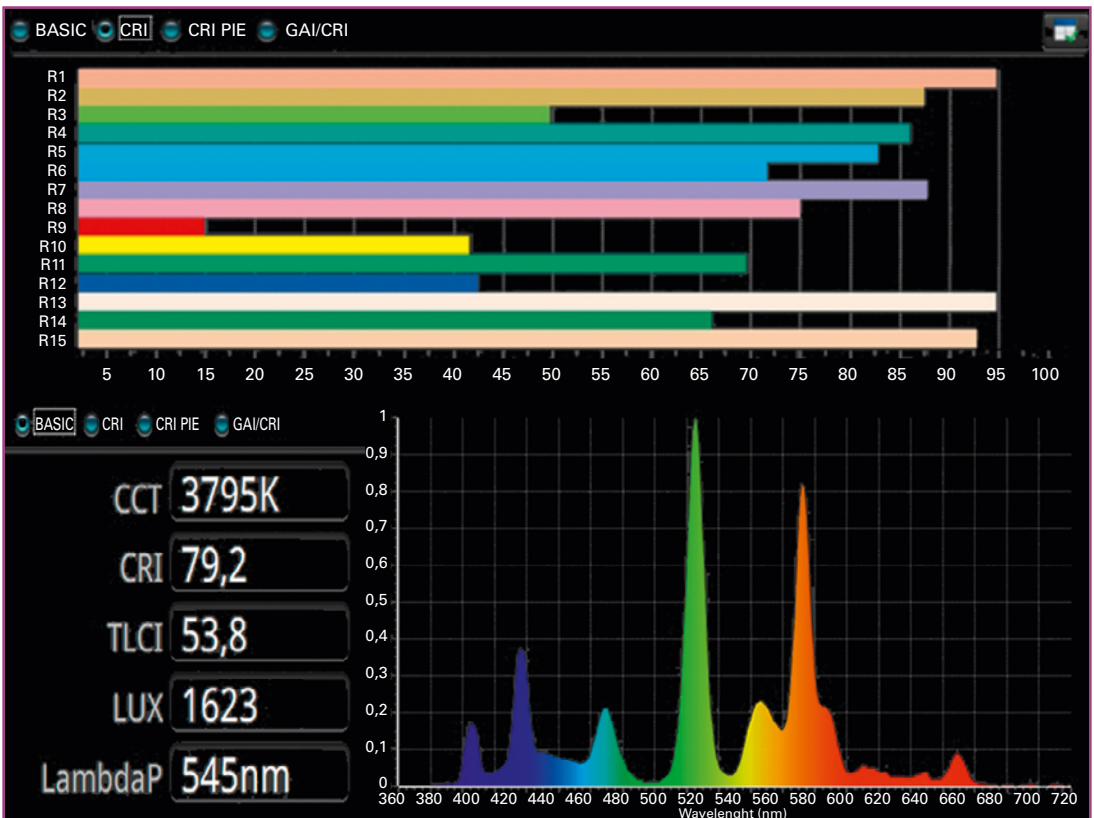


Bild 1: Bestimmung der Farbwiedergabe mit einem Spektrometer (Bsp. Leuchtstofflampe)

8.5 Grundlagen des menschlichen Sehens

8.5.1 Aufbau des Auges

Das Auge bildet Objekte auf der Netzhaut mithilfe eines optischen Systems ab. Im Zusammenwirken mit der Veränderung der Pupillengröße kann sich das Auge auf Beleuchtungsverhältnisse einstellen, die von 100 000 lx bis 1 lx variieren können. Den Aufbau des Auges sowie die Funktion der einzelnen Teile zeigt **Bild 1**.

Die Cornea (1) verleiht dem Augenwasser im vorderen Auge die Form einer Linse. Diese Linse wird durch die Kammerflüssigkeit (2) gebildet. Über die Iris (3) wird der Lichteinfall in das Auge kontrolliert. Dahinter befindet sich eine zweite Linse, die Augenlinse (4), die dafür zuständig ist, das Bild auf der Netzhaut scharf abzubilden.

Im Inneren des Auges zwischen der Augenlinse und der Netzhaut befindet sich ein sogenannter Glaskörper (5), der dem Organ seine Stabilität verleiht und den Abstand von der Linse zur Netzhaut definiert.

Das einfallende Licht wird auf die Netzhaut (6) projiziert und dort von den lichtempfindlichen Zellen in elektrische Signale umgewandelt. Auf der Netzhaut findet sich der Gelbe Fleck (7) – der Ort mit den meisten farbempfindlichen Zellen, also dem schärfsten Sehen. Die von der Netzhaut erzeugten elektrischen Signale werden vom Sehnerv (8) an das Gehirn weitergeleitet und dort im Visuellen Cortex (9) verarbeitet.

Das Auge nimmt Licht von 380 nm (blau) bis 780 nm (rot) wahr. Es hat zwei Arten von lichtempfindlichen Rezeptoren:

- 1. Zapfen** für die Farbwahrnehmung mit einer maximalen Lichtempfindlichkeit bei einer Wellenlänge von 555 nm (**Bild 2**).
- 2. Stäbchen** für die Helligkeitswahrnehmung, die das Schwarz-Weiß-Sehen ermöglichen mit einer maximalen Empfindlichkeit bei 507 nm (**Bild 2**).

Daraus ergibt sich die V-Lambda-Kurve (**Bild 3**), die durch Übereinanderlegen von Grautafeln und Farbtafeln visualisiert werden kann. Dazu werden die grauen und die farbigen Bereiche zerteilt und nebeneinandergelegt. Das Auge nimmt eine Kurve in der Helligkeit wahr, obwohl sich an der Helligkeit der einzelnen Bilder nichts geändert hat.

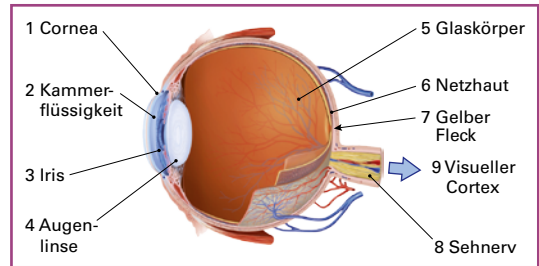


Bild 1: Aufbau des menschlichen Auges

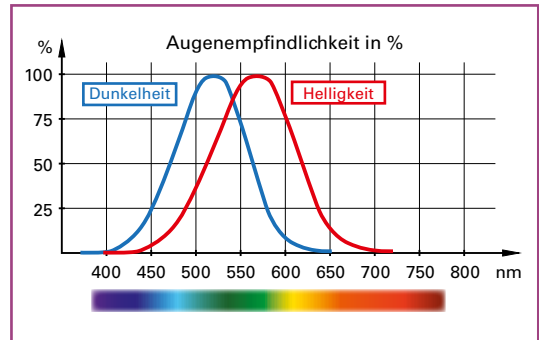


Bild 2: Tagwert- und Nachtwertkurve

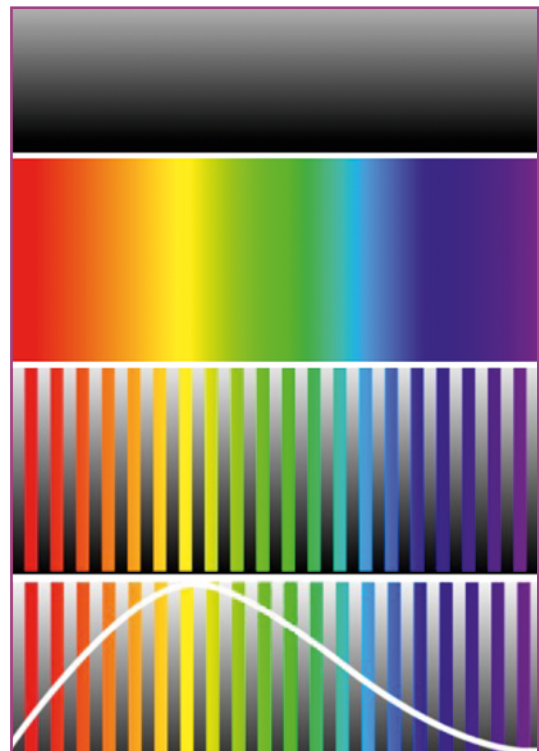


Bild 3: V-Lambda-Kurve

8.10 Beleuchtung im Theater



Bild 1: Theaterbühne

Spielflächen werden aus Lichtquellen verschiedener Leistungsstufen beleuchtet, Personen oder Objekte dabei aus verschiedenen Richtungen. Jede Lichtrichtung erzeugt eine neue Atmosphäre, indem sie andere räumliche Dimensionen vermittelt. Es gibt eine Vielzahl von Mischformen.

Vorderlicht

Zur Beleuchtung von Personen oder Objekten wird am häufigsten das Vorderlicht (**Bild 2 und Bild 3**) eingesetzt. Hierbei wird das Gesicht der Person gut ausgeleuchtet. Durch die Lichtkreise auf dem Boden sind die Schattenbildungen groß und berühren die Dekoration. Je frontaler der Lichteinfall ist, desto flacher erscheint die Person und ihr Schatten größer. Das Vorderlicht wird normalerweise durch Scheinwerfer erzeugt. Sie werden oberhalb des Zuschauer- raums auf Beleuchterbrücken installiert. Auch können sie in seitlichen Bereichen des Saals angeordnet werden. Auch Lichtzüge im Vor- bühnenbereich kommen je nach Bühnenart zum Einsatz. Es werden PC- und Stufenlinsen- sowie Profilscheinwerfer verwendet. Idealerweise hat ihr Licht einen vertikalen Einfallswinkel von ca. 45° auf die Bühne.



Bild 2: Vorderlicht

Stufenlinsenscheinwerfer sind bei größeren Distanzen zur Bühne im Arbeitsalltag ggf. problematisch. Sie besitzen einen wenig begrenzten Lichtausfall, welcher für eine erhebliche Menge an Nebenlicht sorgt. Dadurch kann die Wirkung der einzelnen Scheinwerfer nicht exakt kontrolliert werden. Um dieses Problem zu lösen, können Profilscheinwerfer (**Kapitel 8.7.1**) genutzt werden. Hier empfehlen sich solche mit Zoomoptik. Sie erlauben, je nach Entfernung zum angeleuchteten Objekt, die Einstellung des benötigten Abstrahlwinkels.



Bild 3: Vorderlicht im Theater

8.12 Lichtgestaltung

In **Kapitel 8.10** und **Kapitel 8.11** wurden die grundlegenden Beleuchtungsarten vorgestellt. Normalerweise besteht eine Lichtszene aus mehreren dieser Beleuchtungsarten. Es kommt auf den richtigen Mix der unterschiedlichen Lichtrichtungen und Helligkeiten an. So wird die gewünschte Atmosphäre erzeugt (**Bild 1**).



Bild 1: Lichtgestaltung im Theater

Die Entwicklung eines Lichtkonzeptes hängt davon ab, für welche Art von Produktion man es plant. Bei einer klassischen Theateraufführung soll das Licht eher die dramaturgische Bedeutung der Schauspieler und der Bühnengestaltung interpretieren, ohne wesentlich von der Darstellung abzulenken. Musicals benötigen hingegen ein deutlich höheres Maß an farbigem Licht und Spezialeffekten, um starke visuelle Eindrücke zu hinterlassen. Bei Livekonzerten kommt es besonders auf die Wirkung starker Lichteffekte an, wodurch die gesamte Palette kräftiger Farben sowie das bewegte Licht und die Projektionsmöglichkeiten von Movinglights gefragt sind. Im Fernsehstudio wünscht man sich eine gleichmäßige Ausleuchtung und eine einheitliche Farbtemperatur für das Erzielen eines guten Fernsehbildes.

8.12.1 Wirkung von Farben auf den Betrachter

Farben besitzen eine physiologische und psychologische Wirkung auf den Betrachter und lösen Emotionen aus. Dieser Aspekt wird heute in jeder Werbung verwendet, um Produkte vermarkten zu können. Einige denkbare Wirkungen von verschiedenen Farben sind:

Rot besitzt eine anregende Wirkung. Durch die enge Verknüpfung dieser Farbe zum Blut des Menschen ist es eine Warnfarbe. Eine weitere Bedeutung der Farbe Rot ist das Feuer, aber auch Wärme. Rot gilt aber auch als Farbe für Glück, Liebe und Sicherheit. Rot ist im Allgemeinen eine sehr prägnante Farbe und übt einen großen Reiz auf das menschliche Auge aus.

Blau erzeugt kalte Stimmungen. Es wird gerne für Nachtstimmungen eingesetzt. Blau steht aber auch für das Wasser und den Himmel.

Grün symbolisiert das Wachstum und eine belebende Vegetation, steht aber auch für Neid und Missgunst. Grün erzeugt bei einer Personenausleuchtung eine ungesunde Hautfarbe.

9 Tontechnik



9 Tontechnik

9.1 Physikalische Grundlagen

9.1.1 Schwingungen und Schwingungsüberlagerungen

Einfache Schwingungen sind allgemein betrachtet **zeitlich periodische Änderungen einer physikalischen Größe**. Mechanische periodische Schwingungen, wie zum Beispiel von Lautsprechermembranen, beschreiben Vorgänge, bei denen sich eine Masse regelmäßig um ihre Ruhelage bewegt. Ein vollständiger Schwingungsvorgang besteht in der Regel aus zwei Auslenkungen um die Ruhelage: Einer positiven (Wellenberg) und einer negativen (Wellental). **Eine einfache Schwingung (Bild 1)** wird durch folgende Kenngrößen beschrieben:

Amplitude (y_0): Die maximale Auslenkung, also der größte Abstand von der Ruhelage.

Periodendauer (T): Die Zeit, nach der sich eine Schwingung wiederholt.

Frequenz (f): Die Frequenz ergibt sich aus der Anzahl der Schwingungsperioden pro Zeiteinheit (meist auf eine Sekunde bezogen). Die Einheit lautet Hertz (Hz). $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$.

Die Überlagerung von zwei einfachen Schwingungen mit der gleichen Frequenz kann verschiedene Ergebnisse bringen:

Addition: Sind die beiden Schwingungen phasengleich, so addieren sie sich zu einer größeren Gesamtamplitude. **Bild 2** verdeutlicht den Vorgang: Schwingung A mit der Amplitude 1 (schwarz) und Schwingung B mit der Amplitude 0,5 (blau, gestrichelte Linie) addieren sich zum Ergebnis als Schwingung C mit der Amplitude 1,5 (rot, gepunktete Linie).

Auslöschung: Sind die Phasen der Schwingungen exakt um 180 Grad verschoben, so löschen sich beide Amplituden gegenseitig aus. Siehe **Bild 3**: Schwingung A mit der Amplitude 1 (schwarz) und Schwingung B mit der Amplitude 1 in umgekehrter **Phasenlage** (blau, gestrichelte Linie) löschen sich gegenseitig aus: Ergebnis ist Schwingung C (rot, gepunktete Linie).

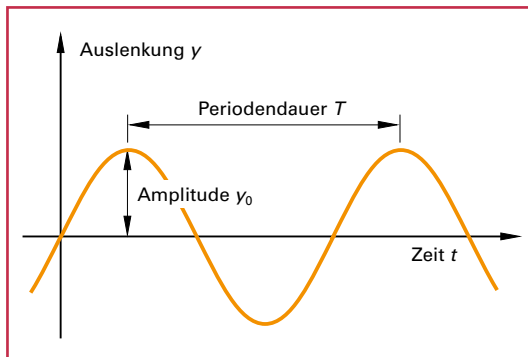


Bild 1: Periodische Schwingung

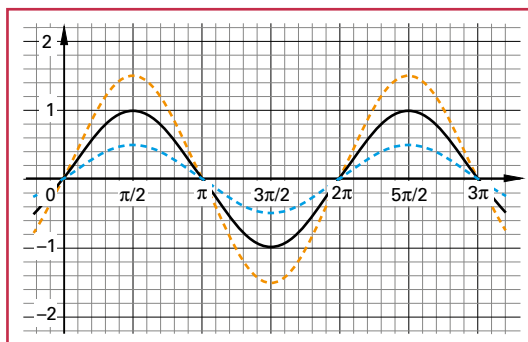


Bild 2: Addition von Schwingungen

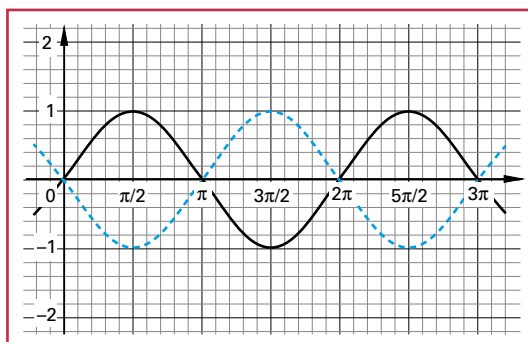


Bild 3: Auslöschung von Schwingungen

9.2 Physiologische Grundlagen

9.2.1 Das menschliche Gehör

Das Gehör ist ein Meisterwerk der Natur. Sein Wahrnehmungs- und Auflösungsvermögen ist mit maximal zehn Oktaven (20 Hz – 20000 Hz) wesentlich höher als das des Sehens mit etwa einer Oktave (ca. 380 nm – 780 nm). **Eine Verdopplung der Frequenz entspricht genau einer Oktave.** Bereits kleinste Abweichungen in der Tonhöhe können wahrgenommen werden. Der menschliche Sehsinn benötigt im Gegensatz zum Gehör deutlich größere Unterschiede, um Farbdifferenzen zu bemerken. Wird eine bestimmte Helligkeitsmindestgrenze unterschritten, wechselt der Sehsinn zunehmend von Farbwahrnehmung zum Hell-Dunkelsehen. Eine geringe Lichtstärke beeinflusst die menschliche Farbwahrnehmung. Vom Gehör hingegen werden durch physiologische Mechanismen auch leise Geräusche verstärkt und deutlich wahrgenommen.

Ankommende Schallwellen treffen zuerst auf die Ohrmuschel. Diese ist von Mensch zu Mensch leicht unterschiedlich gestaltet und so individuell wie ein Fingerabdruck. Die Ohrmuschel und das Ohrläppchen besitzen eine wichtige akustische Funktion: Durch Reflexion und Abschattung verschiedener Frequenzbereiche wird die räumliche Ortung verbessert. Besonders die Unterscheidung von frontalen und rückwärtigen Klangereignissen wird erleichtert. **Bild 1:** Über den ca. drei cm langen äußeren Gehörgang gelangen die Schallwellen auf das Trommelfell, welches das Außenohr vom Mittelohr trennt. Die dünne und sensible Membran des Trommelfells ist aus drei Schichten aufgebaut und wird durch den auftreffenden Schall in Schwingung versetzt. Im Mittelohr wird diese Schwingung über die drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel an das Innenohr weitergeleitet. Die Gehörknöchelchen erinnern in ihrer Form an die namensgebenden Objekte. Die drei Knöchelchen sind die kleinsten Knochen im menschlichen Körper. Zusammen mit dem Trommelfell sind sie so groß, dass sie auf ein 1-Cent-Stück passen.

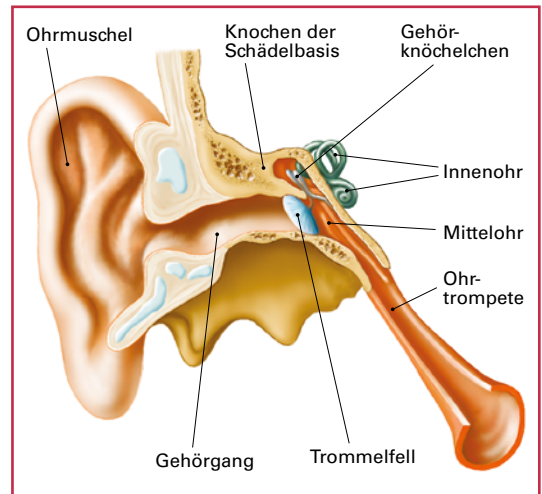


Bild 1: Anatomie des menschlichen Ohres

Verstärkung des eintreffenden Schalls: Das Trommelfell ist etwa 16-mal so groß wie der Steigbügel. Zusammen mit der Hebelwirkung, welche die drei Gehörknöchelchen erzielen, führt **die Übertragung der Schwingungen innerhalb des Gehörs zu einer rund 60-fachen Verstärkung des Schalldrucks**, bevor dieser im Innenohr ankommt und dort weiterverarbeitet wird.

Das Innenohr liegt im Felsenbein, einem sehr harten Bereich des Schädelknochens. Dort befindet sich die Hörschnecke (Cochlea), in der die eigentliche Sinneswahrnehmung geschieht. Die Hörschnecke ist ein Hohlraum mit zweieinhalb Windungen und enthält rund 18000 Hörzellen. Diese sind mit feinen Haarfortsätzen ausgestattet, die durch den auftreffenden Schalldruck ausgelenkt und damit stimuliert werden. Diese Reize werden an das Gehirn weitergeleitet. Im Gehirn erfolgt die Auswertung und Interpretation der eintreffenden Informationen.

Hierbei werden im Wesentlichen **drei Aspekte** ermittelt. Die Anzahl der erregten Sinneszellen liefert Informationen zur **Lautstärke**. Je mehr Zellen angeregt werden, umso lauter wird der Schall empfunden. Die **Tonhöhe** wird über den Ort der Sinneszellenerregung in der Hörschnecke registriert: Die Hörzellen am äußeren Teil der Cochlea sind für die hohen Frequenzen ausgelegt, je weiter man in der Schnecke nach innen vordringt, desto tiefere Töne werden wahrgenommen. Aus der zeitlichen Verzögerung der Nervenimpulse zwischen rechtem und linkem Ohr kann das Gehirn auch auf die **Schallrichtung** schließen.

Erst durch das komplexe Zusammenspiel aller Teile des Gehörs wird eine natürliche und korrekte Wahrnehmung von Schall sowie dessen Ortbarkeit möglich.

9.5 Mischpulte

9.5.1 Allgemeines

Je nach Anwendungsgebiet können der Einsatzzweck und die an das Mischpult gestellten Anforderungen sehr unterschiedlich sein. Es wird allerdings in den meisten Fällen das zentrale Werkzeug eines Tonarbeitsplatzes sein. **Die grundsätzliche Aufgabe eines Mischpults ist das Zusammenführen von verschiedenen Signalen aus unterschiedlichen Quellen zu einem Gesamtsignal, welches wiedergegeben oder aufgezeichnet wird.** Hierzu besitzt ein Mischpult verschiedene Kanalzüge, die die Einzelsignale in Pegel, Klang und Dynamik bearbeiten. Die Digitaltechnik ist auch in diesem Bereich auf dem Vormarsch, da sie verschiedene Vorteile bietet, die mit Analogtechnik nicht realisierbar wären. Auch wenn sich Analog- und Digitalpulte in einigen Punkten unterscheiden, bildet die konventionelle Arbeitsweise und etablierte Logik analoger Mixer häufig die Grundlage für moderne Mischpulte auf Digitalbasis. Bei der Anschaffung und dem Einsatz eines Mischpults sind technische Anforderungen, Bedienkonzepte und wirtschaftliche Überlegungen zu berücksichtigen. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Lösungen, die sich auch in der Art des Aufbaus zeigen.

9.5.2 Bauformen und Einsatzgebiete

Pult (FOH/Monitor/PA/Recording)

Die klassische Tischkonsole ist die bekannteste Mischpultbauart. **Die wesentlichen Bedienelemente befinden sich auf der Oberseite** des (flachen) Tischgehäuses und sind schnell im Direktzugriff zu erreichen (**Bild 1 und 2**). Im Bereich der Veranstaltungstechnik wird häufig der Begriff FOH (engl. Front Of House) als Synonym für Tischkonsolenmischpulte verwendet. Während große und komplexe Mischpulte Schreibtischgröße erreichen, sind kleinere Pult-Mixer häufig 19-Zoll-fähig und lassen sich durch Anbringung von Montagewinkeln („Rack-Ohren“) in einem entsprechenden Case zusammen mit anderem Equipment einbauen und transportieren. **Am FOH wird die Tonmischung für das Beschallungssystem vorgenommen.** Im Unterschied dazu liegt bei einem **Monitor-Mischpult der Schwerpunkt auf der Tonmischung für die Bühne**, weshalb bei Monitor-Mixern eine Vielzahl an Hilfssummen nötig ist, um die Akteure auf der Bühne mit entsprechenden Monitoring-Signalen zu versorgen. Moderne Digitalpulte lassen sich meist für beide Anwendungsszenarien konfigurieren.

Rack- und Kleinmixer

Bei **begrenzten Platzverhältnissen, als Submischer oder für Festinstallationen** werden häufig **Rack- oder Kleinmixer (Bild 3)** eingesetzt. In 19“-Racks auf der Bühne dienen diese Geräte oft dazu, mehrere Signale bereits „on stage“ zu bearbeiten (z.B. um die Signale der Keyboards vorzumischen, bevor diese an das Hauptmischpult gehen). Insbesondere Rackmischer mit wenigen Höheneinheiten (HE) besitzen

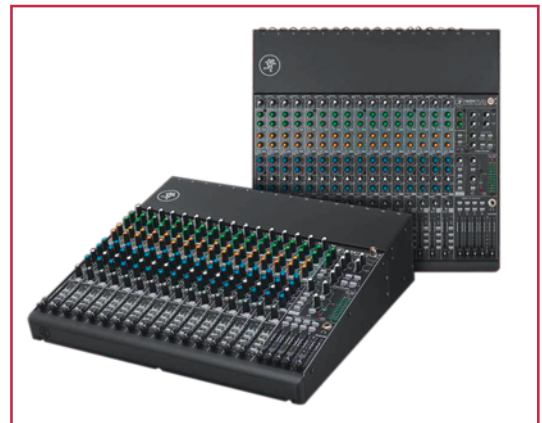


Bild 1: Analoger Klassiker: Mackie 1604 VLZ4



Bild 2: Digitaler FOH-Mixer Midas M32 Live



Bild 3: Rackmischer Tascam LM-8ST

9.8 Lautsprecher

9.8.1 Charakteristika

Die Lautsprecher sind das letzte Glied in der PA-Prozesskette und gleichzeitig eines der wichtigsten. Als elektroakustischer Wandler transformiert der Lautsprecher elektrische Signale in akustische Wellen. Als Lautsprecher wird sowohl das einzelne Chassis als auch eine komplette Lautsprecherbox bezeichnet. Zur Beschreibung und beim Vergleich unterschiedlicher Lautsprecher und Wandlerprinzipien sind verschiedene allgemeine Merkmale zu beachten.

Belastbarkeit

Bei der Leistungsangabe von Lautsprechern muss zwischen verschiedenen Messvorschriften unterschieden werden. Die **RMS-Leistungsangabe** (Root Mean Square; engl. quadratischer Mittelwert oder auch Effektivwert) ist für die Praxis am relevantesten. Hierbei wird der Lautsprecher mit „rosa Rauschen“ (ein Signal, bei dem ein durchschnittlicher Hörer alle Frequenzbereiche des hörbaren Spektrums gleich laut empfindet; Bild 1) beschickt und die Leistung des Lautsprechers gemessen.

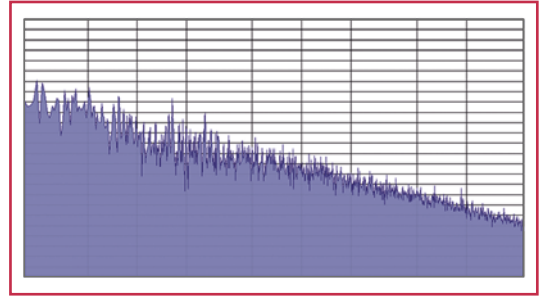


Bild 1: Spektrum des „rosa Rauschen“

Die **Nennbelastbarkeit** (auch Sinus-Belastbarkeit) basiert auf der Messvorschrift DIN 45500. Dabei wird ein Lautsprecher mit einer Sinuswelle (normalerweise 1 kHz, sofern nicht anders angegeben) belastet. Umgangssprachlich wird noch häufig von Sinus-Belastbarkeit gesprochen, jedoch ist diese Angabe veraltet bzw. weniger praxistauglich, da Sprach- oder Musiksignale keine Sinusdaueröne enthalten. Außerdem wird bei isolierten Einzelfrequenzen in Mehrweglautsprechersystemen nur jeweils ein Chassis belastet. Resonanzfrequenzen der Lautsprecher werden nicht berücksichtigt.

Die **Impulsspitzenleistung (Peak)** wird oft ungefähr doppelt so hoch wie die Nennbelastbarkeit eines Lautsprechers angegeben. Sie definiert, wieviel Leistung ein System kurzzeitig verträgt, ohne Schaden zu nehmen. Je nach Definition dieses „kurzen“ Zeitraums können es nur wenige Millisekunden sein, die für die Messung berücksichtigt werden. Die daraus resultierenden, teils utopischen, Leistungsangaben haben für praktische Beschallungssituationen kaum Aussagekraft.

Wirkungsgrad und Kenschalldruck

Hersteller geben üblicherweise nicht den Wirkungsgrad der Chassis an, denn der erreichte Wert ist bei allen Lautsprechern vergleichsweise niedrig. **Generell gilt, dass Lautsprecher einen sehr geringen physikalischen Wirkungsgrad besitzen.** Je nach Bauweise werden lediglich ca. 1 % – 5 % der elektrischen Energie in kinetische Energie (und damit Schall) umgesetzt. Der Großteil der Energie wird in der Schwingspule in Wärme umgewandelt.

Als **Kenschalldruck** wird der durchschnittliche Schalldruck eines Lautsprecherchassis unter genormten Bedingungen im **Abstand von 1 m und bei einer Leistung von 1 Watt** bezeichnet. Je höher der Kenschalldruck eines Chassis, umso effizienter wird die zugeführte Energie der Endstufe in Schall umgewandelt.



Der Kenschalldruck gibt die Effizienz eines Lautsprecherchassis an.

Tabelle 1: Auswirkungen des unterschiedlichen Kenschalldrucks bei zwei unterschiedlichen Lautsprecherchassis.

Chassis A: Kenschalldruck von 90 dB SPL (1 W / 1 m).

Chassis B: Kenschalldruck von 100 dB SPL (1 W / 1 m).

Tabelle 1: Vergleich zweier Chassis mit unterschiedlichem Kenschalldruck

Soll	1 Watt		100 dB SPL	
	1 m	10 m	1 m	10 m
Chassis A	90 dB	70 dB	100 W	1 000 W
Chassis B	100 dB	80 dB	10 W	100 W

Tontechnik – Wiederholen, Anwenden, Vertiefen 2

Aufgabe 1: Mischpultvergleich

Nennen Sie mindestens drei Vor- und zwei Nachteile von Digitalpulten im Vergleich zu analogen Mischpulten.

Aufgabe 2: Mischpultfunktionen I

Welche zwei wichtigen Funktionen bieten die Aux-Wege eines Mischpults?

Aufgabe 3: Mischpultfunktionen II

Welche Funktion besitzt der sogenannte Pad-Schalter im Eingangsbereich eines Mischpults und in welchen Situationen wird er verwendet?

Aufgabe 4: Mischpultfunktionen III

Erläutern Sie den Begriff „Arbeitsbereich“ eines Mischpultfaders. Innerhalb welcher Grenzen liegt dieser Bereich?

Aufgabe 5: Equalizer

Was bestimmt die Güte (Q) eines Filters? (Mehrfachnennungen sind möglich)

- Die maximale Absenkung bzw. Anhebung eines Frequenzspektrums
- Die Anzahl der verschiedenen Frequenzbänder eines grafischen Equalizers
- Die Bandbreite eines Filters
- Die Menge des Feedbacks im Equalizer-Routing
- Die Breite des beeinflussten Frequenzbereichs eines Glockenfilters

Aufgabe 6: Signalbearbeitung

Erläutern Sie den Unterschied zwischen serieller und paralleler Signalbearbeitung und nennen Sie jeweils ein Beispiel.

Aufgabe 7: Effekte I

Ordnen Sie die nachfolgenden Effekte aufsteigend nach deren typischer maximaler Hallzeit:

Hall, Chamber, Room

Aufgabe 8: Effekte II

Welches technische Prinzip ist charakteristisch für fast alle Modulationseffekte?

Aufgabe 9: Delay bei Beschallungssituationen

Die räumliche Distanz zwischen Hauptlautsprechern und Subwoofer an der Zuhörerposition beträgt 5 Meter. Um welche Zeit sollte das Subwoofer-Signal verzögert werden?

Aufgabe 10: Endstufen-Ausgangsleistung I

Ordnen Sie den dB-Werten die passenden Auswirkungen zu:

+3 dB	Verdopplung der Lautheit
+6 dB	Verdopplung der Ausgangsleistung
+10 dB	Verdopplung des Membranhubs

Aufgabe 11: Endstufen-Ausgangsleistung II

Eine Endstufe liefert eine Stromstärke von 10 A bei einer Spannung von 80 V an einen Lautsprecher mit 8Ω .

Welche Leistung erbringt der Lautsprecher?

Aufgabe 12: Lautsprecher-Charakteristika I

Unter welchen Bedingungen wird üblicherweise der Kennschalldruck eines Lautsprechers ermittelt?

Aufgabe 13: Lautsprecher-Charakteristika II

Beschreiben Sie den Begriff „Schalldruck-Frequenzgang“ mit Fachbegriffen.

Aufgabe 14: Lautsprecheranordnung

Welche beiden Vorteile bringt eine Lautsprecheranordnung mit Vertikalversatz gegenüber einer rein frontalen Beschallung von der Bühne?

Aufgabe 15: Subwoofer-Anordnung

Beschreiben Sie die sogenannte „Zahnlücken“-Anordnung.

10 Medientechnik



10 Medientechnik

10.1 Signalübertragungsarten

10.1.1 Einleitung

In der Medientechnik gibt es für die Bild-/Tonübertragung eine Vielzahl von Signalarten. Hierfür muss für eine kompatible technische Kommunikation zwischen Sende- und Empfangsgeräten gesorgt werden. Dies geschieht durch internationale Vertreter aus der Industrie, die in Organisationen (**Tabelle 1**) Normen und Standards erarbeiten. Diese unterscheiden sich in **analoge**¹ und **digitale**² Signalübertragungstechniken.

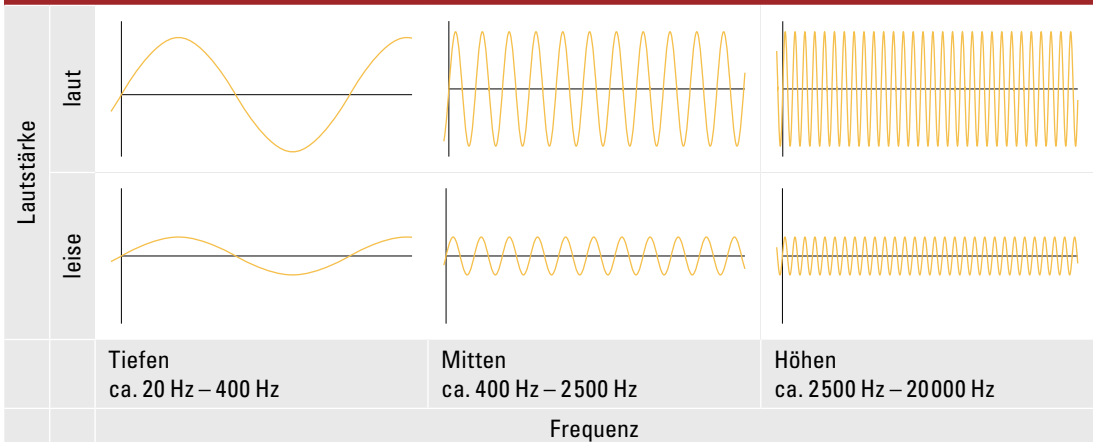
10.1.2 Analoge Signaltechnik

Ein analoges Signal definiert sich durch die physikalischen Hauptkomponenten Spannung und Frequenz³. Die Signale verändern kontinuierlich⁴ sowohl ihre Amplitude⁵ als auch ihren zeitlichen Verlauf (Frequenz). Beispiel: Werden auf einen Lautsprecher mittels eines Verstärkers Musiksingale übertragen, so verändert man mit dem Lautstärkeregler die Amplitude (Signalstärke, **Tabelle 2**). Je mehr Energie auf die Lautsprechermembrane gegeben wird, umso stärker schwingt sie und desto größer ist die Lautstärke. Die verschiedenen Tonhöhen verändern die Frequenz (zeitlicher Verlauf) des analogen Signals. Je höher die Töne, umso schneller schwingt die Lautsprechermembrane.

Tabelle 1: Organisationen für die Festlegung technischer Standards

Abk.	Name	nationale Ebene
DIN	Deutsches Institut für Normung	Deutschland
NVBF	DIN-Normenausschuss für Veranstaltungstechnik, Bild und Film	Deutschland
CEN	Comité Européen de Normalisation Europäisches Komitee für Normung	Europäischer Binnenmarkt
ISO	International Organization for Standardization Internationale Organisation für Normung	weltweite Vereinheitlichung technischer Regeln
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications Internationaler Beratender Ausschuss für den Funkdienst	weltweit beratender Ausschuss

Tabelle 2: Analoge Tonsignale



¹ von analogos (gr.) = entsprechend, verhältnismäßig; Technik, Physik: stufenlos, kontinuierlich

² von digitus (lat.) = Finger, digit (engl.) = Ziffer; Technik, Physik: abgestuftes Signal

³ von frequentia (lat.) = Häufigkeit; Physik: Maß für Schwingungen pro Sekunde

⁴ von continuare (lat.) = ohne Unterbrechung fortführen, fortsetzen, verbinden; Physik: sich stetig verändernde Werte

⁵ von amplitudo (lat.) = (Schwingungs-) Weite; Physik: maximale Abweichung/Auslenkung von der Nulllinie von Wechselgrößen

10.2 Codec und Container

Je nach Aufnahmelänge und Bildauflösung entstehen große Mengen an digitalen Videodaten. Um diese flüssig zu übertragen, speichern und wiederzugeben, wurden spezielle Programme, die sogenannten **Codecs**¹, entwickelt (**Bild 1**).

Ein **Codec verschlüsselt** (kodiert) und **reduziert** (komprimiert) die digitalisierten **Bildsignale** im Sendegerät. Im Empfangsgerät werden die Daten entschlüsselt (dekodiert) und vervollständigt (dekomprimiert). Beide Geräte müssen über eine entsprechende Hard- und Software verfügen. Die Hardware benötigt schnell arbeitende Prozessoren, um die Bilddaten in Echtzeit zu codieren und decodieren. Die Software beinhaltet mathematische Algorithmen, um aus Bilddaten Bilddifferenzen zu erkennen und herauszurechnen. Bilddifferenzen sind die veränderten Bildanteile einer Bildfolge (**Bild 2**). Beispiel: Im Sender wird ein **vorheriges Bild** komplett gespeichert. Das **momentane Bild** wird mit dem **vorherigen Bild** verglichen und nur die **Bilddifferenzen** (Wasserlauf) werden gespeichert und deren Daten an den Empfänger übertragen. Der Empfänger integriert die **Bilddifferenz-Daten** (Wasserlauf) in die **vorherigen Bild-Daten** und erzeugt so das **momentane Bild**. Dieses Verfahren verkleinert die Datenmenge erheblich und verbessert somit die Übertragung und Speicherung. Es gibt viele verschiedene Codec-Typen, wobei jeder einen anderen Algorithmus nutzt, um die Videodatei für ihre beabsichtigte Anwendung zu verkleinern. Die Umwandlung (Konvertierung) der Daten kann je nachdem verlustfrei oder nicht verlustfrei sein. Daher muss bei der Wahl vom Codec ein Kompromiss zwischen Benutzerfreundlichkeit und Videoqualität eingegangen werden.

Codec-Entwicklung

Entwickelt werden Codecs von international besetzten Studiengruppen der MPEG² oder der ITU-T³. Ziel ist die Anpassung auf die weltweit steigenden Ansprüche der Anwender und Hersteller für audiovisuelle und Multimedia-Systeme. Die so vorgeschlagenen Codes (**Tabelle 1**) werden von der ISO⁴/IEC⁵-Expertengruppe für Bewegtbilder standardisiert und für Änderungen gemeinsam verwaltet. Die dabei entstehenden Normen, in Englisch *Standards* genannt, sind als Empfehlungen zu sehen, deren Verwendung für herstellende Unternehmer freiwillig ist.

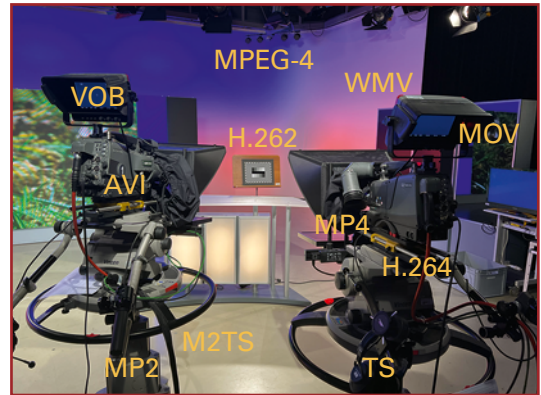


Bild 1: Video-Codecs und -Container

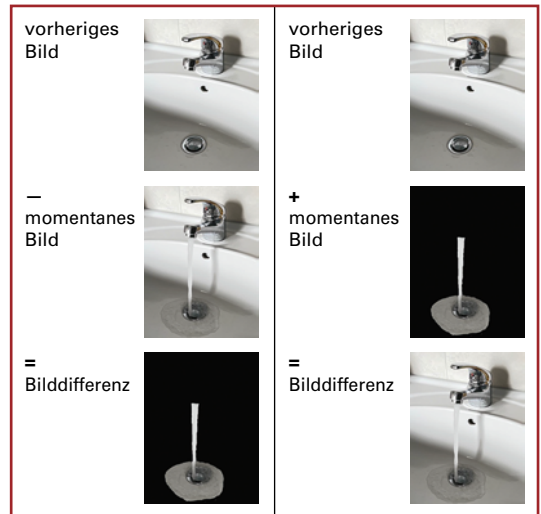


Bild 2: Sender differenziert Bilddaten/Empfänger integriert Bilddaten

Tabelle 1: Ziele der Studiengruppen für höhere Bildauflösung

Ziele	Beschreibung
schnellere A/V-Datenübertragung	für drahtgebundene und drahtlose Übertragung
schnellere A/V-Datenverarbeitung	für die Bildnachbearbeitung
schnellere A/V-Datenspeicherung	für Festplatten und Halbleiterspeicher (SSD)
geringere Verluste beim Umwandeln	Codieren, Komprimieren, Decodieren, Dekomprimieren

¹ Codec, Abk. für Coder Decoder = Kodierer Dekodierer

² MPEG, Abk. für Moving Picture Experts Group

³ ITU-T, Abk. für International Telecommunication Union- Telecommunication Sector

⁴ ISO, Abk. für International Organization for Standardization = Internationale Organisation für Normung

⁵ IEC, Abk. für International Electrotechnical Commission = Internationale Elektrotechnische Kommission

10.3 Kamerasysteme

10.3.1 Funktionsweise einer digitalen Kamera

Das **Grundprinzip** der Bilderzeugung ist bei allen digitalen Kameraarten gleich: Das Licht fällt in ein Objektiv, wird von unterschiedlichen Linsen gebündelt und in das Kameragehäuse gelenkt. Dort wird das einfallende Licht in drei Farbkomponenten **Rot**, **Grün** und **Blau (RGB)** aufgeteilt. Für die Aufteilung werden zwei verschiedene Methoden angewendet.

Die **Drei-Chip-Methode** lenkt das einfallende Licht in einen sogenannten Prismenteiler. Dort wird es durch gezieltes Umlenken über Farbfilter in die drei Farbkomponenten (RGB) aufgeteilt. Die Lichtanteile jeder Farbkomponente werden dann auf je einen Bildsensor (Chip) gelenkt (**Bild 1**).

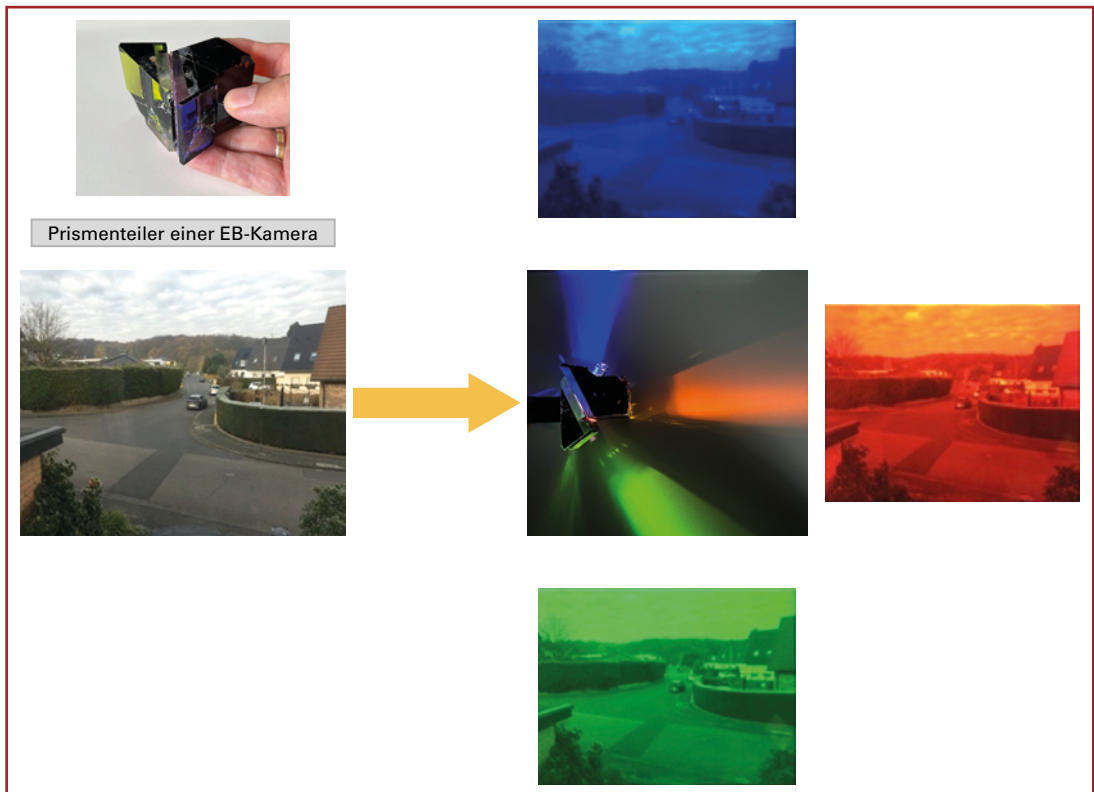


Bild 1: Erzeugung der RGB-Farbkomponenten im Prismenteiler

Die **Ein-Chip-Methode** nutzt spezielle Linsen, die das einfallende Licht auf eine Bayer-Matrix¹ lenken. Diese Matrix ist ein lichtempfindlicher Bildsensor mit einem schachbrettähnlichen Farbfilter-Muster, mit dem die drei Farbkomponenten (RGB) aufgenommen werden (**Tabelle 1, Seite 431**).

Die Bildsensoren reagieren ähnlich einer Photozelle auf Helligkeit und generieren analoge, elektronische Signale, die anschließend mit einer Hard- und Software zur Weiterverarbeitung in digitale Daten umgewandelt werden. Die Daten können auf ein Speichermedium geschrieben oder über ein Kabel (ugs. „abgesteckt“) in einen Bildmischer geführt (ugs. „ausgespielt“) werden. Im Bildmischer wird das Signal mit weiteren Bildquellen, beispielsweise Kameras, Videospiele etc. zu einem sendetauglichen Programmbild gemischt.

¹ Bayer-Matrix benannt nach dem US-amerikanischen Erfinder Bruce E. Bayer

Wärmemanagement

Da LEDs Halbleiter sind und Halbleiter ihren Leitwert mit der Umgebungstemperatur ändern, muss unbedingt auf das Wärmemanagement geachtet werden. Bei hohen Temperaturen altern LEDs schneller und verlieren damit an Helligkeit. Dies führt bei Farb- oder Videodarstellungen zu fleckenartigen Helligkeitsunterschieden, die mit dem Auge als störend wahrgenommen werden. Hersteller geben konkrete Angaben, bei welcher Umgebungstemperatur ihre Produkte eingesetzt werden dürfen. Das Wärmemanagement wird vom Hersteller mittels Kühlkörpern, Ventilatoren und einer geeigneten Platzierung der Halbleiter auf den Platinen realisiert. Letzteres ist wichtig, da eng aneinanderliegende Komponenten sich gegenseitig beeinflussen, wie die thermographischen Aufnahmen in **Bild 1** zeigen.

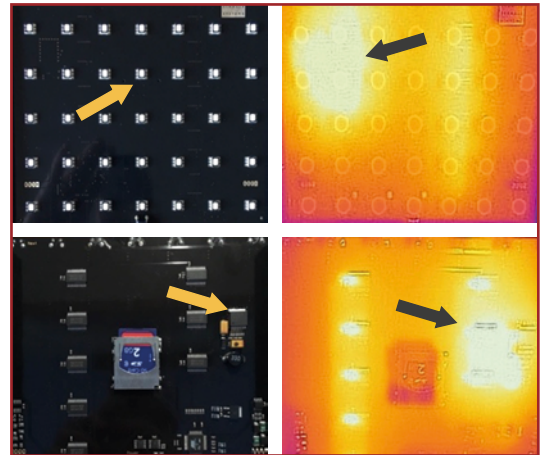


Bild 1: Gegenseitiger thermischer Einfluss

Im Außenbereich müssen gesonderte Vorkehrungen zur Kühlung getroffen werden, falls die Sonne eine LED-Fläche bestrahlt. Im Innenbereich ist darauf zu achten, dass es bei Einbauten in Dekorationen nicht zum Wärmestau kommt und sich eine Brandgefahr ergibt.

LED-Wände

LED-Wände bestehen aus zusammengesetzten LED-Kacheln. Der technische Aufwand steigt mit der Menge an RGB-LEDs, wobei es in Summe zu erheblichen Strömen ($> 125\text{ A}$) kommen kann. Ein weiterer großer Aufwand ist das Wärmemanagement und die Gewährleistung der mechanischen Stabilität. Bei LED-Wänden kommt es zu erheblichen Lasten, die bei Statik-Berechnungen besonders beachtet werden müssen (vgl. Kapitel 4).

LED-Wände, die von Kameras abgefilmt werden, ergeben im Videobild Schliereneffekte, die sogenannten Moiré-Effekte (**Bild 2**). Diese entstehen aus den gitterartigen Mustern, in denen sowohl die LEDs der Wände also auch die Lichtsensoren der Kameras angeordnet sind. Durch Überlagerung dieser Gitter ergibt sich bei der Aufnahme ein neues Muster (**Bild 3**). Bei Kamerafahrten verändert sich dieses Muster in Form und Farbe. Bei der Bildbetrachtung wirkt dies ablenkend und störend. Daher sollten Kamerabewegungen vor einer LED-Wand möglichst vermieden werden. Abhilfe schafft ein größerer Abstand des Protagonisten zur LED-Wand und ein vergrößerter Abstand der Kamera zur LED-Wand. Die Kamerapositionen und Bewegungen müssen deshalb vorher unbedingt geprobt und festgelegt werden.

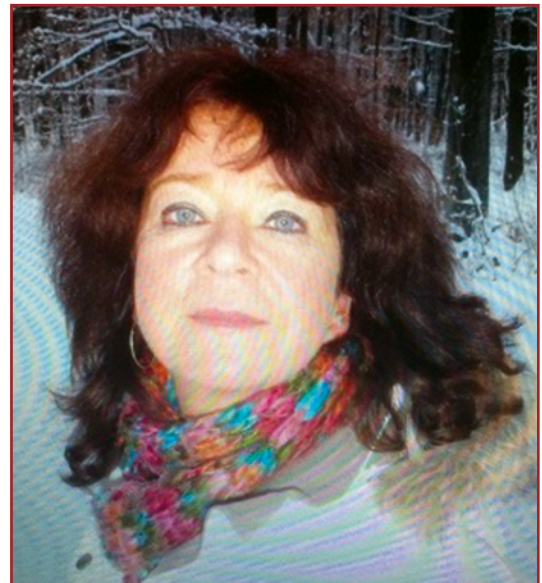


Bild 2: Moiré-Effekt am Bild

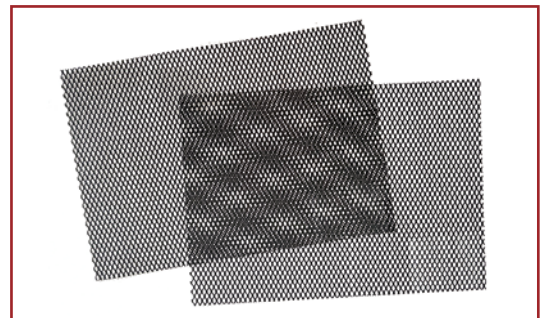


Bild 3: Entstehung des Moiré-Effektes

DLP-Technik

DLP steht für **D**igital **L**ight **P**rocessing, also digitale Lichtverarbeitung. Diese Technik verwendet als Herzstück einen Chip, das sogenannte DMD. Dies steht für **D**igital **M**icromirror **D**evice, also digitale Mikrospiegel-Einheit. Die enthaltenen Mikrospiegel sind einzeln ansteuerbar und jeder Mikrospiegel entspricht einem Bildpunkt (Pixel).

Ein Mikrospiegel (**Bild 1**) kann innerhalb einer Sekunde seine Position 5000-mal ändern. In der angesteuerten Position wird der Lichtstrahl Richtung Objektiv und auf die Projektionsfläche gelenkt. In der nicht angesteuerten Position wird er auf eine Lichtabsorberfläche gelenkt.

Die Bilderzeugung in einem DLP-Beamer erfolgt mit der Mikrospiegel-Einheit, einer Lichtquelle und einer rotierenden transparenten Farbscheibe mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau (**Bild 2**). Das jeweils gefärbte Licht fällt auf die Mikrospiegel-Einheit und wird von dort auf die Absorberfläche oder die Projektionsfläche weitergeleitet. Wird beispielsweise rotes Licht auf die Mikrospiegel-Einheit geworfen, dann werden nur die Mikrospiegel der Bildpunkte angesteuert, welche im Bild die roten Anteile haben. Auf diese Weise werden nacheinander die roten, grünen und blauen Bildanteile auf die Projektionsfläche gelenkt. Die Trägheit des menschlichen Auges nimmt die einzelnen Farbbilder als ein Gesamtbild wahr. Allerdings wird ein „Regenbogen-Effekt“ wahrgenommen, wenn man seitwärts am Objektiv vorbeischaute.

Für den Hochleistungsbereich werden Projektoren mit drei Farbquellen eingesetzt. Hierfür eignen sich besonders gut RGB-LEDs und Laser-Dioden, da sie die Grundfarben ohne optische Verluste wiedergeben. Für eine noch höhere Helligkeit und Bildauflösung werden Projektoren mit je einer Mikrospiegel-Einheit für jede der Grundfarben eingesetzt.

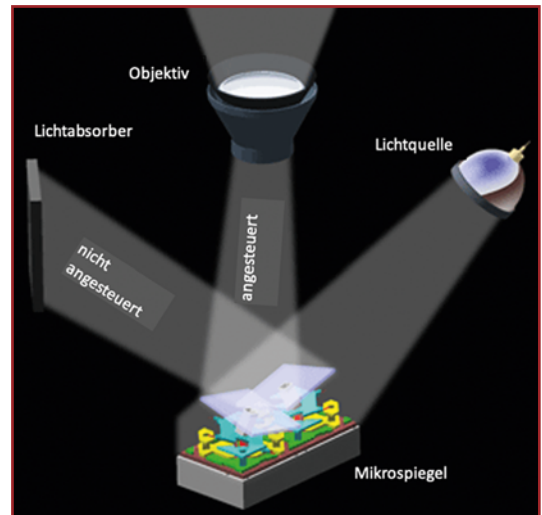


Bild 1: Funktionsprinzip eines Mikrospiegels

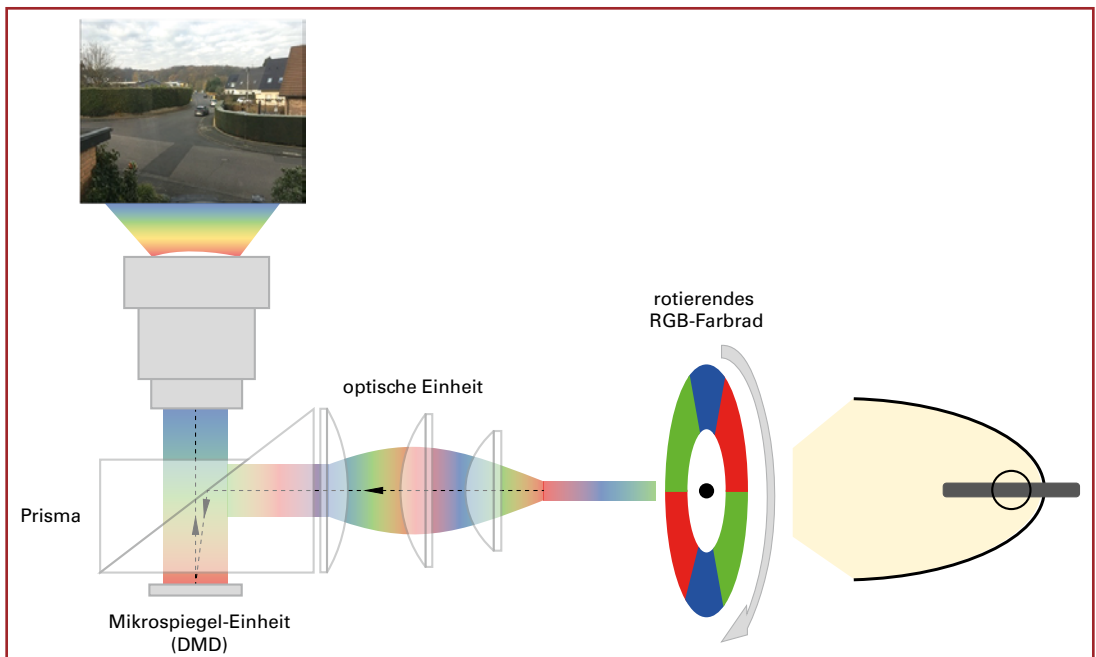
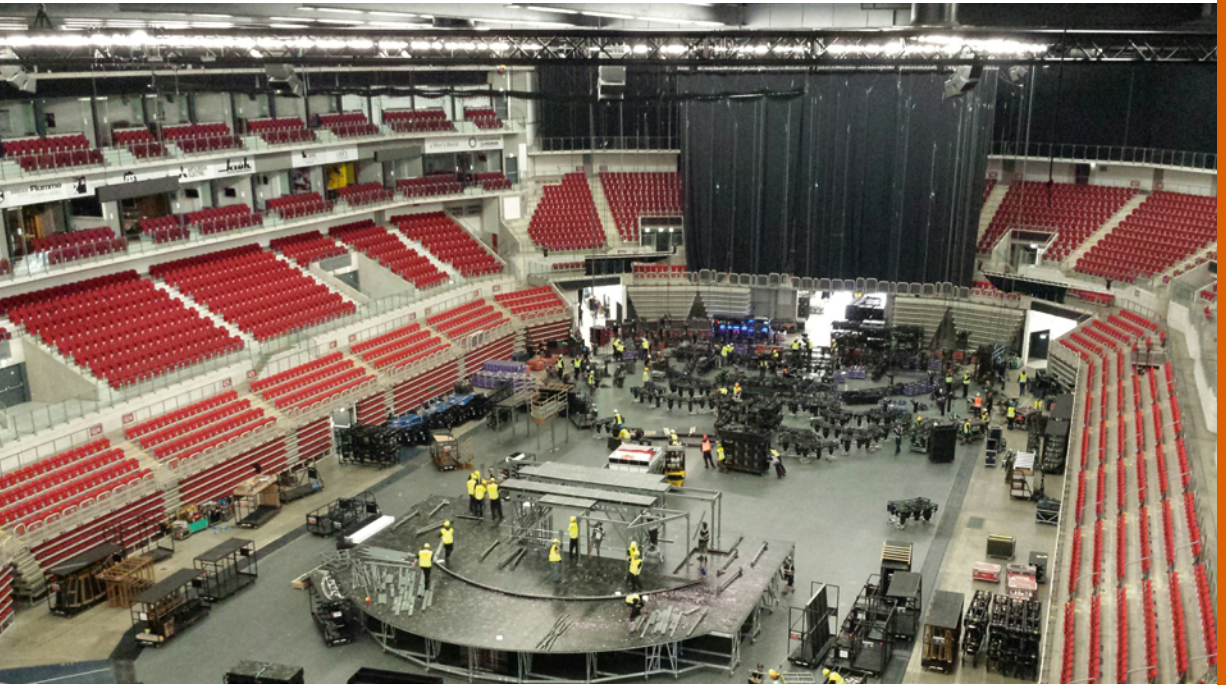


Bild 2: Bilderzeugung im DLP-Beamer

11 Beruf, Betrieb und Logistik



Ein für Gitarristen wichtiges Gerät ist der Gitarrenverstärker. Der bekannteste Verstärker, ein Röhrenverstärker, wurde von Jim Marshall 1962 erstmals gebaut und ständig weiterentwickelt. Zur Verbesserung des Handlings trennte Marshall Lautsprecher (Cabinet) und Verstärker-Einheit (Amp), die dann aufeinandergestellt (engl. gestackt) wurden. Damit wurde das sogenannte „Marshall-Fullstack“ geschaffen. Zahlreiche weltbekannte Gitarristen benutzten und benutzen Marshall-Amps (Verstärker) bis heute. Bis in die späten 1960er-Jahre verstärkten Bands ihren Sound hauptsächlich über ihre eigene Backline, also die Verstärker, die in der hinteren Linie der Bühne angeordnet waren. Der Gesang wurde über damals nicht besonders leistungsfähige PA-Systeme verstärkt oder über ein weiteres Gitarrenstack eingespielt. PA kommt aus dem Englischen und bedeutet Public Address. Gemeint ist die Hauptbeschallungsanlage, mit der das Publikum beschallt wird. Am Anfang der 1960er-Jahre besaßen nur wenige Bands meist selbstgebaute und leistungsschwache PA-Systeme. Bei lauterem Publikum oder zusätzlich schlecht abgestimmten Komponenten konnten sich die Bands auf der Bühne nicht mehr selbst hören. Dies führte unter anderem dazu, dass die Beatles sich nach ihrer dritten US-Tour 1966 entschlossen, nie wieder auf Tournee zu gehen.

Erst Mitte der 1960er entwickelte Charlie Watkins mit seiner Firma WEM in London ein eigenständiges und für damalige Verhältnisse leistungsfähiges PA-System mit allen modernen Merkmalen der Ansteuerung, wie z. B. dem Frontmixer. Dieses wurde unter anderem von Pink Floyd, Jimi Hendrix und David Bowie verwendet. Zu der Zeit wurde der PA-Sound noch von der Seite der Bühne gemixt und es gab keine Möglichkeit für die Musiker, sich selber zu hören. Dies wurde erst möglich, als 1967 während eines Konzertes der Sänger Roger Chapman per Zufall den Frontmonitor, im Englischen auch nach der Form als Wedge – Keil genannt, entdeckte. Durch diesen besonderen Lautsprecher, der an der Bühnenvorderkante liegt, wird den Künstlern der eigene Sound zugespielt (siehe auch Kap. 6).

Zu dieser Zeit traten immer mehr Bands auf immer größeren Festivals auf. Das größte und bis heute berühmteste Festival fand 1969 in Woodstock (USA) statt. Damals erlebten ca. 400 000 Besucher unter schwierigsten Bedingungen ein dreitägiges Line-Up vieler bedeutender Bands der Zeit. Die Konzertproduktion hatte mit massiven Problemen zu kämpfen, entwickelte dabei jedoch bis heute geltende Organisationsprinzipien von Festivals. In Deutschland wurde auf der Insel Fehmarn 1970 das Love-and-Peace-Festival veranstaltet, bei dem Jimi Hendrix seinen letzten Live-Auftritt hatte, bevor er wenig später verstarb. Dieses Festival versank wegen verschiedener Umstände in Chaos und Gewalt. Im gleichen Jahr erfand Bob Heil in den USA ein neuartiges PA-System für die Band Grateful Dead, aus dem 1973 die „Wall of Sound“ entwickelt wurde, das damals größte PA-System.

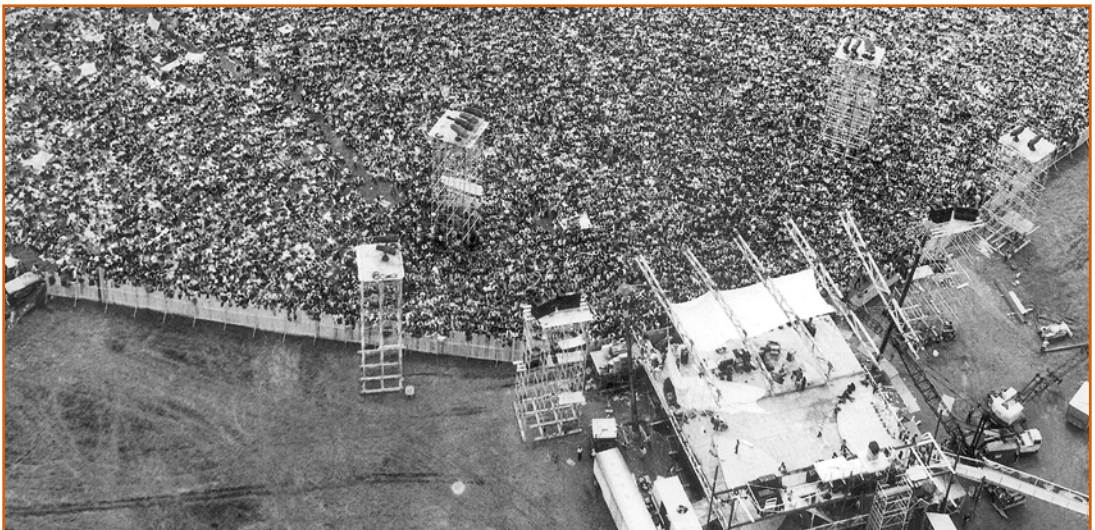


Bild 1: Woodstock. Draufsicht auf die Bühne und Backstage

11.2 Gliederung der Veranstaltungsbranche

Im Rahmen dieses Lehrbuchs wird fast durchgängig „die Veranstaltungsbranche“ genannt. Dabei ist die Branche Veranstaltungstechnik keine einheitliche Branche, in der alles gleich ist oder gleiche Arbeitsbedingungen oder Gebräuche herrschen. Die Branche setzt sich zusammen aus vielen verschiedenen Teilbereichen, die alle ihre eigenen Gewohnheiten, Bezeichnungen, Umstände und Besonderheiten haben.

Grundsätzlich kann zwischen **stationären** und **mobilen Teilbereichen** unterschieden werden. Zu den stationären Bereichen gehören die sogenannten „festen Häuser“, wie z. B. Oper, Schauspiel, Theater. Außerdem zählen dazu auch Stadthallen, Kongresshäuser sowie Rundfunk- und Fernsehanstalten. Die Hauptmerkmale sind die Bindung an einen festen Ort in privatwirtschaftlichem oder öffentlichem Besitz, die personelle Ausstattung mit Festangestellten sowie eine Grundausstattung mit an das Haus angepasster Veranstaltungstechnik. In diesen Orten werden regelmäßig Eigenveranstaltungen durchgeführt. Daneben finden in einigen der genannten Orte auch immer wieder Gastspiele von nationalen oder internationalen Künstlern statt.

Eine Mischung von stationär und mobil stellen Open-Air-Veranstaltungen dar, die jedes Jahr regelmäßig zur selben Zeit und am selben Ort stattfinden. Hierunter fallen Freilichtbühnen, oft mit festen Tribünen, die z. B. in eine Hügelseite gebaut wurden und eine feste Bühne oder Spielfläche besitzen (**Bild 1**). Open-Air-Veranstaltungen, wie z. B. ein- oder mehrtägige Festivals finden oft auf einer Wiese, einem Feld oder einem Platz in einer Stadt oder sogar in einem Stadion statt (**Bild 2**).



Bild 1: Klassische Freilichtbühne (Loreley)

Hier muss regelmäßig die gesamte Infrastruktur oder große Teile davon, wie z. B. Strom, WC, Wasser, Bühnen, Beleuchtung usw. temporär aufgebaut und installiert werden.

Eine weitere Mischung ergibt sich aus der Kombination eines festen Hauses in Form einer Messengesellschaft mit der Vergabe von Messtedienstleistungen an Dienstleister aus der mobilen Veranstaltungsbranche. Beispiele sind die Verlegung von Strom oder die Durchführung von Messe-Rigging, bzw. die Schaffung der Hängepunkte in den Hallen.



Bild 2: AC/DC-Bühne 1991

Bei der mobilen Veranstaltungsbranche handelt es sich um Tourneetheater, -musical und nationale und internationale Künstler und Gruppen, die in den vorgenannten festen Häusern und Multifunktionshallen Halt auf ihrer Tournee (s. **Kapitel 11.2.1**) machen. Als Besonderheit gelten Rundfunk- und Fernsehanstalten mit mobilen Einheiten auf Außenproduktion bei sportlichen, politischen oder gesellschaftlichen Ereignissen. Ebenso werden Filme und TV-Serien unter Einsatz von Veranstaltungstechnik nicht nur im Studio, sondern im Rahmen von Außendreh „on Location“ gedreht.

Zur Erfüllung der Bedürfnisse der mobilen Teile der Veranstaltungsbranche hat sich eine große Zahl von teilweise hoch spezialisierten Dienstleistern gebildet. Darunter befinden sich nicht nur Firmen mit Beleuchtungs-, Beschallungs- und Videotechnik, sondern auch solche für Bühnenbau, mobile Strom- und Wasserversorgung, Zäune, Transport von Menschen und Material und anderem. Neben den Firmen, die für ihr Material auch das notwendige Personal, oft in freier Mitarbeit, bereitstellen und komplette Dienstleistungen erbringen, haben sich sogenannte Dry-Hire (Dry = engl. für trocken, to hire = mieten) Firmen etabliert, die ausschließlich Material, ohne jede Betreuung, vermieten.

11.9 Qualitätsmanagement

Aus der radikalen Kundenorientierung der japanischen Industrie entstand die Idee des Qualitätsmanagements. Unternehmen verfolgen damit die in **Bild 1** aufgeführten Ziele.

Neben der Qualität des Produktes spielten auch die Qualität des Fertigungsprozesses, z. B. Beschaffung, Lagerhaltung, Instandsetzung, Mitarbeiterausbildung sowie die Unternehmensstruktur, z. B. räumliche Gegebenheiten, eine Rolle (**Bild 2**).



Jede Aktivität im Betrieb kann als ein Prozess aufgefasst und damit auch verbessert werden.

11.9.1 Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff.

Damit ähnliche Produkte oder Leistungen unterschiedlicher Anbieter auf dem Markt vergleichbar sind, wurde z. B. die Normenreihe DIN EN ISO 9000 bis 9004 eingeführt. Sie enthält betriebsunabhängige, allgemeine Beschreibungen der Elemente des **Qualitätsmanagements (QM)**.

Typische Elemente des Qualitätsmanagements sind:

- Verantwortung der Leitung,
- Qualitätsmanagement-System,
- Vertragsprüfung,
- Beschaffung,
- Überprüfung des Qualitätsmanagement-Systems,
- Qualitätsaufzeichnungen und
- Prüfprozesse.

DIN EN ISO 9000:2015 enthält Grundlagen und definiert die Begriffe eines Qualitätsmanagement-Systems.

DIN EN ISO 9001:2015 enthält die Anforderungen an ein Qualitätsmanagement-System. Von einem nach dieser Norm zertifizierten¹ Unternehmen kann der Kunde von einer Konformität der erstellten Produkte oder Dienstleistungen ausgehen.

DIN ISO 20121:2013 ist die Norm zu nachhaltigem Veranstaltungsmanagement.

DIN ISO 45001:2018 zertifiziert Arbeitsschutzmanagementsysteme. Diese werden z. B. durch die entsprechenden gesetzlichen Unfallversicherungsträger zertifiziert.

Qualität (DIN 55350-11:2008-05),
Qualitätsmanagement (DIN EN ISO 9000)

- **Qualität** ist die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, die Qualitätsanforderungen zu erfüllen.
- **Qualitätsmanagement** umfasst alle aufeinander abgestimmten Tätigkeiten zur Leitung und Lenkung einer Organisation bezüglich der Qualität.



Bild 1: Ziele des Qualitätsmanagements

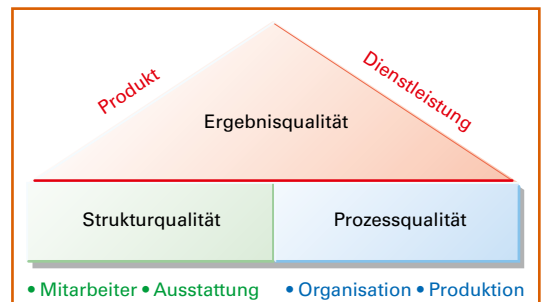



Bild 2: Qualitäten

¹ zertifizieren = bescheinigen

11.9.3 Qualitätswerkzeuge

Der Japaner Ishikawa erstellte für die Qualitätszirkel elementare Werkzeuge der Qualitätssicherung.

 Qualitätswerkzeuge sind grafische Darstellungen, mit denen Probleme im Arbeitsprozess erkannt, verstanden und gelöst werden können.

Diese Qualitätswerkzeuge werden kurz auch Q7 genannt, oder in Englisch „Tools of Quality“. Sie dienen zur Fehlererfassung und Fehleranalyse. Man kann mit ihnen: Probleme feststellen und eingrenzen, Faktoren der Fehlerursache bewerten, Häufigkeit von Fehlern erfassen, Auswirkung von Verbesserungsvorschlägen ermitteln und Ausreißer feststellen.

1. Fehlersammelliste

Mit einer Strichliste kann die Anzahl der gleichartig auftretenden Fehler gezählt werden. Beispiel: An einem Veranstaltungstag löste fünfmal dieselbe Sicherung aus.

2. Histogramm

In einem Säulendiagramm wird die Fehlerhäufigkeit bestimmter zusammengefasster Gruppen erfasst. Beispiel: Anzahl der fehlerbehafteten hergestellten Geräte an einzelnen Wochentagen.

3. Qualitätsregelkarte

Ein Prozess wird über einen bestimmten Zeitraum hinweg ständig überwacht. Abweichungen von einem Mittelwert oder Sollwert können sofort erfasst werden und es kann in den Prozess eingriffen werden. Beispiel: Die Staubfreiheit in einem Raum zur Chipherstellung wird überwacht, ist der Sollwert überschritten, muss die Produktion eingestellt werden.

4. Korrelationsdiagramm (Streudiagramm)

Damit kann eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen zwei Merkmalen gemessen werden. Beispiel: Bauelemente werden auf ihre elektrischen Grenzwerte überprüft.

5. Pareto-Diagramm (Ishikawa- oder Fishbone-Diagramm)

In diesem Säulendiagramm werden die Ursachen nach ihrer Bedeutsamkeit für das Produktionsergebnis zusammengefasst. Beispiel: Ein Steuerungsausfall beeinflusst zu 60 % das Produktionsergebnis, ein Defekt in der Schnittstelle nur zu 2 %.

6. Brainstorming

Ideen, die die vorherrschenden Denkrichtungen verlassen, sollen neue Lösungsvorschläge bringen. Beispiel: Qualitätszirkel überlegt sich Verbesserungsvorschläge.

7. Ursache-Wirkungs-Diagramm

Hierbei werden Ursachen, die zu Problemen führen, grafisch dargestellt. Beispiel: Wenn die Temperatur im Fertigungsraum über 30 °C ansteigt, fällt die Steuerung aus.

Nr	Fehler	Anzahl
1	xxxx	### III
2	yyyy	###
3	zzzz	### ###
4	www	III

Bild 1: Fehlersammelliste

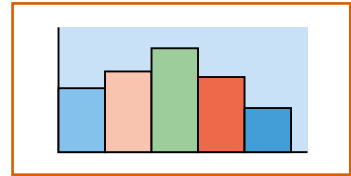


Bild 2: Histogramm

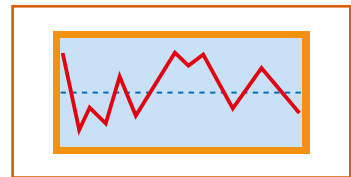


Bild 3: Qualitätsregelkarte

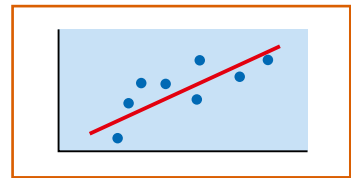


Bild 4: Korrelationsdiagramm

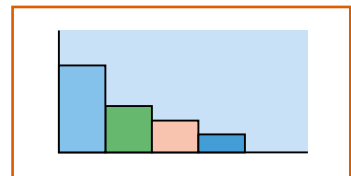


Bild 5: Pareto-Diagramm

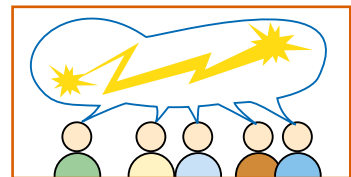


Bild 6: Brainstorming

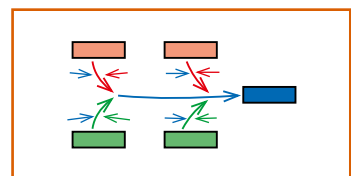


Bild 7: Ursache-Wirkungs-Diagramm

Situationsbeschreibung

Nach einigen Jahren der Berufserfahrung als Fachkraft für Veranstaltungstechnik stellt sich für Sie vielleicht mit entsprechender Spezialisierung die Frage der Selbstständigkeit mit einer eigenen Firma.

1. Erfülle ich die persönlichen Voraussetzungen für einen Unternehmer?

Eine Unternehmensgründung will überlegt sein. Die Anforderungen an die Unternehmerpersönlichkeit (**Übersicht 1**) sind vielfältig. Nutzen Sie zu dieser Fragestellung einen der zahlreichen Gründertests.

2. Wie sieht meine Geschäftsidee aus?

Ihre Geschäftsidee sollte geplant sein. Im Businessplan (**Bild 1**) beschreiben Sie alle wichtigen Überlegungen zur Umsetzung Ihrer Geschäftsidee.

- Wagen Sie den Schritt in die Selbstständigkeit erst nach reiflicher Überlegung.
- Planen Sie die Umsetzung Ihrer Geschäftsidee realistisch. Prüfen Sie dazu, ob für Ihr Produkt oder Ihre Dienstleistung ein Markt vorhanden ist. Haben Sie den Markt nach Konkurrenten untersucht?
- Denken Sie auch an Ihre persönliche Absicherung und die Ihrer Familie.

3. Wie lässt sich meine Geschäftsidee finanzieren?

- Selbst die beste Geschäftsidee kann nicht auf einen soliden Finanzierungsplan verzichten.
- Eine Vielzahl von Punkten (**Übersicht 2**) muss vor der Unternehmensgründung geklärt sein.
- Beginnen Sie nur dann mit dem Unternehmen, wenn auch die Finanzierung gesichert ist.

4. Welche rechtlichen Voraussetzungen sind bei meinem Unternehmensstart notwendig?

Bei der Unternehmensgründung sind Behördengänge durchzuführen (**Bild 2**) und Meldefristen einzuhalten. Außerdem muss die Rechtsform, z.B. Einzelunternehmen oder GmbH, des Unternehmens festgelegt werden. Daraus ergeben sich dann auch Konsequenzen für die Besteuerung Ihres Unternehmens.

Der Start des Unternehmens erfordert Ihre volle Aufmerksamkeit. Nehmen Sie die Beratung bei den Kammern oder einem Unternehmensberater und Ihrer Hausbank in Anspruch.

Checkliste meiner persönlichen Voraussetzungen

- Bin ich risikobereit und entscheidungsfreudig?
- Habe ich Verantwortungsbewusstsein?
- Kann ich gut verhandeln?
- Wie reagiere ich in Konfliktsituationen?
- Kann ich mich rasch auf neue Situationen einstellen und bin ich belastbar?
- Erfülle ich die rechtlichen Voraussetzungen, z.B. habe ich einen Meisterbrief?
- Besitze ich eine schnelle Auffassungsgabe?
- Habe ich Organisationstalent?
- Besitze ich die notwendigen fachlichen Kompetenzen?
- Habe ich betriebswirtschaftliches Verständnis?

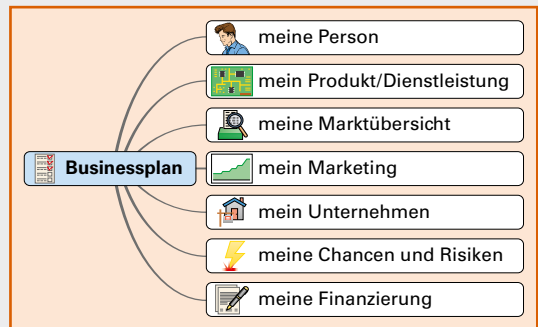


Bild 1: Businessplan

Unternehmensgründung

- Bestimmen Sie das notwendige Startkapital.
- Ermitteln Sie Ihr vorhandenes Eigenkapital.
- Prüfen Sie auch eine Teilhabe der Familie bzw. eines Geschäftspartners.
- Planen Sie Ihren monatlichen Verdienst und die monatlichen Kosten in Ihrem Unternehmen, z.B. für Kommunikation, Energie und Miete ein.
- Schätzen Sie auch die finanziellen Folgen eines Scheiterns des Unternehmens ab.
- Informieren Sie sich in der Förderdatenbank über aktuelle Förderprogramme, z.B. KfW-Unternehmerkredit, ERP-Mittel oder High-Tech-Gründerfonds. Für die Kreditabwicklung der Fördermittel ist Ihre Hausbank zuständig.

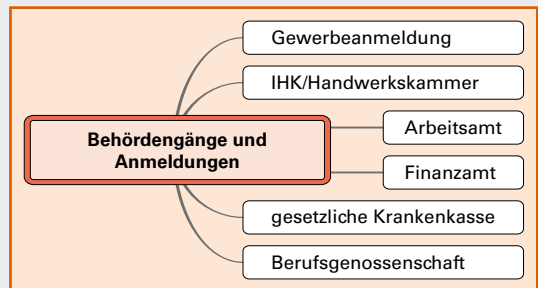


Bild 2: Behördengänge und Anmeldungen