

DIN EN 13814

ICS 91.040.99; 97.200.99

Teilweiser Ersatz für
DIN 4112:1983-02**Fliegende Bauten und Anlagen für Veranstaltungsplätze und
Vergnügungsparks –
Sicherheit;
Deutsche Fassung EN 13814:2004**Fairground and amusement park machinery and structures –
Safety;
German version EN 13814:2004Machines et structures pour fêtes foraines et parcs d'attraction –
Sécurité;
Version allemande EN 13814:2004

Gesamtumfang 212 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab 2005-06-01.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm EN 13814 wurde im Europäischen Komitee für Normung (CEN) im Technischen Komitee CEN/TC 152 „Fliegende Bauten und Anlagen für Veranstaltungsorte und Vergnügungsparks – Sicherheit“ (Sekretariat: UNI) ausgearbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der NABau-Arbeitsausschuss 11.15.00 „Fliegende Bauten; Jahrmarkt- und Freizeitparkmaschinen, -geräte und -bauten; Sicherheit“.

Änderungen

Gegenüber DIN 4112:1983-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Inhalt wurde vollständig überarbeitet;
- b) das Bemessungsverfahren wurde vom globalen Sicherheitskonzept mit zulässigen Spannungen auf das semiprobabilistische System mit Teilsicherheitsbeiwert umgestellt;
- c) eingetretene technische Ergänzungen wurden vorgenommen;
- d) die Festlegungen für Zelte sind nicht mehr enthalten. An einer Norm wird zur Zeit gearbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4112: 1968x-05, 1960-03, 1983-02
Beiblatt zu DIN 4112:1962-10

Deutsche Fassung

Fliegende Bauten und Anlagen für Veranstaltungsplätze und Vergnügungsparks — Sicherheit

Fairground and amusement park machinery and structures —
Safety

Machines et structures pour fêtes foraines et parcs d'attraction —
Sécurité

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 19. Mai 2004 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe.....	11
4 Symbole	13
5 Allgemeine Anforderungen an Konstruktion, Berechnung und Überprüfung	13
5.1 Bauvorlagen.....	13
5.1.1 Allgemeines	13
5.1.2 Bau- und Betriebsbeschreibung.....	13
5.1.3 Konstruktions- und Herstellungszeichnungen	13
5.1.4 Rechnerische Nachweise	14
5.2 Auswahl der Werkstoffe	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Empfohlene Stähle	15
5.2.3 Aluminiumlegierungen	16
5.2.4 Holz	16
5.2.5 Kunststoffverbundwerkstoffe	16
5.2.6 Beton	16
5.2.7 Befestigungselemente	16
5.3 Lastannahmen	16
5.3.1 Allgemeines	16
5.3.2 Ständige Einwirkungen	16
5.3.3 Veränderliche Einwirkungen	17
5.3.4 Erdbebenlasten	22
5.3.5 Zuschläge für Stöße, für die Schwingung direkt befahrener Bauteile und für den Anprall	22
5.3.6 Lastkombinationen	23
5.4 Statische Berechnung — Grundsätze	24
5.4.1 Allgemeines	24
5.4.2 Berechnungsgrundsätze für bestimmte Fahrgeschäftstypen	25
5.4.3 Achterbahnen mit schienenengebundenen Fahrzeugen	30
5.4.4 Sonstige Bahnen mit schienenengebundenen Fahrzeugen	37
5.4.5 Tribünen	37
5.5 Standsicherheitsnachweis	38
5.5.1 Kipp-, Gleit- und Abhebesicherheit	38
5.5.2 Bodenverankerungen	40
5.5.3 Weitere Anforderungen	43
5.5.4 Unterpallungen	43
5.6 Festigkeitsnachweis	44
5.6.1 Allgemeines	44
5.6.2 Vorwiegend ruhende Beanspruchung	44
5.6.3 Schwingende Beanspruchung	45
5.6.4 Schrauben	49
5.6.5 Seile, Ketten, Sicherheitsvorrichtungen, Anschluss- und Verbindungsteile	51
5.7 Bauliche Durchbildung und Ausführung	54
5.7.1 Anordnung, Zugänglichkeit	54
5.7.2 Sicherheitsmaßnahmen gegen das Lösen von Befestigungselementen	54
5.7.3 Lösbare Verbindungen	54
5.7.4 Formgebung schwingend beanspruchter Teile	55
5.7.5 Unterstützungen	55
5.7.6 Zentralmasten	55
5.7.7 Korrosions- und Fäulnisschutz	55

6	Anforderungen an die Konstruktion und Herstellung von Fliegenden Bauten.....	55
6.1	Risikoverringerung durch generelle Konstruktions- und Sicherheitsvorkehrungen.....	55
6.1.1	Allgemeines.....	55
6.1.2	Gefahrenanalyse.....	55
6.1.3	Risikominderung bei Podien, Rampen, Böden, Treppen und Laufstegen.....	55
6.1.4	Risikobegrenzung durch Geländer, Zäune und Schutzvorrichtungen.....	57
6.1.5	Risikobegrenzung bei Zu- und Abgängen.....	60
6.1.6	Risikobegrenzung bei Fahrzeugen.....	62
6.1.7	Risikobegrenzung durch Sondermaßnahmen.....	69
6.2	Zusätzliche Sicherheitsanforderungen für verschiedene Kategorien Fliegender Bauten.....	70
6.2.1	Karusselle mit horizontalen und/oder vertikalen Bewegungen.....	70
6.2.2	Riesenräder, Schaukeln (mit und ohne motorischen Antrieb).....	73
6.2.3	Achterbahnen, Wasserbahnen, Geisterbahnen, Eisenbahnen und andere Kanal- oder schienengebundene Anlagen.....	76
6.2.4	Autoskooter, Kartbahnen, Boote und Wildwasserbahnen, Rutschbahnen usw.....	79
6.2.5	Schaugeschäfte, Buden, Ausspielungs- und Verkaufsgeschäfte, Spiegelkabinette, Belustigungsgeschäfte, Labyrinth, Schlaghämmer und Ähnliches.....	88
6.2.6	Tribünen, Manegen etc.....	91
6.2.7	Schießbuden und -wagen, Schießgeräte.....	91
6.3	Mechanische Systeme.....	93
6.3.1	Hydraulische und pneumatische Bauteile.....	93
6.3.2	Hebe- und Fördervorrichtungen als feste Bestandteile eines Fahrgeschäfts.....	95
6.4	Herstellung und Lieferung.....	98
6.4.1	Allgemeines.....	98
6.4.2	Herstellung.....	98
6.4.3	Lieferung.....	101
6.5	Erstabnahme, Hauptüberprüfungen und Zulassung — empfohlene Verfahren.....	103
6.5.1	Allgemeines.....	103
6.5.2	Erstabnahme von Fliegenden Bauten.....	104
6.6	Vorkehrung vor Lieferung und Inbetriebnahme.....	107
6.6.1	Prüfbuch.....	107
6.6.2	Offizielle technische Akte.....	108
6.6.3	Kennzeichnung.....	109
7	Betrieb und Gebrauch von Fahrgeschäften und anderen Fliegenden Bauten.....	109
7.1	Einleitung.....	109
7.2	Dokumentationsstandard.....	109
7.3	Anforderungen an das Personal.....	109
7.4	Pflichten des Betreibers.....	110
7.4.1	Allgemeines.....	110
7.4.2	Kauf und Verkauf.....	110
7.4.3	Personalauswahl und -schulung.....	110
7.4.4	Auf- und Abbau.....	111
7.4.5	Pflege der Betriebsmittel.....	114
7.4.6	Probetrieb und Kontrollen.....	117
7.4.7	Betrieb.....	118
7.4.8	Besondere Pflichten bei der Überwachung während des Betriebs.....	120
7.4.9	Wartung, Reparatur und Änderungen.....	125
7.5	Pflichten des Bedieners eines Fliegenden Baus.....	126
7.6	Pflichten des Aufsichtspersonals.....	127
7.7	Unabhängige Überprüfungen.....	128
7.7.1	Unabhängige Hauptüberprüfungen.....	128
7.7.2	Gebrauchsabnahme.....	130
7.7.3	Überprüfung nach Reparatur oder Änderung.....	131
7.7.4	Berichte.....	131
7.7.5	Überprüfungsabstände.....	131
7.8	Brand.....	131
7.8.1	Allgemeines.....	131

	Seite
7.8.2 Verhalten im Brandfall	131
7.8.3 Maßnahmen im Brandfall	132
7.8.4 Zugang für Rettungsdienste	133
Anhang A (informativ) Ermüdungsnachweis	135
A.1 Allgemeines	135
A.2 Formelzeichen und Definitionen.....	135
A.3 Anforderungen bezüglich des Ermüdungsnachweises	136
A.4 Ermüdungsfestigkeit bei Stahlbauten	137
A.4.1 Schwingende Beanspruchung mit konstanter Amplitude (Palmgreen-Miner-Regel)	137
A.4.2 Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite bezogen auf N Spannungsspiele.....	137
A.4.3 Schadensäquivalente Spannungsschwingbreite bezogen auf $N_C = 2 \times 10^6$	138
A.5 Schadensnachweis für kombinierte Beanspruchungen.....	139
A.6 Gleichungen zur Lebensdauervorhersage	139
A.6.1 Allgemeines	139
A.6.2 Grundlegendes Verfahren	140
A.6.3 Berechnung der Lebensdauer	140
Anhang B (normativ) Detaillierte Nachweisregeln	142
B.1 Schaukeln	142
B.1.1 Allgemeines	142
B.1.2 Strebenkräfte	143
B.1.3 Kippsicherheit der Schaukel.....	144
B.1.4 Motorisch angetriebene Schaukeln.....	146
B.2 Riesenräder.....	146
B.2.1 Lasten.....	146
B.2.2 Maßgebende Lastfälle.....	148
B.2.3 Berechnung	148
B.2.4 Aufbau	153
B.2.5 Allgemeine Hinweise	153
B.3 Flieger- und Hängekarusselle	153
B.4 Bodenkarusselle (Hänge- und Drehbodenkarusselle)	158
B.5 Autofahrgeschäfte.....	159
B.5.1 Autofahrgeschäfte mit Fahrbahnen für eine Fahrtrichtung (z. B. Autopisten, Stockwerksautobahnen, Gokart-Bahnen, Motorrollerbahnen)	159
B.5.2 Fahrgeschäfte mit beliebigen Fahrtrichtungen (Autoskooter).....	160
B.6 Steilwandbahnen/Todeswand.....	160
B.7 Globusse.....	161
B.8 Anlagen für artistische Vorführungen in der Luft.....	161
B.9 Rotoren.....	161
B.10 Rodelbahnen (Toboggans).....	162
B.11 Rollende Tonnen	162
B.12 Schiebebühnen.....	162
B.13 Drehscheiben.....	162
Anhang C (normativ) Formulare für die Überprüfungen	163
C.1 Formular für die Hauptüberprüfung	163
C.2 Erstabnahmeformular	164
Anhang D (normativ) Elektrische Anlagen und Steuerungssysteme	165
D.1 Elektrische Anlagen.....	165
D.1.1 Allgemeines	165
D.1.2 Schutzart der Betriebsmittel	165
D.1.3 Gleitkontakte.....	165
D.1.4 Erdungssysteme	165
D.1.5 Schutz gegen elektrischen Schlag.....	165
D.1.6 Blitzschutzmaßnahmen	166
D.1.7 Beleuchtung und Notbeleuchtung	166
D.1.8 Überlast- und Kurzschlussschutz	166
D.1.9 Zusätzliche Anforderungen für Wasserfahrgeschäfte	166

	Seite
D.2 Steuerungssysteme.....	167
D.2.1 Allgemeines.....	167
D.2.2 Maßgebliche Normen.....	167
D.2.3 Elemente sicherheitsbezogener Steuerungssysteme	167
D.2.4 Stopp-Funktionen	168
D.2.5 Sicherheitsrelevante Parameter	168
D.2.6 Status von Fahrgastrückhaltesystemen.....	169
D.2.7 Blockieren oder Überbrücken von Sicherheitsfunktionen	170
D.2.8 Bedienungsmodus.....	170
D.2.9 Verhinderung von Kollisionen durch Steuerungssysteme	172
Anhang E (informativ) Anleitung bezüglich der Konstruktion und Auslegung von Fahrgasteinheiten	175
Anhang F (informativ) Prüfbuch für einen Fliegenden Bau	178
Anhang G (informativ) Wirkung der Beschleunigung auf Fahrgäste.....	198
G.1 Medizinische Verträglichkeit — Allgemeines.....	198
G.2 Fahrgeschäfte	198
G.2.1 Allgemeines.....	198
G.2.2 Seitliche Beschleunigungen (y-Richtung).....	198
G.2.3 Vertikale Beschleunigung (z-Richtung).....	198
G.2.4 Kombination	198
Anhang H (informativ) Vorkehrungen vor der Inbetriebnahme	202
H.1 Allgemeines.....	202
H.2 Ausführungsgenehmigung oder -erlaubnis.....	202
H.3 Zuständigkeit.....	202
H.4 Ausführungsgenehmigung bzw. -erlaubnis für gebrauchte bzw. importierte Fliegende Bauten	202
H.4.1 Vorgehen.....	202
H.4.2 Transfer.....	202
H.5 Verlängerung und Übertragung der Ausführungsgenehmigung bzw. -erlaubnis	203
H.6 Berichte zur Verlängerung einer Ausführungsgenehmigung bzw. -erlaubnis.....	203
H.7 Erstprüfung	203
H.8 Prüfstellen	204
H.8.1 Allgemeines.....	204
H.8.2 Eignung.....	204
H.8.3 Ausstattung mit Mess- und Prüfmitteln.....	204
H.9 Gebrauchsabnahme	204
H.10 Beispiele für die laut den Vorschriften der einzelnen EU-Mitgliedsstaaten angewandten Überprüfungsintervalle	205
H.10.1 Allgemeines.....	205
H.10.2 Deutschland	205
H.10.3 Großbritannien	208
H.10.4 Italien	208
H.10.5 Niederlande	208
H.10.6 Schweden	208
Anhang I (informativ) Gefahrenliste	209
Literaturhinweise	210

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13814:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 152 „Fliegende Bauten und Anlagen für Veranstaltungsplätze und Vergnügungsparks — Sicherheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2005 zurückgezogen werden.

Diese Europäische Norm wurde auf Grund des Mandates M/233 der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CEN erstellt. Eine europäische Richtlinie für Fliegende Bauten existiert nicht.

Diese Europäische Norm ist Teil einer Reihe von 2 Dokumenten, die CEN/TC 152 für Fliegende Bauten erstellt hat. Das zweite Dokument ist prEN 13782 „Fliegende Bauten — Zelte — Sicherheit“.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann diese Norm, wenn dies in den entsprechenden Absätzen erwähnt wird, die Anwendung weiterer nationaler Normen erfordern, weil einige der anzuwendenden grundlegenden EN-Normen für die Anwendung dieser Norm noch nicht zur Verfügung stehen. Der Inhalt dieser Norm fasst, soweit möglich, die verschiedenen bestehenden nationalen Vorschriften und Richtlinien zusammen.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Gegenstand des vorliegenden Dokumentes ist die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Strukturen und maschinelle Anlagen, die Bestandteil von oder in ihrer Gesamtheit Fliegende Bauten sind. Die Sicherheitsanforderungen dienen dem Schutz von Personen und Gegenständen vor einem Unfallrisiko aufgrund von Mängeln bei Entwurf, Herstellung (Wartung) und Betrieb dieser Bauten oder Anlagen. Die Anforderungen dieses Dokumentes basieren auf früheren Erfahrungen und Gefahrenanalysen.

Anhang A ist ein informativer Teil dieses Dokumentes und enthält Hilfen für die Berechnung von Stahlbauteilen.

Die Anhänge B und C sind normative Teile dieses Dokumentes und behandeln ausführlich die erforderlichen Berechnungsverfahren und Sicherheitsanforderungen.

Anhang D (normativ) behandelt die elektrischen Einrichtungen und Steuerungssysteme.

Anhang E (informativ) enthält Leitlinien zu den Fahrgasteinheiten.

Anhang F (informativ) enthält ein Muster für das Prüfbuch eines Fliegenden Baus.

Anhang G (informativ) behandelt die Beschleunigungseinwirkungen auf die Fahrgäste.

Anhang H (informativ) enthält Vorkehrungen, die vor der Inbetriebnahme zu beachten sind.

Anhang I (informativ) enthält eine Gefahrliste mit Listung von Risiken bei Fliegenden Bauten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt grundlegende Anforderungen fest, um die Sicherheit bezüglich Entwurf, Berechnung, Herstellung, Aufstellung, Wartung, Betrieb, Überprüfung und Prüfung von mobilen, vorübergehend oder dauerhaft installierten Fliegenden Bauten, wie z. B. Karusselle, Schaukeln, Booten, Riesenrädern, Achterbahnen, Rutschen, Tribünen, textilen und Membrankonstruktionen, Buden, Bühnen, Schaugeschäften und Aufbauten für artistische Vorstellungen, sicherzustellen. Im Folgenden Fliegende Bauten genannt, sind diese sowohl zu einem wiederholten Aufbau ohne Substanzverlust als auch vorübergehend oder dauerhaft auf Veranstaltungsplätzen, in Vergnügungsparks oder anderen Örtlichkeiten vorgesehen. Feste Tribünen, Bau- und andere Gerüste sowie entfernbare landwirtschaftliche Konstruktionen und einfache münzbetriebene Fahrgeschäfte für Kinder, die nicht mehr als 2 Kinder tragen, sind nicht Gegenstand dieses Dokumentes.

Dieses Dokument kann auch für den Entwurf ähnlicher Bauten oder Fahrgast-Fördereinrichtungen verwendet werden, selbst wenn diese hier nicht explizit erwähnt sind.

Bestehende nationale Vorschriften zur Arbeitssicherheit werden von diesem Dokument nicht berührt.

Dieses Dokument betrifft nicht Fliegende Bauten, die vor der Veröffentlichung dieses Dokumentes durch CEN hergestellt wurden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokumentes erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Dokumentes (einschließlich alle Änderungen).

EN 2, *Brandklassen*

EN 3 (alle Teile), *Tragbare Feuerlöscher*

EN 286-1, *Einfache unbefeuerte Druckbehälter für Luft oder Stickstoff — Teil 1: Druckbehälter für allgemeine Zwecke*

EN 287 (alle Teile), *Prüfung von Schweißern*

EN 288 (alle Teile), *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe*

EN 294:1992, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefahrstellen mit den oberen Gliedmaßen*

EN 418, *Sicherheit von Maschinen — NOT-AUS-Einrichtung, funktionelle Aspekte — Gestaltungsleitsätze*

EN 573-3, *Aluminium und Aluminiumlegierungen — Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug — Teil 3: Chemische Zusammensetzung*

EN 696, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Polyamid*

EN 697, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Polyester*

EN 698, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Manila und Sisal*

EN 699, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Polypropylen*

EN 700, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Polyethylen*

EN 701, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Allgemeine Spezifikation*

EN 719, *Schweißaufsicht — Aufgaben und Verantwortung*

EN 729-2, *Schweißtechnische Qualitätsanforderungen — Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe — Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen*

EN 729-3, *Schweißtechnische Qualitätsanforderungen — Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe — Teil 3: Standard-Qualitätsanforderungen*

EN 818 (alle Teile), *Kurzgliedrige Rundstahlketten für Hebezwecke — Sicherheit*

EN 919, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften*

EN 954-1, *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze*

EN 1050:1996, *Sicherheit von Maschinen — Leitsätze zur Risikobeurteilung*

EN 1176 (alle Teile), *Spielplatzgeräte*

EN 1261, *Faserseile für allgemeine Verwendung — Hanf*

EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen*

EN 1677 (alle Teile), *Einzelteile für Anschlagmittel — Sicherheit*

EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10027 (alle Teile), *Bezeichnungssysteme für Stähle*

EN 10083-1+A1, *Vergütungsstähle — Teil 1: Technische Lieferbedingungen für Edelstähle*

EN 10084, *Einsatzstähle — Technische Lieferbedingungen*

EN 10160, *Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren)*

EN 10164, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen*

EN 10204, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 12385 (alle Teile), *Drahtseile aus Stahldraht — Sicherheit*

EN 13411 (alle Teile), *Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht — Sicherheit*

EN 13889, *Geschmiedete Schäkel für allgemeine Hebezwecke — Gerade und geschweißte Schäkel — Güteklasse 6; Sicherheit*

prEN 14399 (alle Teile), *Hochfeste, planmäßig vorgesehene Schraubverbindungen für den Stahlbau*

EN ISO 898-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben (ISO 898-1:1999)*

EN ISO 4014, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklassen A und B (ISO 4014:1999)*

EN ISO 4016, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklasse C (ISO 4016:1999)*

EN ISO 4017, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklassen A und B (ISO 4017:1999)*

EN ISO 4018, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklasse C (ISO 4018:1999)*

EN ISO 4032, *Sechskantmuttern, Typ 1 — Produktklassen A und B (ISO 4032:1999)*

EN ISO 4034, *Sechskantmuttern — Produktklasse C (ISO 4034:1999)*

EN ISO 5817, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003)*

EN ISO 7090, *Flache Scheiben mit Fase — Normale Reihe — Produktklasse A (ISO 7090:2000)*

EN ISO 12100-1, *Sicherheit von Maschinen — Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie (ISO 12100- 1:2003)*

EN ISO 12100-2, *Sicherheit von Maschinen — Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 2: Technische Leitsätze (ISO 12100-2:2003)*

EN 30042, *Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen schweißgeeigneten Legierungen — Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 10042:1992)*

EN 45004, *Allgemeine Kriterien für den Betrieb verschiedener Typen von Stellen, die Inspektionen durchführen*

EN 60204-1:1997, *Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204- 1:1997)*

EN 60204-32, *Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Teil 32: Anforderungen für Hebezeuge (IEC 60204-32:1998)*

EN 60947 (alle Teile), *Niederspannungsschaltgeräte*

EN 61496-1, *Sicherheit von Maschinen — Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:1997)*

prEN 61496-2, *Sicherheit von Maschinen — Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen — Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem aktiven optoelektronischen Prinzip arbeiten (IEC 61496-2:-)*

EN 61558-1, *Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten und dergleichen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61558-1:1997, modifiziert)*

ENV 1991-2-3, *Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2-3: Einwirkungen auf Tragwerke — Schneelasten*

ENV 1991-2-4:1995, *Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2-4: Einwirkungen auf Tragwerke — Windlasten*

ENV 1992 (alle Teile), *Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

ENV 1993 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

ENV 1995-1-1, *Eurocode 5: Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau*

ENV 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

ISO 3755, *Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke*

ISO 6309, *Brandschutz — Sicherheitszeichen*

ISO 7413, *Sechskantmuttern für Stahlbauverschraubungen, Typ 1, feuerverzinkt (mit Übermaß geschnitten) — Produktklassen A und B — Festigkeitsklassen 5, 6 und 8*

IEC 60364-4-41, *Elektrische Anlagen von Gebäuden — Teil 4-41: Schutzmaßnahmen; Schutz gegen elektrischen Schlag*

IEC 60364-5-54, *Elektrische Anlagen von Gebäuden — Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Erdungsanlagen, Schutzleiter und Potentialausgleich*

IEC 61508 (alle Teile), *Funktionale Sicherheit — Sicherheitssysteme*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Fliegender Bau

Anlagen, wie Fahrgeschäfte, Bauten, textile Strukturen, Membranstrukturen oder -anlagen, Schießgeschäfte, Schaugeschäfte oder Laufgeschäfte, Zelte, die Teil eines Fahrgeschäftes sind, Buden, Tribünen usw., die wiederholt ohne Substanzverlust sowohl vorübergehend als auch dauerhaft auf Messen, Jahrmärkten, in Freizeitparks oder anderen Örtlichkeiten aufgestellt werden können

3.2

unabhängige Prüfstelle

unabhängige Organisation, die in der Lage ist, Drittprüfungen, Zulassungen, Überprüfungen und Tests an Fliegenden Bauten durchzuführen

3.3

Erstabnahme

Prüfung der technischen Unterlagen und Berechnungen, Nachweise, Untersuchungen und Überprüfungen, die von der unabhängigen Prüfstelle erbracht bzw. durchgeführt werden, bevor ein Fliegender Bau erstmalig zum Transport von Fahrgästen in Betrieb genommen wird

3.4

Prüfbuch

Buch bzw. Ordner, das (der) alle erforderlichen Daten über den Betrieb und die Geschichte des Fliegenden Baus einschließlich dessen Konstruktionsentwurf und Erstabnahme enthält

3.5

Genehmigung

Erlaubnis zum Betrieb eines Fliegenden Baus in einem bestimmten Mitgliedsstaat, die von einer gesetzlich befugten Stelle nach erfolgreicher Zulassung oder Prüfung ausgestellt wird

3.6

unabhängige Hauptüberprüfung

Verfahren und Überprüfungen, mittels welcher die unabhängige Prüfstelle feststellt, ob der Zustand des Fliegenden Baus dessen sicheren Betrieb auch in Zukunft ermöglicht oder ob Mängel bestehen, die umgehend bzw. innerhalb einer bestimmten Frist zu beheben sind

3.7

Genehmigungsstelle

nationale Behörden oder Stellen, die rechtlich befugt sind, Betriebsgenehmigungen für einen Fliegenden Bau zu erteilen und Prüfbücher auszustellen

3.8

Modifikation

jede Veränderung sowohl der Bestandteile (Vorschlag: Bauteile) als auch der Steuerung eines Fliegenden Baus, die zu einer Abweichung von den ursprünglichen Spezifikationen führt, u. a. der Einbau eines neuen oder der Ersatz eines alten sicherheitsrelevanten Bauteils

3.9

Reparatur

Wiederherstellen eines einwandfreien Zustands bei sicherheitsrelevanten Bauteilen oder Baugruppen durch Ausbessern abgenutzter, beschädigter oder gealterter Teile, wobei keine Abweichung von den Spezifikationen der Originalteile entsteht

3.10

sicherheitsrelevante Bauteile

jedes Bauteil eines Fliegenden Baus, von dem die Sicherheit der Benutzer abhängt

3.11

Fahrgasteinheit

diejenigen Bauteile (z. B. Sitzvorrichtungen, Fußraum, Handgriffe und Rückhaltevorrückungen), die konstruiert wurden, um zu verhindern, dass sich die Fahrgäste eines Fahrgeschäfts, sei es aufgrund der durch das Fahrgeschäft wirkenden Kräfte oder aufgrund ihres Verhaltens, außerhalb eines vorgegebenen Bereichs bewegen

3.12

Fahrzeug

Teil bzw. Teile eines Fliegenden Baus/Fahrgeschäfts, die zur Aufnahme der Fahrgäste bestimmt sind

3.13

Podium

horizontale oder geringfügig geneigte Fläche, die sich über die angrenzende Fläche erhebt

3.14

Bediener

Person, die von dem Betreiber eines Fliegenden Baus ernannt wurde und für den öffentlichen Betrieb des Fliegenden Baus verantwortlich ist

3.15

Aufsichtsperson

eine Person, die ernannt wurde, unter der Aufsicht oder Anleitung eines Bedieners beim öffentlichen Betrieb eines Fliegenden Baus mitzuwirken

3.16

Betreiber (Fahrgeschäftsbetreiber)

Person oder Organisation, welche die allgemeine Verfügungsgewalt über einen Fliegenden Bau hat. Hierbei kann es sich um eine natürliche oder juristische Person handeln, die Eigentümer des Fliegenden Baus ist, oder um einen Konzessionär oder Pächter, welchem der Eigentümer für eine bestimmte Zeit die Verfügungsgewalt über den Fliegenden Bau überlassen hat

3.17**tägliche Kontrolle**

Funktionsüberprüfung, die vor Aufnahme des Publikumbetriebs durchgeführt wird, um festzustellen, ob der Zustand eines Fliegenden Baus den weiteren sicheren Betrieb ermöglicht

3.18**Probefahrt**

Fahrt des Fliegenden Baus/Fahrgeschäfts zu Testzwecken, bei der keine Fahrgäste befördert werden

3.19**Instandhaltung**

Austausch von Verschleißteilen bzw. Auffüllen von Verbrauchsstoffen

4 Symbole

Eventuelle Symbole, die mit den jeweiligen Einheiten in Zusammenhang stehen, werden in den betreffenden Absätzen abgehandelt.

5 Allgemeine Anforderungen an Konstruktion, Berechnung und Überprüfung**5.1 Bauvorlagen****5.1.1 Allgemeines**

Zu den Bauvorlagen gehören alle für die Beurteilung der Stand- und Betriebssicherheit des Fliegenden Baus erforderlichen Unterlagen. Sie sind für jegliche Prüfung durch die unabhängigen Prüfstellen vorzulegen. Diese Dokumente müssen alle Bauzustände für den Betrieb des Fliegenden Baus umfassen. Zu diesem Zweck sind eine Bau- und Betriebsbeschreibung, Konstruktionszeichnungen und umfassende Spannungs-, Ermüdungs- und Standsicherheitsnachweise nach 5.1.4 sowie eine Beurteilung der Betriebssicherheit notwendig.

5.1.2 Bau- und Betriebsbeschreibung

In dieser Beschreibung ist der Fliegende Bau, insbesondere seine Konstruktion, seine Nutzungsart und bauliche Struktur, zu erläutern. Ausreichende Angaben über mechanische (hydraulische, pneumatische), elektrische und elektrotechnische Einrichtungen einschließlich aller Steuerungssysteme sind aufzuführen. Zur Beschreibung gehören auch Angaben über Besonderheiten des Fliegenden Baus und eventuelle Aufstellungsvarianten, Hauptabmessungen und darüber hinausgehende Bewegungsräume, Begrenzungen, Besonderheiten der Konstruktion und Werkstoffe, Bewegungsabläufe, Antriebsarten, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, elektrotechnische Einrichtungen, Funktions- und Betriebsabläufe sowie eventuelle Einschränkungen des Benutzerkreises.

5.1.3 Konstruktions- und Herstellungszeichnungen

Diese sind für alle Baugruppen und Untereinheiten und Einzelteile erforderlich, bei deren Bruch oder Versagen die Stand- oder Betriebssicherheit des Fliegenden Baus gefährdet werden könnte. Die Zeichnungen müssen alle die für die Prüfungen und Abnahmen notwendigen Maße und Querschnittswerte sowie Angaben zu Werkstoffen, baulichen Strukturen, Befestigungs- und Verbindungsmitteln und die maßgeblichen Geschwindigkeiten enthalten. Zu den Konstruktionszeichnungen gehören mindestens:

- Übersichtszeichnungen im Grund- und Aufriss sowie Schnitte, je nach Größe des Fliegenden Baus in einem leserlichen Maßstab;
- Angabe des für die beweglichen Teile erforderlichen Lichtraumprofils;

- Detailzeichnungen in größerem Maßstab von allen in den Übersichtszeichnungen nicht klar erkennbaren Bauteilgruppen sowie Detailzeichnungen von Verbindungen und einzelnen bau-, maschinen- und elektro-technischen Teilen, welche sich auf die Sicherheit und den Betrieb des Fliegenden Baus auswirken könnten;
- Zu diesem Zweck kann die Darstellung folgender Teile erforderlich sein:
 - Drehwerke, Hub- und Schwenkeinrichtungen einschließlich ihrer Lager, Antriebe und Steuerungen, Hub- und Schwenkbereiche;
 - Fahrzeuge bzw. Gondeln u. dergleichen, in allen notwendigen Ansichten und Schnitten, mit Angabe der Außenmaße, der für die Fahrgäste wichtigen Innenmaße (Sitze, Seiten- und Rückenlehnen, Bein- und Fußraum), Festhaltungsmöglichkeiten sowie Verriegelungs- und Sicherungseinrichtungen;
 - Fahrwerke mit Angaben zu Lauf-, Führungs- und Gegenrädern, deren Lager, Achsen, Wellen und ihrer Befestigung sowie Freigängigkeit gegenüber dem Fahrzeug, Lenkung und Steuerung sowie Rücklaufsicherung, Entgleisungs- und Kippsicherungen, Puffer, Anhängervorrichtungen, Schutzvorrichtungen, Antriebe und Bremsen sowie Verankerung mit dem Untergrund;
 - Pneumatik-, Hydraulik-, Elektro- und Elektronikschaltpläne.

5.1.4 Rechnerische Nachweise

5.1.4.1 Die Nachweise müssen mindestens Folgendes umfassen:

- Nachweise der Tragsicherheit;
- Nachweise der Ermüdungsfestigkeit;
- Stabilitätsnachweise, d. h. Knicken von Stäben, Platten- und Schalenbeulen;
- erforderlichenfalls Formänderungsnachweis;
- Nachweis der Kipp-, Gleit- und Abhebesicherheit;
- dynamische Berechnungen.

5.1.4.2 Die oben genannten Nachweise müssen mindestens enthalten:

- Lastannahmen unter Berücksichtigung der möglichen Betriebszustände bzw. der Aufstellungsvarianten. Bei bewegten Teilen sind Geschwindigkeit bzw. Drehzahl und Beschleunigung anzugeben. Spezielle beim Aufbau der Fliegenden Bauten auftretende Lasten (z. B. Begehen von Teilen, die dafür nicht ausgelegt sind) sollten näher bestimmt und (auf den entsprechenden Bauteilen) markiert werden;
- Hauptabmessungen und Querschnittswerte aller tragenden Bauteile sowie detaillierte Angaben zur Beurteilung der Ermüdungsfestigkeit;
- Angaben zu Werkstoffen und Bauteilen;
- Ermittlung der ungünstigsten Spannungen (Ober- und Unterspannung und Spannungsschwingbreite) und Angaben über die zulässige Beanspruchung der tragenden Bauteile und Verbindungen. Erscheinen die Berechnungen zur Beurteilung der Grenzzustände von Bauteilen unzureichend, so darf der Nachweis auch durch eine Prüfung erbracht werden. Das Prüflabor muss bezüglich der erforderlichen Anzahl von Prüfungen, Probenentnahmen, des Prüfverfahrens und Prüfberichts usw. gemäß den maßgeblichen Europäischen Normen (EN-Normen) verfahren. Falls keine Europäischen Normen bestehen, hat das Prüflabor gemäß äquivalenten nationalen Normen vorzugehen;
- Angaben über elastische Verformungen (Biegung/Torsion), soweit diese für die Stand- oder Betriebssicherheit des Fliegenden Baus von Bedeutung sind;
- Angaben zu Bauteilen, die einer speziellen Überprüfung und Kontrolle nach 5.6.3.2. bedürfen.

5.2 Auswahl der Werkstoffe

5.2.1 Allgemeines

Für Tragwerksbauteile dürfen nur Werkstoffe verwendet werden, für die in entsprechenden Europäischen Normen des Bauwesens Bemessungsangaben enthalten sind.

Andere Werkstoffe dürfen nur verwendet werden, wenn der Nachweis ihrer Brauchbarkeit erbracht ist. Müssen Verbindungen im Tragwerk geschweißt werden, so muss der Konstrukteur die Anforderungen an die Verbindung sowie die Schweißeignung der verwendeten Werkstoffe nach den entsprechenden EN-Normen besonders beachten.

5.2.2 Empfohlene Stähle

5.2.2.1 Stähle für Bauteile

- S235JRG2 nach EN 10025
- S275JR nach EN 10025
- S355JO nach EN 10025
- GS-52 nach ISO 3755 ¹⁾
- 2 C 35 nach EN 10083-1 ¹⁾

5.2.2.2 Stähle für Maschinenteile

- S235JRG2 nach EN 10025
- S355JO nach EN 10025
- E 295 nach EN 10027 (alle Teile) ¹⁾
- E 335 nach EN 10027 (alle Teile) ¹⁾
- E 360 nach EN 10027 (alle Teile) ¹⁾
- 2 C 22 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 16MnCr5 nach EN 10084 ¹⁾
- 20MnCr5 nach EN 10084 ¹⁾
- 2 C 45 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 2 C 60 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 34CrNiMo6 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 41Cr4 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 42CrMo4 nach EN 10083-1 ¹⁾
- 51CrV4 nach EN 10083-1 ¹⁾
- GS-45.3 nach ISO 3755 ¹⁾

1) Nicht für geschweißte Teile.

Andere Stähle, deren technologische Werte (mechanische und chemische Eigenschaften) in Europäischen Normen bzw. bei Nichtvorhandensein Letzterer in entsprechenden nationalen Normen aufgeführt sind, dürfen ebenfalls verwendet werden.

5.2.3 Aluminiumlegierungen

Aluminiumlegierungen sind nach Europäischen Normen (z. B. EN 573-3) oder gleichwertigen nationalen Normen auszuwählen.

Aluminiumlegierungen mit einem Verhältnis von $f_{0,2}/f_u > 0,85$ oder einer Bruchdehnung von weniger als $\varepsilon \leq 8 \%$ dürfen nicht für Bauteile und Verbindungen verwendet werden.

5.2.4 Holz

Holz ist in Übereinstimmung mit den in ENV 1995-1-1 genannten Normen auszuwählen.

5.2.5 Kunststoffverbundwerkstoffe

Kunststoffverbundwerkstoffe sind in Übereinstimmung mit den Europäischen Normen bzw. bei Nichtvorhandensein Letzterer in Übereinstimmung mit den jeweiligen nationalen Normen zur Verwendung von Kunststoffverbundwerkstoffen im Bauwesen auszuwählen.

5.2.6 Beton

Die Betongüteklasse ist nach ENV 1992 (alle Teile) zur Anwendung von Beton im Bauwesen zu wählen.

5.2.7 Befestigungselemente

Es sind Schrauben und Bolzen der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 und 10.9 nach EN ISO 898-1 zu wählen.

Nieten sind nach Europäischen Normen bzw. bei Nichtvorhandensein Letzterer nach nationalen Normen zu wählen.

Blindnieten sind nach Europäischen Normen bzw. bei Nichtvorhandensein Letzterer nach nationalen Normen zu wählen oder ihre Eignung für den vorgesehen Zweck muss experimentell nach ENV 1993-1-1 und 5.1.4.2 nachgewiesen werden.

5.3 Lastannahmen

5.3.1 Allgemeines

Im Allgemeinen müssen alle zutreffenden Einwirkungen nach ENV 1991 (alle Teile) gewählt werden. Anpassungen an die speziellen Bedingungen von Fliegenden Bauten sind nachfolgend angeführt.

5.3.2 Ständige Einwirkungen

Im Allgemeinen ist für Fliegende Bauten eine sehr genaue Annahme der ständigen Einwirkungen möglich. Sofern Abweichungen auftreten können, müssen die Werte G_{kh} und G_{kl} berücksichtigt werden, um die zutreffende Reaktion des Bauwerks beurteilen zu können. Andernfalls ist ein einziger charakteristischer Wert G_k ausreichend.

- G_k charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung
- G_{kh} oberer charakteristischer Wert
- G_{kl} unterer charakteristischer Wert

Hierzu gehören die tatsächliche Eigenlast des Tragwerks, des Zubehörs und der zum Betrieb notwendigen technischen Einrichtungen sowie der Verkleidungen, Bespannungen, Dekorationen und dergleichen. Der Einfluss von trockenem und nassem Werkstoff ist in G_{kh} und G_{kl} zu berücksichtigen.

Die ständigen Einwirkungen sind nach ENV 1991 (alle Teile) zu bestimmen. Die tatsächliche Eigenlast von Maschinenteilen, elektrischen Einrichtungen, Fahrzeugen, Gondeln und dergleichen ist nachzuweisen.

5.3.3 Veränderliche Einwirkungen

5.3.3.1 Verkehrslasten

5.3.3.1.1 Allgemeines

Diese bestehen aus äußeren Lasten und eingeprägte Zwängungen (z. B. Verkehrslasten, Lasten aus Bewegung, dynamische Lasten, Wind- und Schneelasten, Temperaturbeanspruchungen oder Setzungen), die auf ein Bauteil wirken und in Bezug auf ihre Größe, Richtung oder Angriffspunkt während des normalen Betriebs veränderlich sind (zeitliche sowie räumliche Änderung).

5.3.3.1.2 Lotrechte Verkehrslasten

5.3.3.1.2.1 Für fahrgastaufnehmende Einheiten (Fahrzeuge, Wagen, Gondeln) sind folgende Lasten anzunehmen:

— für jede Person älter als 10 Jahre

$Q_k = 0,75 \text{ kN}$ für alle Ermüdungsberechnungen und für Einheiten mit 2 oder mehr Fahrgästen;

$Q_k = 1,0 \text{ kN}$ für Einheiten mit einem Fahrgast (nur für Berechnungen im statischen Fall);

— für jede Person bis zu 10 Jahren

$Q_k = 0,40 \text{ kN}$ in beiden Fällen.

Bei Anwendung der reduzierten Lasten für Personen bis zu 10 Jahren ist unter Umständen 7.4.7.4 zu beachten.

5.3.3.1.2.2 Die folgenden Werte für vertikale Verkehrslasten sind für alle begehbaren Bereiche anzunehmen.

Allgemeiner öffentlicher Zugang:

$q_k = 3,5 \text{ kN/m}^2$

für Böden, Treppen, Podeste, Rampen, Zu- und Abgänge u. Ä. in Fahrgeschäften und anderen Einrichtungen;

$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

für Tribünen, deren Treppen und Podeste; und als erhöhter Wert für oben genannte Kategorien, falls besonders dichte Menschenmengen erwartet werden.

$q_k = 2 \text{ kN/m}^2$

in von Besuchern während des Betriebs begangenen Dreh- bzw. Auslegerbereichen (Aus- und Einsteigen); oder die doppelte Fahrgastlast aller Plätze gemäß 5.3.3.1.2.1, wobei der ungünstigere Fall anzunehmen ist, um eine ausreichende Berücksichtigung des Fahrgastwechsels sicherzustellen;

$$Q_k = 1 \text{ kN je Stufe}$$

für Treppen; alternativ eine Flächenlast nach obigem Abschnitt, wobei der ungünstigere Fall anzunehmen ist;

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

für Sitzbretter pro Sitzreihe und für Fußböden zwischen festen Sitzreihen, es sei denn, es ergeben sich höhere Lasten aus der Anwendung von Flächenbelastungen ($q_k = 3,5 \text{ kN/m}^2$).

Nicht zugänglich für die Öffentlichkeit:

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

für alle Fußböden, Podien, Rampen, Treppen, Laufstege, Bühnen u. Ä., die von einzelnen Personen begangen werden, oder $Q_k = 1,5 \text{ kN}$ als Einzellast, wobei der ungünstigere Fall anzunehmen ist.

5.3.3.1.3 Waagerechte Verkehrslasten

5.3.3.1.3.1 Die folgenden Werte horizontal aufgebrachter Lasten sind auf Geländer, Zäune, Brüstungen, Wandtafeln usw. anzuwenden:

Bei Böden mit öffentlichem Zugang, die für eine Flächenlast von $q_k = 3,5 \text{ kN/m}^2$ ausgelegt sind:

- $p_k = 0,5 \text{ kN/m}$
auf den Handlauf.
- $p_k = 0,1 \text{ kN/m}$
auf Höhe des Zwischenholmes.

Für Bereiche mit öffentlichem Zugang, die für eine Flächenlast von $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ ausgelegt sind:

- $p_k = 1 \text{ kN/m}$
auf den Handlauf.
- $p_k = 0,15 \text{ kN/m}$
auf Höhe des Zwischenholmes.

Für Bereiche ohne öffentlichen Zugang, die für eine Flächenlast von $q_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$ ausgelegt sind:

- $p_k = 0,30 \text{ kN/m}$
auf den Handlauf.
- $p_k = 0,10 \text{ kN/m}$
auf Höhe des Zwischenholmes.

Bei Wandtafeln ohne speziellen Handlauf sind die oben genannten Werte auf Handlaufhöhe anzuwenden, nicht jedoch über einer Höhe von 1,2 m, wenn dies zutrifft.

5.3.3.1.3.2 Um bei Tribünen und ähnlichen Anlagen mit Sitz- oder Stehplatzmöglichkeiten eine ausreichende Längs- und Quersteifigkeit zu gewährleisten, ist zusätzlich zu einer eventuellen Windkraft nach 5.3.3.4 eine in Fußbodenhöhe in die jeweils ungünstigste Richtung angreifende, horizontale Seitenkraft in die

Berechnung einzubeziehen. Diese horizontale Komponente ist mit 1/10 der vertikalen Verkehrslast nach 5.3.3.1.2.2 anzusetzen.

5.3.3.2 Antriebs- und Bremskräfte

Antriebskräfte und Bremskräfte sind für den gewählten Antrieb (z. B. Gleichstrommotor, Drehstrommotor, Hydraulikmotor usw.) und die gewählten Bremsen zu berechnen und mit ihren jeweiligen Werten in der Berechnung anzusetzen. Bei Hydraulikzylindern sind die Einflüsse aus Anfahren und Abbremsen durch konstruktive Maßnahmen erfassbar klein zu halten und rechnerisch zu berücksichtigen.

Im Allgemeinen sind die Brems- bzw. Anfahrkräfte entsprechend der tatsächlichen Brems- bzw. Motorleistung zu berechnen (Beschleunigung/Verzögerung)

$$B = a_b \times (m_v + m_p) \quad (1)$$

Dabei ist

- B die Kraft beim Bremsen bzw. Anfahren;
- a_b die Beschleunigung beim Bremsen bzw. Anfahren;
- m_v die Masse der bewegten Teile ohne Berücksichtigung der Fahrgäste;
- m_p die Gesamtmasse der Fahrgäste nach 5.3.3.1.2.1.

Bei kreisförmigen Bewegungen sind die entsprechenden Parameter in die Gleichung einzusetzen. Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass Geschwindigkeitswandler (z. B. Übersetzungen, Getriebe) dabei berücksichtigt werden. Ein eventueller Stoßfaktor ist ebenfalls zu berücksichtigen (siehe auch 5.3.5.1).

Bei Fahrgeschäften, deren Geschwindigkeiten einen Wert von 3 m/s nicht überschreiten, dürfen, wenn kein genauerer Nachweis geführt wird, die Beschleunigungen bzw. Verzögerungen mit $a_b = 0,7 \text{ m/s}^2$ angenommen werden.

5.3.3.3 Lasten auf Abstütz- und Rückhaltevorrichtungen

Diese Lasten sind bei der Konstruktion von Rückhaltevorrichtungen und Fahrgasteinheiten sowie Handläufen und Abstützeinrichtungen in Fahrzeugen zu berücksichtigen. Zu berücksichtigen sind alle wichtigen Situationen während des Fahrablaufs, u. a. Ein- und Aussteigen sowie Notsituationen. Die von den Fahrgästen, die sich gegen die Rückhaltevorrichtungen oder andere Teile der Fahrgasteinheit (z. B. Fußablagen) stemmen, verursachten Kräfte sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die Größe der maximalen Abstützkkräfte hängt im Einzelnen von der jeweiligen Konstruktion der Fahrgasteinheit ab. Bei der Berechnung sollten für diese Kräfte jedoch stets Werte von mindestens 500 N pro Person angesetzt werden.

5.3.3.4 Windlasten

5.3.3.4.1 Windlasten allgemein

Die Windlasten basieren auf ENV 1991-2-4 und wurden im Hinblick auf die unten angeführten Punkte an die Besonderheiten von Fliegenden Bauten angepasst:

- Aufstellort;
- Dauer und Jahreszeit der Aufstellung;
- Betrieb unter der Aufsicht eines Bedieners;
- Möglichkeiten zum Schutz und zur Verstärkung.

Die Werte aus Tabelle 1 können für „übliche“ Fliegende Bauten angewendet werden, die in Gebieten verwendet werden, in denen die Referenzwindgeschwindigkeit $v_{\text{ref},0}$ laut der Karten in Anhang A der ENV 1991-2-4:1995 höchstens 28 m/s beträgt (Fahrgeschäfte oder Bauten außer Betrieb) und wenn der Betrieb ab einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s (im Betriebszustand) eingestellt wird.

Der Fliegende Bau oder die Anlage muss geschützt oder angemessen verstärkt werden, wenn die tatsächliche Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 10 m $v_{\text{actual}} \geq 25$ m/s erreicht.

Die Berechnung von Tabelle 1 beruht auf folgenden Annahmen:

- $v_{\text{ref}(p)} = 0,85 v_{\text{ref},0}$ im Ruhezustand der Anlage (gemittelt über die letzten 5 Jahre);
- $c_{\text{tem}} = 0,80$ (für Höhen von 0 bis 20 m im Ruhezustand der Anlage), weil Schutz, Verstärkung und Überdachung möglich sind (der Konstrukteur muss die Überdachungs- und Verstärkungsmaßnahmen festlegen).

Fahrgeschäfte oder Bauten dürfen nicht schwingungsempfindlich sein, da für die Werte von Tabelle 1 ein dynamischer Faktor von $c_d = 0,90$ (unempfindlich gegen dynamische Beanspruchungen) angesetzt wurde.

Die Bestimmung der in der Tabelle enthaltenen Werte basiert auf folgenden weiteren Annahmen $c_{\text{dir}} = 1,0$, $c_{\text{alt}} = 1,0$, $c_t = 1,0$ (Gebietskategorie III).

Für andere Aufstellplätze, bei denen die Referenzwindgeschwindigkeit $v_{\text{ref},0}$ mehr als 28 m/s beträgt (laut der Karten in Anhang A von ENV 1991-2-4:1995 bzw. aufgrund der örtlichen Situation oder der Höhenlage), sind für Fliegende Bauten Berechnungen vorzulegen, welche die Standfestigkeit unter den örtlichen Bedingungen nachweisen. In den Berechnungen muss der Nachweis erbracht werden, dass geeignete, der jeweiligen Situation angemessene Maßnahmen ergriffen wurden.

Tabelle 1 — Winddrücke für Fliegende Bauten

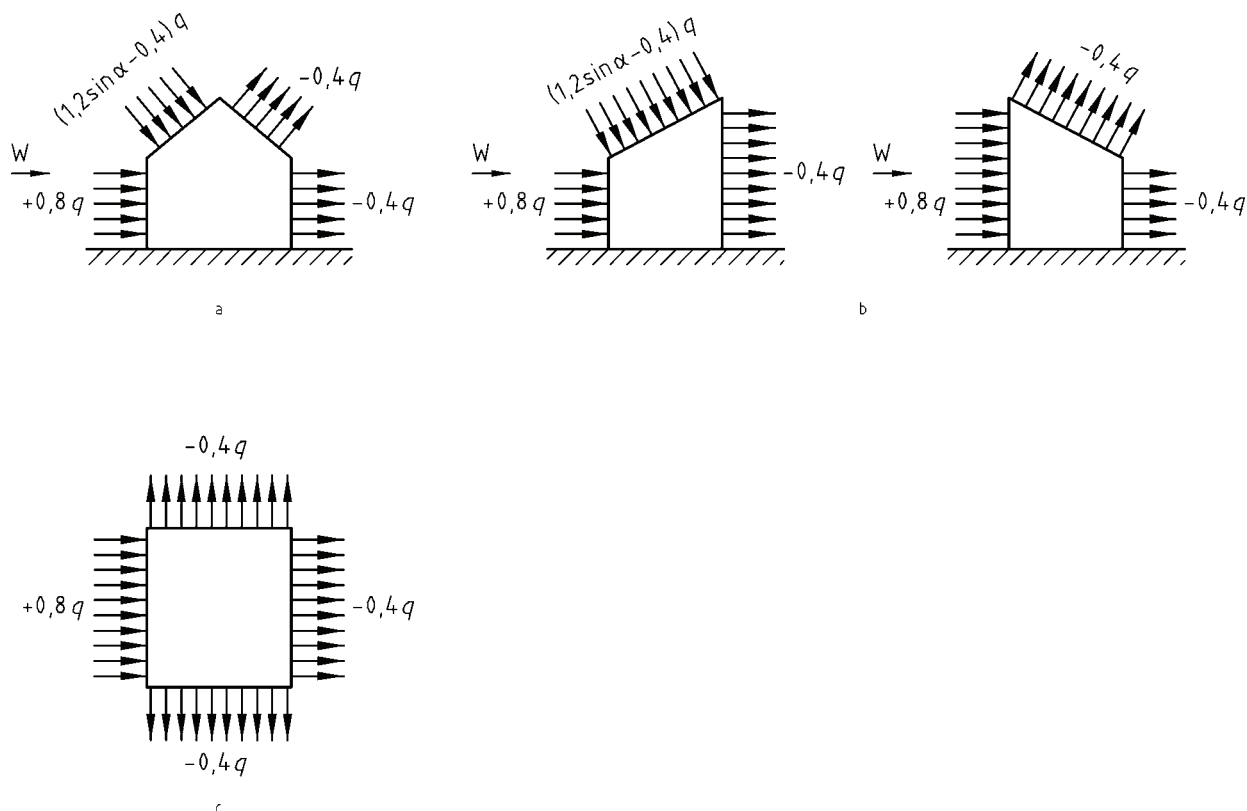
Bauhöhe	Druck	
	$q_{\text{eq}} = q_{\text{ref}} \times ce(ze) \times c_d$ (kN/m ²)	
	für Referenzwindgeschwindigkeit	
	$v_{\text{ref}} \leq 15$ m/s (in Betrieb)	$v_{\text{ref},0} \leq 28$ m/s (außer Betrieb)
$0 \leq 8$ m	0,20	0,35
$8 \leq 20$ m	0,30	0,50
$20 \leq 35$ m	0,35	0,90
$35 \leq 50$ m	0,40	1,00

Die Windlast auf eine bestimmte Fläche kann berechnet werden, indem man die o. g. Werte in nachfolgende Gleichung einsetzt

$$F_w = q_{\text{eq}} \times c_f \times A_{\text{ref}} \quad (2)$$

Bei exponierten Standorten (z. B. Standorte in Küsten- und Bergregionen, die nicht in Gebietskategorie III fallen oder eine andere Topographie und Rauigkeit aufweisen) sind die in ENV 1991-2-4 genannten Windlasten unter Berücksichtigung der örtlichen Rauigkeits- und Topographiebeiwerte usw. anzusetzen.

Aerodynamische Beiwerte für diverse Bau- und Bauteilformen sind im Allgemeinen der ENV 1991-2-4 zu entnehmen.



Legende

„c“ gilt für „a“ und „b“

Bild 1 — Aerodynamische Beiwerte für herkömmliche Bauformen

5.3.3.4.2 Windlasten im Betriebszustand

Bei Fliegenden Bauten im Betriebszustand kann die Windlast mit einem Staudruck nach Spalte 2 in Tabelle 1 berechnet werden. Der Betrieb ist einzustellen, wenn die Windgeschwindigkeit $v_{10} = 15 \text{ m/s}$ (in 10 m Höhe gemessen) überschreitet. Die Windangriffsfläche aus der Verkehrslast (z. B. Umriss der Fahrgäste) ist zu berücksichtigen.

5.3.3.5 Schneelasten

Schneelasten müssen gemäß ENV 1991-2-3 angenommen werden.

Schneelasten müssen nicht berücksichtigt werden, wenn die Fliegenden Bauten:

- in Regionen aufgestellt werden, in denen Schnee sehr unwahrscheinlich ist; oder
- nur in schneefreien Jahreszeiten betrieben werden;
- so konstruiert und betrieben werden, dass sich kein Schnee auf dem Fliegenden Bau ansammeln kann;
- betrieben und gleichzeitig Vorbeugemaßnahmen zur Verhinderung einer Schneeansammlung auf dem Fliegenden Bau ergriffen werden.

Letzteres kann durch Erfüllen aller nachfolgend aufgezählten Anforderungen erreicht werden:

- ausreichende Heizvorrichtungen sind installiert und betriebsbereit;
- die Heizung wird vor Einsetzen des Schneefalls eingeschaltet;
- der Fliegende Bau wird so beheizt, dass die gesamte Dachverkleidung auf allen Teilen eine Außenflächentemperatur von über +2 °C aufweist;
- die Verkleidung wird so konstruiert und verspannt, dass sich keine Wasseransammlungen bilden können.

Wenn durch Entfernen des Schnees stets sichergestellt werden kann, dass eine Schneehöhe von $h = 8$ cm nicht überschritten wird, dann kann bei Fliegenden Bauten eine reduzierte Schneelast von 0,2 kN/m² über die gesamte Dachfläche angenommen werden.

Diese Einschränkungen bezüglich der Schneelasten sind im Prüfbuch einzutragen.

5.3.3.6 Massenkräfte (Fliehkräfte, Kreiselkräfte und Corioliskräfte)

Trägheitskräfte sind stets nach den jeweils vorherrschenden Bedingungen zu bestimmen, bezüglich der Berechnung dieser Kräfte bei verschiedenen Arten von Fahrgeschäften siehe z. B. Anhang B.

5.3.3.7 Planmäßiger Anprall während des Betriebs

Die Wirkungen der Anprallkräfte müssen nur bei unmittelbar betroffenen Bauteilen und den zugehörigen Verbindungen berücksichtigt werden.

Der Anprall ist an der ungünstigsten Stelle des betroffenen Bauteils anzunehmen, und die Berechnung muss auf der Masse eines vollbesetzten (m_{tot} in kg) Fahrzeuges basieren.

Wenn ein Anprall nur bei Winkeln von $\alpha \leq 90^\circ$ möglich ist, so berechnet sich die Anprallkraft F (in N) zu $F = 9,81 \times m_{\text{tot}} \times \sin \alpha$ (m_{tot} in kg), jedoch mindestens zu $0,3 \times 9,81 \times m_{\text{tot}}$.

Handelt es sich bei dem Anprall nicht um einen planmäßigen Teil der Konstruktion bzw. Zweck des Fahrspiels, so ist er als außergewöhnliche Einwirkung zu betrachten (siehe 5.3.6.3).

5.3.4 Erdbebenlasten

Seismische Kräfte sind nur bei spezieller Erfordernis zu berücksichtigen; sie müssen nicht mit Windlastfällen kombiniert werden.

5.3.5 Zuschläge für Stöße, für die Schwingung direkt befahrener Bauteile und für den Anprall

5.3.5.1 Stöße

Treten während der Fahrbewegung in der Konstruktion oder in einzelnen ihrer Teile Stoßkräfte auf (z. B. an Schienenstößen oder durch Abnutzung), dann sind die betreffenden, sich bewegenden Lasten (Eigenlast und Verkehrslast) mit einem Stoßfaktor von mindestens $\varphi_1 = 1,2$ zu multiplizieren, es sei denn, die Art der Konstruktion erfordert einen noch höheren Faktor. Werden während der Probeläufe an der fertigen Anlage wesentlich höhere Werte für die Stoßkräfte (z. B. durch Schienenstöße) festgestellt und können diese Stoßkräfte durch bauliche Maßnahmen nicht auf ihren Auslegungswert reduziert werden, dann ist der Stoßfaktor in einer modifizierten Berechnung entsprechend zu erhöhen. Anfahr- und Bremskräfte, z. B. bei hydraulischen Zylindern, gelten nicht als Stoßkräfte (sondern als normale Verkehrslasten), siehe in diesem Zusammenhang auch 5.3.3.2.

5.3.5.2 Schwingungen direkt befahrener Bauteile

Aufgrund der Schwingwirkung in direkt befahrenen Bauteilen, z. B. Achterbahnschienen, sind alle resultierenden Schnittgrößen mit einem Schwingbeiwert von $\varphi_2 = 1,2$ zu multiplizieren.

Bei entsprechendem Nachweis darf ein niedrigerer Beiwert von $1,0 \leq \varphi_2 \leq 1,2$ angenommen werden. Ohne Schwingbeiwert können berechnet werden:

- Unterstützungen oder Aufhängungen der direkt befahrenen Bauteile;
- Bodenpressungen;
- Verformungen;
- Stand- und Gleitsicherheit.

Bei bestimmten Anlagen können zusätzliche bauliche Maßnahmen erforderlich werden, um unzulässige Schwingungen (z. B. Resonanzen) zu verringern oder zu dämpfen.

5.3.6 Lastkombinationen

5.3.6.1 Allgemeines

Die Grenzzustände für Fliegende Bauten sind mit folgenden Kombinationen und Teilsicherheitsbeiwerten zu berechnen.

5.3.6.2 Grundkombinationen

Die Bemessungswerte der Einwirkungen sind wie folgt zu ermitteln:

$$\Sigma \gamma_G G_k (= \Sigma 1,35 G_k) \quad (3)$$

$$\Sigma \gamma_G G_k + \Sigma \gamma_Q Q_{k,i} (= \Sigma 1,1 G_k + \Sigma 1,35 Q_{k,i}) \quad (4)$$

Beide Fälle sind zu überprüfen, dabei ist

$\gamma_G = 1,1$ oder $1,35$ Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen;

$\gamma_Q = 1,35$ Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen;

G_k charakteristischer Wert für ständige Einwirkungen;

$Q_{k,i}$ charakteristischer Wert für veränderliche Einwirkungen.

5.3.6.3 Außergewöhnliche Kombinationen

$$1,0 \times G_k + A_d + \Sigma 1,0 \times Q_{k,i} \quad (5)$$

Dabei ist

$Q_{k,i}$ charakteristischer Wert für veränderliche Einwirkungen;

A_d Bemessungswert für außergewöhnliche Einwirkungen.

Außergewöhnliche Einwirkungen (z. B. seismische Kräfte) sind nur bei besonderer Erfordernis zu berücksichtigen. In solchen Fällen gilt Gleichung (5).

5.3.6.4 Ermüdungskombinationen

Jede Spannung bzw. Spannungsschwingbreite, die zum Gesamtkollektiv eines einzelnen Bauteils beiträgt, ist durch einen Teilsicherheitsbeiwert von mindestens $\gamma_{Ff} = 1,00$ in den Nachweis einzubinden. Kombinationsbeiwerte sind nicht anzuwenden.

γ_{Ff} Teilsicherheitsbeiwert für Ermüdungslasten.

5.4 Statische Berechnung — Grundsätze

5.4.1 Allgemeines

Die Grenzzustände, die sich aus den verschiedenen Einwirkungen ergeben, sind für die einzelnen unter 5.3 aufgeführten Lastfälle separat zu bestimmen. Es ist der Nachweis zu erbringen, dass kein relevanter Grenzzustand die Bemessungseigenschaften übersteigt. Die Grenzzustände, die sich aufgrund der Lastkombinationen ergeben, sind zu berechnen. Es ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der inneren Kräfte oder Momente die entsprechenden Bemessungswiderstände des betreffenden Bauteils nicht überschreitet und dass die Grenzzustände der Tragfähigkeit sowie der Gebrauchstauglichkeit nicht überschritten werden. Bezüglich Prüfungen siehe 5.1.4.2.

Besondere Sorgfalt ist auf die Grenzzustände der Verformungs- und Standsicherheit von Fliegenden Bauten zu verwenden, da hier der Verformungsgrenzwert entscheidend sein kann. Ein positiver Einfluss, der sich aus der Methode der Theorie zweiter Ordnung ergibt, darf berücksichtigt werden.

Alle Nachweise sind jeweils für die ungünstigste Belastung aufzustellen. Dabei sind die ständigen, veränderlichen und außergewöhnlichen Einwirkungen sowie die dynamischen Kräfte stets in der Position und Größenordnung anzunehmen, welche für die zu berechnenden baulichen und mechanischen Teile die ungünstigsten Grenzzustände ergeben. Bei nicht fest installierten Bauteilen, mechanischen Teilen und sonstigen Einrichtungen ist außerdem zu untersuchen, ob durch Verschieben oder Entfernen dieser Teile ungünstigere Verhältnisse auftreten können.

Nicht genormte Gleichungen sind schriftlich mittels der Zeichen laut EN- oder ISO-Normen zu dokumentieren. Für solche Gleichungen ist die Quelle anzugeben, wenn diese allgemein zugänglich ist. Anderenfalls ist die Ableitung der Gleichung so darzustellen, dass ihre Richtigkeit verifiziert werden kann.

Bei EDV-Berechnungen ist besonderes Augenmerk auf die Anforderungen an die Kontrolle von EDV-Berechnungen im Rahmen der Prüfung technischer Unterlagen zu legen. Eindeutige Angaben zu Software, Gleichungen, Einheiten usw. sind vorzulegen. Für die Berechnung wichtige Eingabe- und Ausgabedaten sind vollständig auszudrucken. Die Prüfung der Berechnung muss mit einer unabhängigen Software ausgeführt werden. Im Zuge der Prüfung der technischen Unterlagen sind die Annahmen bzgl. der Eingabe- und Ausgabedaten umfassend zu überprüfen.

Der Bemessungswiderstand ist nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (6)$$

Dabei ist

R_d Bemessungswiderstand der Werkstoffeigenschaft;

R_k charakteristischer Wert der Werkstoffeigenschaft;

$\gamma_M = 1,1$ Teilsicherheitsbeiwert für die Werkstoffeigenschaft bei statischen Lastkombinationen;

γ_{Mf} Teilsicherheitsbeiwert für die Werkstoffeigenschaft bei Kombinationen von Ermüdungslasten (siehe Tabelle 5).

Bei anderen Werkstoffen als Stahl sind die in der entsprechenden Europäischen Norm angegebenen γ_M -Werte zu berücksichtigen.

5.4.2 Berechnungsgrundsätze für bestimmte Fahrgeschäftstypen

5.4.2.1 Annahmen für Rundfahrgeschäfte

Fahrgeschäfte sind im Betriebszustand, im Ruhezustand, mit Voll- und Teilbeladung sowie mit ungleichmäßiger Belastung zu berechnen. Ungleichmäßige Belastung bedeutet, dass nur Sitze besetzt sind, die auf 1/4 bzw. auf 3/4 des Umfangs liegen. Für eine solche einseitige Belastung ist der Allgemeine Spannungsnachweis/Stand sicherheitsnachweis zu erbringen.

Das durch die einseitige Belastung bei einer Besetzung der Sitze auf mindestens 1/6 des Umfangs entstehende Kippmoment darf nicht größer sein als das gleichzeitig vorhandene Standmoment ohne Berücksichtigung von Zugankern. Für diese einseitige Belastung ist die Ermüdungsfestigkeit nachzuweisen. Das Gleiche ist für eine einseitige Belastung auf 5/6 des Umfangs durchzuführen (siehe auch 5.6.3.5.1). Die entsprechenden Sektorabschnitte sind für den ungünstigsten Fall auszuwählen, wobei die sich auf dem Sektorrand befindenden Sitze in die Berechnung mit einzubeziehen sind.

Das gleiche Verfahren ist auf Gondeln mit mehreren Sitzen anstelle von Einzelsitzen anzuwenden. Sind mindestens 18 Sitze gleichmäßig über den Umfang verteilt, kann eine größere einseitige Belastung unter bestimmten Umständen bezüglich der Kippsicherheit maßgebend werden. Bei diesen Nachweisen sind die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß Tabelle 2 in dem Quotienten aus M_{St} (Standmoment) und M_{Ky} (Kippmoment) zu berücksichtigen.

Kann ein Rundfahrgeschäft auch in die Gegenrichtung drehen, so sind für die Berechnung des Fahrgeschäfts beide Drehrichtungen in Betracht zu ziehen.

5.4.2.2 Annahmen für die Konstruktion und Berechnung von Fahrzeugen

Die Sitze und Gondeln sind unter Berücksichtigung der sich aus Eigenlast, Verkehrslast und aus der Bewegung ergebenden Kräfte zu bemessen. Gelenkig gelagerte Sitze sind so anzuordnen, dass keine Zwängungen auftreten können. Auch die Befestigung der Sitze auf den Auslegern ist für die o. g. Kräfte auszulegen.

Die Seiten- und Rückenlehnen, Sicherheitsgurte, Ketten, Seile und zugehörigen Schließvorrichtungen müssen in der Lage sein, die oben genannten Kräfte aus der Personenlast aufzunehmen. Die Bauart der Sitze und Gondeln ist so auszulegen und zu berechnen, dass die auftretenden Kräfte (beispielsweise Anfah- und Bremskräfte, Stöße, Kräfte infolge ungleicher Beladung und Kräfte, die von Fahrgästen auf Rückhaltevorrichtungen, Geländer usw. ausgeübt werden) sicher in die Konstruktion eingeleitet werden und Werkstoffermüdung vermieden wird.

5.4.2.3 Karusselle mit mehreren Bewegungen

5.4.2.3.1 Allgemeines

Bei Karussellen, bei denen die bewegten Teile um mehrere Achsen in verschiedenen Ebenen drehen, sind alle auftretenden Kräfte zu ermitteln. Dabei sind als Mindestanforderung die Winkelgeschwindigkeiten, die Fliehkräfte, die Corioliskräfte aufgrund des Richtungswechsels einer oder mehrerer Drehachsen und die Kreisel-, Anfah- bzw. Bremskräfte sowie eventuell auftretende Stoßkräfte zu berücksichtigen. Bei Karussellen ohne Winkelbeschleunigung, bei denen der Rotor annäherungsweise ein rotationssymmetrischer Körper (Kreisel) ist, der um seine Hauptachse rotiert, beträgt das Kreiselmoment:

$$M_{Kr} = \sin \alpha \left[I_3 \omega \omega_p + (I_3 - I_2) \omega_p^2 \cos \alpha \right] \quad (7)$$

Dabei ist

- α der Präzessionsachsenwinkel;
- I_3 das Massenträgheitsmoment des Rotors (Kreisel) um seine Drehachse;
- I_2 das Massenträgheitsmoment des Rotors (Kreisel) um eine rechtwinklige Achse.

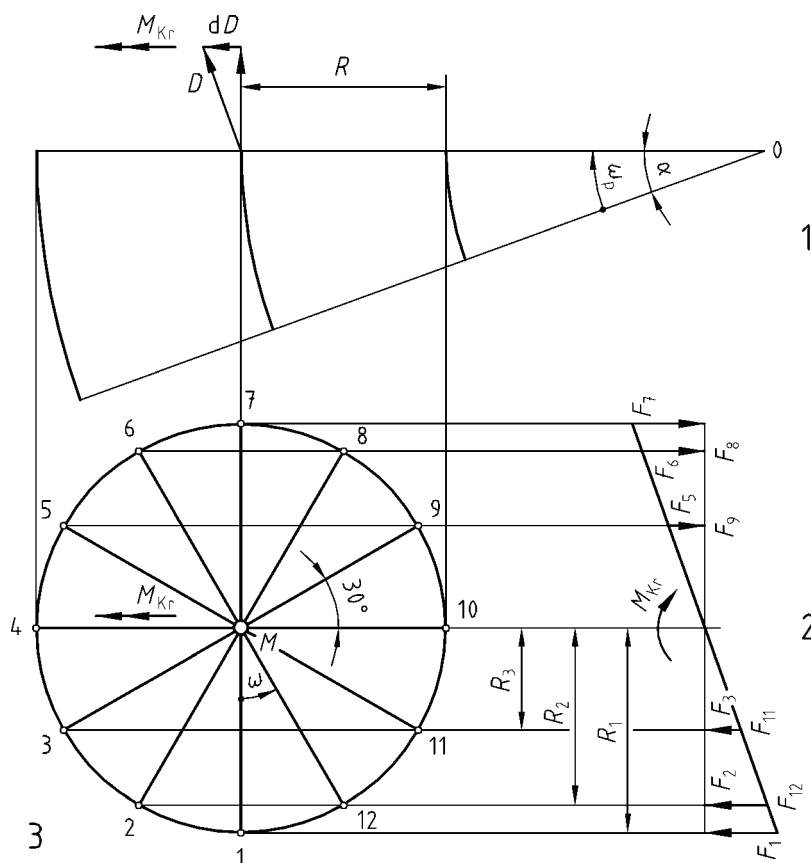
Es ist zu beachten, dass ω und ω_p sowohl positiv als auch negativ sein können (Rechte-Hand-Regel).

Bei einem flach geformten Rotor und $\alpha = 90^\circ$ ergibt sich folgende vereinfachte Gleichung:

$$M_{Kr} = I_3 \times \omega \times \omega_p \quad (8)$$

Die Last je Ausleger aus dem **Kreiselmoment** beträgt:

$$F_i = M_{Kr} \frac{R_i}{\sum_i R_i^2} \quad (9)$$



Legende

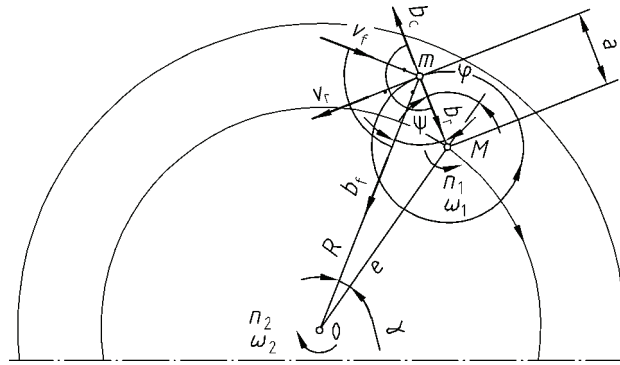
- 1 Frontalansicht
- 2 Seitenansicht
- 3 Grundriss
- D der Drall;
- dD die Dralländerung;
- M_{Kr} das Kreiselmoment;

- R_i der Radius;
- ω die Winkelgeschwindigkeit um die Kreiselachse;
- ω_p die Winkelgeschwindigkeit der Präzession.

Bild 2 — Beispiel für die Ermittlung des Kreiselmoments und dessen Einfluss auf einen mit einer Winkelgeschwindigkeit ω rotierenden Rotor mit 12 Auslegern, der um den Winkel α geschwenkt wird

5.4.2.3.2 Karusselle mit rein ebener Bewegung

Bei Rundfahrtgeschäften, die eine ebene Bewegung bei konstanter Drehgeschwindigkeit um nur zwei parallele Achsen ausführen, können die absoluten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (unter Berücksichtigung der Relativbewegungen und Coriolisbeschleunigungen) in Übereinstimmung mit Bild 3 wie folgt berechnet werden:

Bild 3 — Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Massenpunktes m

Dabei ist

M umlaufender Drehmittelpunkt;
 O feststehender Drehmittelpunkt.
 Ohne Index für Absolutwert.

Bedeutung der Indizes:

f geführt;
 r relativ;
 c Coriolisbeschleunigung.

Geschwindigkeiten:

$$\vec{v} = \vec{v}_f + \vec{v}_r \quad (10)$$

$$\vec{v} = \vec{R} \omega_2 \quad (11)$$

$$\vec{v} = \vec{a} \omega_1 \quad (12)$$

$$\vec{R} = \vec{e} + \vec{a} \quad (13)$$

$$R = \sqrt{[e + a - (a - a \cos \varphi)]^2 + [a \sin \varphi]^2} \quad (14)$$

$$= \sqrt{e^2 + 2 e a \cos \varphi + a^2}$$

$$v_{r \parallel \varphi_0} = -v_r \sin \varphi \quad (15)$$

$$v_{r \perp \varphi_0} = +v_r \cos \varphi \quad (16)$$

$$v_{f \parallel \varphi_0} = -v_f \sin \gamma \quad (17)$$

$$v_{f \perp \varphi_0} = -v_f \cos \varphi \quad (18)$$

$$\sin \gamma = \frac{a \sin \varphi}{\sqrt{e^2 + 2 e a \cos \varphi + a^2}} \quad (19)$$

$$\cos \gamma = \frac{e + a \cos \varphi}{\sqrt{e^2 + 2 e a \cos \varphi + a^2}} \quad (20)$$

$$v = \sqrt{\left(\sum v_{\parallel f_0}\right)^2 + \left(\sum v_{\perp f_0}\right)^2} \quad (21)$$

Richtung von v :

$$\cot \delta = \frac{v_{\parallel f_0}}{v_{\perp f_0}} \quad (22)$$

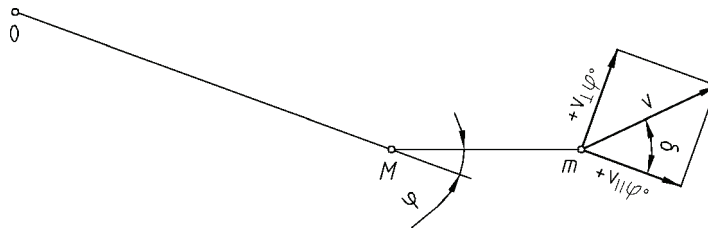


Bild 4 — Zerlegung der Geschwindigkeit v

Beschleunigungen:

$$\vec{b} = \vec{b}_f + \vec{b}_r + \vec{b}_c \quad (23)$$

$$b_f = R \omega_2^2 \quad (24)$$

$$b_r = a \omega_1^2 \quad (25)$$

$$b_c = 2 \omega_2 v_r \quad (26)$$

$$b_n = b_r - b_c + b_f \cos \psi \quad (\text{normal}) \quad (27)$$

$$b_t = b_f \sin \psi \quad (\text{tangential}) \quad (28)$$

$$R \sin \psi = e \sin \varphi \quad (29)$$

$$\sin \psi = \frac{e}{R} \sin \varphi \quad (30)$$

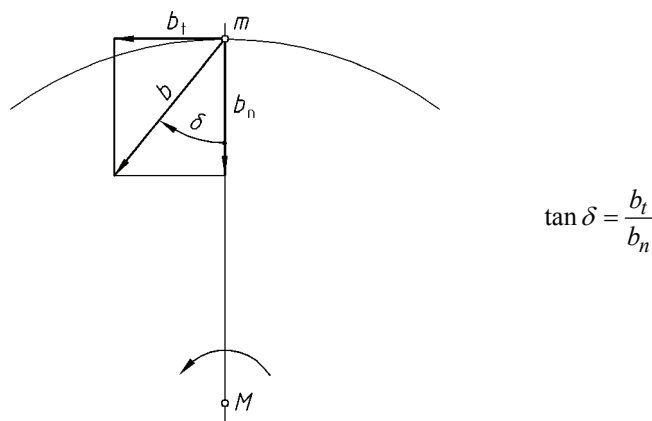
$$R \cos \psi = e \cos \varphi + a \quad (31)$$

$$\cos \psi = \frac{e \cos \varphi + a}{R} \quad (32)$$

$$b = \sqrt{b_n^2 + b_t^2} \quad (33)$$

Die obigen Ableitungen gelten nur, wenn ω_1 entgegengesetzt zu ω_2 ist.

Hat ω_1 die gleiche Drehrichtung wie ω_2 in Bild 3, kehrt sich die Richtung von b_c um.

Bild 5 — Richtung der Beschleunigung b

5.4.2.3.3 Karusselle mit Auslegern auf einer Schienenbahn

5.4.2.3.3.1 Karusselle mit zentraler Auslegerführung und Innen- oder Außenantrieb

Bei dieser Art von Karussellen ist sorgfältig auf mögliche Zwängungen sowie Biege- und Torsionsmomente in den Auslegern zu achten, die sich aufgrund der Gondel- oder Sitzbefestigung ergeben. Die Schienen bzw. die Laufbahn sind so zu bemessen, dass die Durchbiegung unter der Radlast maximal 1/500 der Spannweite zwischen den Schienenauflagern beträgt.

5.4.2.3.3.2 Karusselle ohne zentrale Führung

Die Kippsicherheit der Fahrzeuge ist durch geeignete Querneigung, mittels Gegenrädern o. Ä. bzw. gegebenenfalls durch beide Vorkehrungen sicherzustellen. Ohne Berücksichtigung der Verankerung muss die Kippsicherheit unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten von mindestens $\gamma = 1,0$ gewährleistet sein. Zum Erreichen einer Kippsicherheit mit einem Teilsicherheitsbeiwert nach 5.5.1 darf die Verankerung in der Berechnung berücksichtigt werden.

5.4.2.3.3.3 Karusselle mit wellenartiger Laufbahn

Bei diesen Anlagen sind die Massenkräfte aufgrund der räumlichen Bewegung der Gondeln zu berücksichtigen.

5.4.2.3.3.4 Karusselle mit mehreren Drehwerken

Bei diesen Anlagen sind die Auswirkungen der Corioliskräfte auf die Konstruktion zu untersuchen.

Bei nicht zwangsgesteuerten Drehbewegungen (freie Drehbarkeit oder fahrgastbedingte Drehung) sind die Auswirkungen der Drehungen der einzelnen Drehwerke zu untersuchen. Bei Auslegerflugkarussellen (z. B. Round-up, Twister, Hully-Gully), deren Gondeln gehoben werden können, sind die beim Heben und Senken, Anfahren und Bremsen auftretenden Kräfte unter Berücksichtigung ungünstig wirkender Stoß- und Fliehkräfte zu berücksichtigen.

Dabei sind die Auswirkungen der genannten Kräfte auf den einzelnen Ausleger, das gesamte Karussell und die Kippsicherheit des Karussells jeweils für die ungünstigste Position für die statischen Lastkombinationen zu untersuchen. Die in 5.4.2.1 enthaltenen Annahmen bezüglich der einseitigen Belastung sind zu berücksichtigen. Ermüdungsberechnungen gemäß 5.6.3 sind durchzuführen. Die Hubvorrichtungen müssen zwangungsfrei gelagert und knicksicher bemessen sein. Gleiches gilt sinngemäß für Hubkarusselle. Unvermeidbare Beschleunigungen der Hubzylinder zu Beginn und Ende eines Hubvorgangs müssen, soweit sie nicht durch Dämpfer gemildert werden, bei der Bemessung der Karussellbauteile durch entsprechende Lasterhöhung berücksichtigt werden.

Bei Versagen der Druckleitungen der Hubzylinder darf die Absenkgeschwindigkeit den doppelten Wert der normalen betriebsgemäßen Absenkgeschwindigkeit bzw. 1,0 m/s nicht überschreiten.

5.4.3 Achterbahnen mit schienenengebundenen Fahrzeugen

5.4.3.1 Schiene

Die Längsneigung der Schiene ist so zu begrenzen, dass die sich rechtwinklig zu ihr ergebende Kraft auch im ungünstigsten Fall nicht weniger als 0,2 g beträgt. Dieser Wert gilt bei Zügen auch für das Fahrzeug mit der höchsten Geschwindigkeit. Wird dieser Wert unterschritten, so sind die Fahrgäste nach 6.2.3.3 gegen Abheben zu sichern.

Folgende Gleichung kann zur Bestimmung der theoretischen Querneigung α der Schiene verwendet werden, welche die Querkraft auf das Fahrzeug bei einer bestimmten Geschwindigkeit null werden lässt:

$$\tan \alpha = \frac{v^2 \cos^2 \gamma}{R_h \left(g \cos \gamma + \frac{v^2}{R_v} \right)} \quad (34)$$

Der Winkel α ist zwischen R_h und zur Schienenebene zu messen.

In Gleichung (34) ist

v die Fahrzeuggeschwindigkeit;

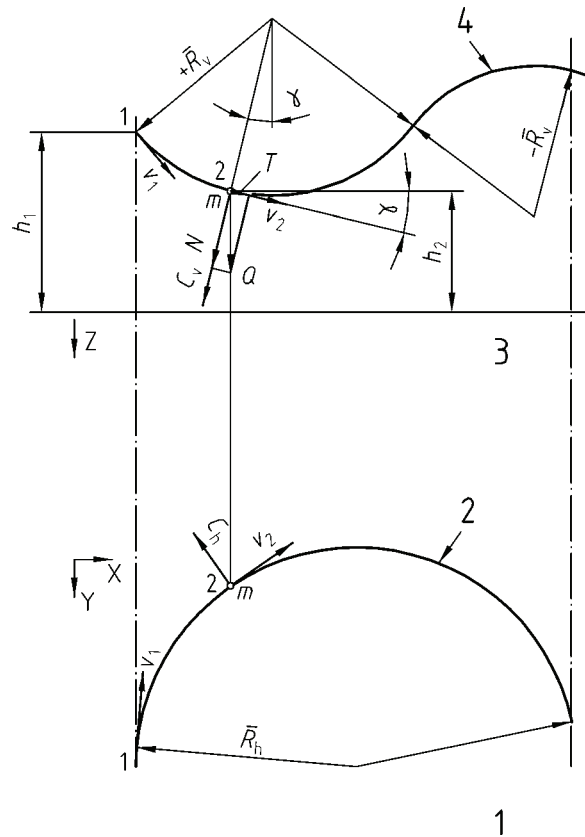
γ die Schienenlängsneigung;

R_h der horizontale Radius;

R_v der vertikale Radius; (+ entspricht Wanne; – entspricht Kuppe).

„+“ gilt, wenn C_v so gerichtet ist, dass das Fahrzeug gegen die Schiene gedrückt wird, und „–“, wenn C_v so gerichtet ist, dass das Fahrzeug von der Schiene abhebt.

Die maximale Querneigung der Schiene ist an den Stellen, an denen die Fahrzeuge betriebsmäßig zum Stillstand kommen können (z. B. an Sicherheitsbremsen) auf 25° zu begrenzen. Der Schienenverlauf ist so zu wählen, dass der unmittelbare theoretische Beschleunigungssprung einen Wert von 2 g nicht überschreitet. Dieser Wert bezieht sich auf den Massenschwerpunkt und schließt die Notwendigkeit weiterer Berechnungen der Beschleunigung auf den Fahrgast nicht aus. Mit Gleichung (47) können Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Kräfte für den Massenschwerpunkt berechnet werden. Bei aneinander gekoppelten Fahrzeugen darf der gesamte Massenschwerpunkt angenommen werden. Die Anforderungen in 6.3 sind zu beachten.



Legende

- 1 Grundriss
- 2 Schienenachse
- 3 Aufriss
- 4 Schienenachse

Bild 6 — Schienenverlauf in Grundriss und Aufriss

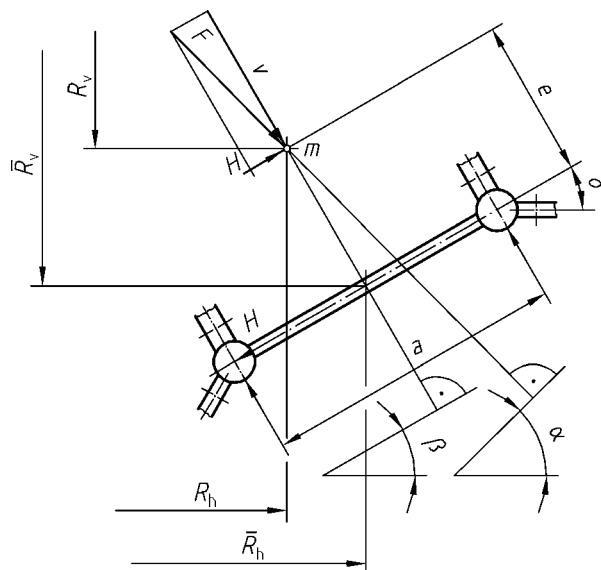


Bild 7 — Schienenquerschnitt mit Lauf- und Führungsrädern

In den Gleichungen 34 bis 49 werden folgende Formelzeichen verwendet:

a	Spurweite;
e	Schwerpunktsabstand;
g	Erdbeschleunigung;
α	theoretische Schienenquerneigung;
β	tatsächliche Schienenquerneigung;
γ	Schienenlängsneigung;
δ	Anstellwinkel der Führungsräder;
$\vec{R}_v$	vertikaler Radius der Schienenachse;
$\vec{R}_h$	horizontaler Radius der Schienenachse;
$\pm R_v$	vertikaler Radius des Massenschwerpunkts (+ entspricht Wanne, – entspricht Kuppe); „+“ ist anzuwenden, wenn C_v so gerichtet ist, dass das Fahrzeug gegen die Schiene gedrückt wird, und „–“, wenn C_v so gerichtet ist, dass das Fahrzeug von der Schiene abhebt;
R_h	horizontaler Radius des Massenschwerpunkts;
C_v	vertikale Fliehkraft;
C_h	horizontale Fliehkraft;
F_{res}	resultierende Last;
V	Last aus R vertikal zur Schiene;
H	Last aus R horizontal zur Schiene;
μ_1	Reibbeiwert zwischen Laufrädern und Schiene;
$\overline{\mu}_1$	Reibbeiwert zwischen Führungsrädern und Schiene;
f	Hebelarm der Reibung;
μ_2	Reibbeiwert der Lager;
A	Windangriffsfläche des Fahrzeugs;
c_f	aerodynamischer Beiwert;
h	(= $h_1 - h_2$) Höhendifferenz;
Q	Fahrzeuglast einschließlich Fahrgastlasten;
m	Masse;
D_1	Laufraddurchmesser;
D_2	Führungsraddurchmesser;

- d_1 Durchmesser der Laufradachse;
 d_2 Durchmesser der Führungsradachse;
 v_1 Geschwindigkeit im Punkt 1;
 v_2 Geschwindigkeit im Punkt 2;
 l tatsächliche Schienenlänge von Punkt 1 bis Punkt 2;
 h_1 Höhe an Punkt 1;
 h_2 Höhe an Punkt 2;
 ρ Dichte der Luft.

Gleichungen:

$$R_h = \bar{R}_h - e \sin \beta \quad (35)$$

$$R_v = \bar{R}_h - e \cos \beta \quad (36)$$

In Bereichen, in denen die Schiene starke Verwindungen aufweist, können die Gleichungen für R_h und R_v ungenau und eine genauere Berechnung erforderlich werden.

$$m = \frac{Q}{g} \quad (37)$$

$$C_v = m \frac{v_m^2}{R_v} \quad (38)$$

$$C_h = m \frac{v_m^2 \cos^2 \gamma}{R_h} \quad (39)$$

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (40)$$

$$F = \sqrt{(Q \cos \gamma + C_v)^2 + C_h^2} \quad (41)$$

$$V = F \cos (\alpha - \beta) \quad (42)$$

$$H = F \sin (\alpha - \beta) \quad (43)$$

$$\tan \alpha = \frac{v_m^2 \cos^2 \gamma}{R_h \left(g \cos \gamma + \frac{v_m^2}{R_v} \right)} \quad (44)$$

Reibbeiwert

$$\mu_1 = \frac{2f}{D_1} \quad (45)$$

$$\bar{\mu}_1 = \frac{2f}{D_2} \quad (46)$$

Alle Kräfte beziehen sich auf die Intervallmitte, die Intervalllänge darf 5 m nicht überschreiten.

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 g h - c_f A \rho v_m^2 \frac{l}{m} - \left(\mu_1 + \mu_2 \frac{d_1}{D_1} \right) \frac{2l}{m} (V + |H| \tan \delta) - \frac{|H|}{\cos \delta} \left(\mu_1 + \mu_2 \frac{d_2}{D_2} \right) \frac{2l}{m} \quad (47)$$

Werden alle Werte eingesetzt, ergibt sich:

$$\begin{aligned} v_2^2 = & v_1^2 + 2g \times h - c_f \times A \times \rho \times v_m^2 \times \frac{1}{m} - \sqrt{\left(Q \times \cos \gamma + m \frac{v_m^2}{R_v} \right)^2 + \left(m \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h} \right)^2} \\ & \times \cos \left[\arctan \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h \left(g \times \cos \gamma + \frac{v_m^2}{R_v} \right)} - \beta \right] \times \left(\mu_1 + \mu_2 \frac{d_1}{D_1} \right) \frac{2 \times l}{m} \\ & - \frac{1}{\cos \delta} \sqrt{\left(Q \times \cos \gamma + m \frac{v_m^2}{R_v} \right)^2 + \left(m \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h} \right)^2} \times \sin \left[\arctan \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h \left(g \times \cos \gamma + \frac{v_m^2}{R_v} \right)} - \beta \right] \\ & \times \left(\mu_1 + \mu_2 \frac{d_2}{D_2} \right) \frac{2 \times l}{m} - \tan \delta \sqrt{\left(Q \times \cos \gamma + m \frac{v_m^2}{R_v} \right)^2 + \left(m \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h} \right)^2} \\ & \times \sin \left[\arctan \frac{v_m^2 \times \cos^2 \gamma}{R_h \left(g \times \cos \gamma + \frac{v_m^2}{R_v} \right)} - \beta \right] \times \left(\mu_1 + \mu_2 \frac{d_1}{D_1} \right) \frac{2 \times l}{m} \end{aligned} \quad (48)$$

Die Gleichung ist iterativ zu berechnen, wobei

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (49)$$

Bei der ersten Iteration kann v_m gleich v_1 gesetzt werden.

Da die Reibbeiwerte abhängig von der Einlaufzeit, der Konstruktion, der Oberflächenbeschaffenheit der Schiene und der Witterung stark schwanken können, muss eine Messung der tatsächlichen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen durchgeführt werden. Diese Messung darf keine wesentliche Abweichung von den berechneten Werten ergeben. Zur Bestimmung der einzelnen Radkräfte sind zusätzliche Berechnungen erforderlich. Bei Hochgeschwindigkeitsbahnen mit engen Loopings oder Kurven ist die Festkörperdynamik zu berücksichtigen.

5.4.3.2 Traggerüst

Geht man bei der Berechnung der Fahrschiene von einer Durchlaufriechung über den Stützen aus, dann ist eine Stützensenkung durch Abminderung des Stützmomentes um 50 % und eine Stützerhöhung durch Erhöhung des Stützmomentes um 25 % anzunehmen. Aufgrund der gering zu erwartenden Lastspiele muss die Erhöhung bzw. Abminderung dieser Momente beim Ermüdungsnachweis nicht berücksichtigt werden.

Bei freiliegenden, unverkleideten Stützen, die über die Schienen im Gesamtbauwerk verankert sind, darf beim Stand- und Gleitsicherheitsnachweis auf den Ansatz der Windbelastung verzichtet werden.

Die Kippsicherheit der Anlage bei Belastung durch Wind muss im Allgemeinen nicht nachgewiesen werden, es sei denn, es können aufgrund einer besonders ungünstigen Form, außergewöhnlich großer Windangriffsflächen der Tragwerkskomponenten (Dekorationen, Lichtleisten) oder aufgrund von Teil- oder Ganzverkleidungen des Tragwerks oder der Fahrbahn ungewöhnlich große Horizontalkräfte auftreten.

5.4.3.3 Fahrzeuge

Alle Kräfte, die im Chassis und den Aufbauten auftreten können, sind in der Berechnung vom Entstehungsort bis zu den Auflagern zu verfolgen. So können beispielsweise bei Fahrzeugen mit einer Pendel- und einer Starrachse Momente aus Kräften quer zum Fahrzeug oberhalb der Pendelachse nur von der Starrachse aufgenommen werden.

Kräfte quer zum Fahrzeug können beispielsweise nur über Räder, die seitlich an der Schiene anlaufen, abgeleitet werden.

Sind die Laufräder nicht so gestaltet, dass sie auch Seitenführungskräfte aufnehmen können, dann sind dafür eigene Führungsräder vorzusehen.

Die Fahrzeuge sind mit Entgleisungs- und Abhebesicherungen auszustatten. Abhebesicherungen (Gegenräder oder Kufen) sind in jedem Fall für die tatsächlich auf sie einwirkenden Kräfte zu berechnen. Sie sind stets, selbst wenn das Fahrzeug planmäßig nicht abhebt, für mindestens 50 % des Fahrzeuggewichts bei voll besetztem Fahrzeug zu bemessen.

5.4.3.4 Bremsen

Jede Halte- oder Reduzierbremse (am Ende der Abfahrt, nach jeder Fahrt) ist so auszulegen, dass die Bremsverzögerung einen Höchstwert von $5,0 \text{ m/s}^2$ nicht überschreitet ²⁾.

Zur Sicherstellung eines Mindestabstands zwischen aufeinander folgenden Wägen oder Zügen sind Sicherheitsbremsen so anzuordnen, dass sich zwischen zwei Fahrzeugen oder Zügen stets eine Bremse befindet.

Sicherheitsbremsen sind stets so auszulegen, dass die Bremsverzögerung einen Höchstwert von $7,0 \text{ m/s}^2$ nicht überschreitet ²⁾.

Für Sicherheitsbremsen, die nur in Notfällen zum Einsatz kommen, muss kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erbracht werden. Bei der Berechnung der maximalen Bremsverzögerung ist bezüglich der gewählten Bremsflächenwerkstoffe vom höchsten erreichbaren Reibbeiwert auszugehen.

Bei der Bemessung des tatsächlichen Bremswegs ist davon auszugehen, dass das Fahrzeug auch bei aufgrund von Witterungseinflüssen und Verschleiß minimalem Reibbeiwert noch mit 1,2facher Sicherheit (bezogen auf den Reibbeiwert) zum Halten kommt. Muss die Betätigungskraft zum Ausgleich unterschiedlicher Reibbeiwerte vergrößert werden (abgesehen von geringen Änderungen infolge Verschleiß), so ist dies zusätzlich zu berücksichtigen. Die Grenzwerte sind an der fertigen Anlage zu überprüfen, wobei die Mindestreibung möglichst auch für nasse Schienen, zumindest aber für nasse Bremsflächen, z. B. durch Wasserschmierung, herzustellen ist.

Reduzierbremsen sind mit den Ermüdungslastfällen zu berechnen.

5.4.3.5 Rücklaufsicherungen

Anlagen, bei denen die Fahrzeuge oder Züge in der Auffahrtstrecke mittels Ketten, Seilen, Reibrädern oder durch eigenen Antrieb befördert werden, sind entweder mit Rücklaufsicherungen oder mit selbsttätig wirkenden Rücklaufbremsen zu versehen.

2) Größere Bremsverzögerungen sind zulässig, wenn besondere Vorrichtungen zum Schutz des Fahrgastes (Sicherheitsbügel etc.) vorgesehen werden.

Sollte es planmäßig vorgesehen sein, dass sich im Streckenabschnitt zwischen Aufzugs- bzw. Auffahrtende und Bahnhof bzw. der vor dem Bahnhof gelegenen Bremse gleichzeitig mehrere Fahrzeuge oder Züge befinden, so sind auch in den Bergstrecken der Fahrbahn nach den Tälern Rücklaufsicherungen einzubauen.

Bei planmäßiger Rückwärtsfahrt eines Fahrzeugs bzw. Zugs auf der Fahrbahn oder durch den Bahnhof darf jedoch in den Auffahrtstrecken auf Rücklaufsicherungen verzichtet werden.

Darüber hinaus gilt: Befinden sich mehrere Fahrzeuge oder Züge in der Bahn, kann auf Rücklaufsicherungen in den Bergstrecken verzichtet werden, wenn die einzelnen Streckenabschnitte durch ein ausfallsicheres Blocksystem mit automatisch gesteuerten Bremsen gesichert sind.

Die vertikale Steigungshöhe H bis zum Beginn der Rücklaufsicherung oder die sich bei Rückwärtsfahrt ergebende Höchstgeschwindigkeit darf folgende Grenzwerte nicht überschreiten. Mindestens einer der beiden Grenzwerte ist einzuhalten:

$H = 7 \text{ m}$, $v = 42 \text{ km/h}$ bei in Draufsicht gerader Rückwärtsfahrt ohne Schienenquerneigung;

$H = 5 \text{ m}$, $v = 35 \text{ km/h}$ bei Rückwärtsfahrt in großen Kurven mit Schienenquerneigung bis 20° ;

$H = 3,5 \text{ m}$, $v = 30 \text{ km/h}$ bei Rückwärtsfahrt in engeren Kurven mit Schienenquerneigungen $> 20^\circ$.

Es sind zwei Werte gegeben, da H eine Funktion der Höhe des Zugschwerpunktes ist und nicht unbedingt mit der Steigungshöhe identisch ist. Auch die Lage der Rücklaufsicherung am Zug ist für die o. g. Grenzwerte von Bedeutung.

Befindet sich planmäßig nur ein Fahrzeuge oder ein Zug in der Bahn, kann auf Rücklaufsicherungen in den Bergstrecken nach den Tälern verzichtet werden.

Für Rücklaufsicherungen muss kein Nachweis der Ermüdungsfestigkeit erbracht werden. Wird das Fahrzeug durch die Rücklaufsicherung schlagartig angehalten, dann ist für die Bemessung ein Stoßfaktor anzunehmen, der ohne exakten Nachweis mindestens mit der halben maximalen vertikalen Rücklaufhöhe (h in Zentimeter (cm)) anzusetzen ist, geringstenfalls jedoch 2,0 betragen muss. Für die Bemessung ist eine Last von $\varphi \times Q$ anzunehmen.

$$\varphi \geq 0,5 \times h \quad (50)$$

$$\varphi \geq 2,0 \quad (51)$$

Beide Bedingungen müssen erfüllt sein.

Gibt es pro Fahrzeuge oder Zug jeweils nur eine nicht redundante Rücklaufsicherung, so gilt folgende Gleichung:

$$\varphi \geq 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_0 \sin \alpha}} \quad (52)$$

Dabei ist

δ_0 die gesamte Verschiebung (aus Deformation) des Massenschwerpunkts entlang der Neigung.

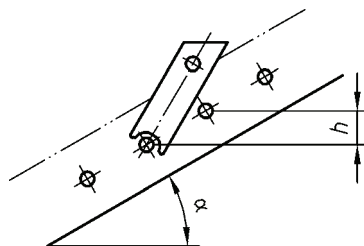


Bild 8 — Stoßfaktor/Rücklaufhöhe

5.4.4 Sonstige Bahnen mit schienengebundenen Fahrzeugen

5.4.4.1 Konventionelle Bahnen (z. B. Kindereisenbahnen, Kinder-Verkehrsgärten, Geisterbahnen und ähnliche Anlagen sowohl mit herkömmlichen Fahrzeugen als auch mit Hängefahrzeugen)

Wo zutreffend, gelten die in 5.4.3 aufgeführten Anforderungen bezüglich Bemessung und Betriebssicherheit.

Sind Fahrbahnträger und Stützen gleichzeitig Bestandteil der Überdachungskonstruktion, dann sind wegen der schwingenden Belastung Ermüdungslastfälle zu berücksichtigen.

5.4.4.2 Hängebahnen

Das dynamischen Verhalten schienengebundener Hängebahnen, die Hängefahrzeuge mit einem (oder mehreren) Pendel- oder Rotationsfreiheitsgrad(en) aufweisen, ist zu berechnen.

Bei Hängebahnen sind zusätzlich zum Lichtraumprofil von schienengebundenen Fahrzeugen (6.1.6.1) Freiräume in einer Größenordnung der berechneten Pendelbewegung zuzüglich eines Sicherheitszuschlages sowohl nach der Auslenk- als auch nach der Gegenseite vorzusehen.

Der Sicherheitszuschlag muss mindestens 20 % des rechnerischen Auslenkwinkels, mindestens jedoch 10° betragen. Bei der Berechnung des Auslenkwinkels ist das Schwingungsverhalten zu berücksichtigen. Die sich aus den Pendelbewegungen der Gondel ergebenden Beschleunigungen sind rechnerisch für das Fahrzeug, die Schiene und die Stützen zu berücksichtigen.

Wenn die Querschwingungen von Pendelgondeln gedämpft werden und wenn die Lichtraumfreiheit für die ungedämpfte Schwingung nicht vorhanden ist, so sind Pendelbegrenzungen vorzusehen. Diese Begrenzungen für die Pendelbewegung können, wenn das gewollt ist, in Form von entsprechend konstruierten und dokumentierten, redundanten Dämpfern bereitgestellt werden.

Am Beginn von Streckenabschnitten, in denen Pendelgondeln geführt werden (z. B. im Bereich des Fahrgastwechsels), sind Führungsvorrichtungen anzuordnen, welche in der Lage sind, ausgelenkte Gondeln bis mindestens zum doppelten Wert des berechneten Auslenkwinkels zu erfassen und unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit möglichst stoßfrei zu führen.

Auf eine Arretierung der Pendelgondeln beim Fahrgastwechsel kann nur dann verzichtet werden, wenn eine Gefährdung oder Behinderung von Fahrgästen auf andere Weise (z. B. durch entsprechende Dämpfer) ausgeschlossen ist.

5.4.5 Tribünen

Tribünen werden nach den allgemeinen Nachweisen von Grenzzuständen gemäß 5.1.4 untersucht. Besondere Bedeutung ist auf den Nachweis der Kippsicherheit zu legen, wenn die Tribünen beispielsweise überdacht oder verkleidet sind oder wenn zahlreiche Flaggen oder Fahnen an den Tribünen befestigt sind.

5.5 Standsicherheitsnachweis

5.5.1 Kipp-, Gleit- und Abhebesicherheit

5.5.1.1 Für Fliegende Bauten und deren Bauteile ist die Kipp-, Gleit- und Abhebesicherheit nachzuweisen. Günstig wirkende Verkehrs- und Eigenlasten von nicht permanenten Bau- und Zubehörteilen dürfen beim Nachweis der Kipp-, Gleit- und Abhebesicherheit nicht berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu diesem Abschnitt gilt für Fundamente ENV 1997-1. Ein frostfreies Fundament für Fliegende Bauten ist nur dann erforderlich, wenn frostbedingte Hebungen und Senkungen zu Schäden oder Ausfall führen können.

Bei günstig wirkenden ständigen Einwirkungen ist der kleinste Wert anzusetzen.

Ist durch die Eigenlast einer Anlage alleine keine ausreichende Sicherheit zu erreichen, dann sind weitere, zusätzliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit zu ergreifen, beispielsweise Ballastierungen, Verankerungen und Abstreben.

Die Tatsache, dass das Gewicht von Fliegenden Bauten genau gemessen werden kann, ermöglicht eine genauere Bestimmung der Sicherheitsbeiwerte:

Tabelle 2 — Sicherheitsbeiwerte gegen Kippen, Gleiten und Abheben

Belastung ^a		γ
1	Günstig wirkende Anteile aus Eigenlast	1
2	Ungünstig wirkende Anteile aus Eigenlast	1,1
3	Ungünstig wirkende Windlasten	1,2
4	Ungünstig wirkende Lastanteile, ausgenommen Lasten nach 2 und 3	1,3
^a Werden Lasten in Komponenten zerlegt, so sind diese mit dem gleichen γ -Wert zu multiplizieren.		

5.5.1.2 Die Kippsicherheit errechnet sich aus:

$$\sum \gamma M_{St,k} \geq \sum \gamma M_{K,k} \quad (53)$$

Dabei ist

γ der Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 2;

$M_{St,k}$ die Standmomentanteile;

$M_{K,k}$ die Kippmomentanteile.

Dabei ist zu beachten, dass die angesetzten Lasten über Schubsteifigkeit der Konstruktion aktiviert werden können.

5.5.1.3 Die Gleitsicherheit errechnet sich aus:

$$\sum \gamma \mu N_k \geq \sum \gamma H_k \quad (54)$$

Dabei ist

γ der Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 2;

N_k die vertikalen Lastkomponenten;

H_k die horizontalen Lastkomponenten;

μ der Reibbeiwert nach Tabelle 3.

Für die Ermittlung der Reibkräfte können folgende Reibbeiwerte angesetzt werden, sofern nicht im Einzelfall durch Versuche ermittelte, höhere Werte vorliegen oder Nässe niedrigere Werte bedingt:

Tabelle 3 — Reibbeiwerte μ

	Holz	Stahl	Beton
Holz	0,4	0,4	0,6
Stahl	0,4	0,1	0,2
Beton	0,6	0,2	0,5
Ton ^a	0,25	0,2	0,25
Lehm ^a	0,4	0,2	0,4
Sand und Kies	0,65	0,2	0,65
^a Bei mindestens steifplastischer Konsistenz nach ENV 1997-1.			

Es ist zu beachten, dass schwingend beanspruchte Auflagerungen sich losrütteln können.

Wird durch Haftreibung alleine keine Gleitsicherheit erzielt, dann ist die Konstruktion mit dem Untergrund zu verankern. In diesem Fall ist beim Gleitsicherheitsnachweis das Mitwirken der Bodenanker zu berücksichtigen. Unter diesen Bedingungen dürfen die Reibbeiwerte nach Tabelle 3 in der Berechnung nur mit 70 % ihres Wertes angesetzt werden.

$$\sum \gamma \bar{\mu} N_k + Z_{h,d} \geq \sum \gamma \times H_k \quad (55)$$

$$\bar{\mu} = 0,7 \mu \quad (56)$$

Dabei ist

$Z_{h,d}$ die übertragbare Horizontalkomponente des Ankers (siehe 5.5.2);

μ der Reibbeiwert gemäß Tabelle 3.

5.5.1.4 Die Abhebesicherheit errechnet sich aus:

$$\sum \gamma N_{St,k} \geq \sum \gamma N_{a,k} \quad (57)$$

Dabei ist

γ der Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 2;

$N_{St,k}$ die vertikalen stabilisierenden Lastkomponenten;

$N_{a,k}$ die vertikalen abhebenden Lastkomponenten.

Mit Zugankern gilt folgende Beziehung:

$$\sum \gamma N_{St,k} + Z_{v,d} \geq \sum \gamma N_{a,k} \quad (58)$$

Dabei ist

$Z_{v,d}$ die übertragbare Vertikalkomponente des Ankers (siehe 5.5.2).

5.5.2 Bodenverankerungen

5.5.2.1 Allgemeines

Ungewisse Bodenverhältnisse und die Art der Belastung machen es außergewöhnlich schwer, die Tragfähigkeit der Verankerung exakt zu berechnen. Aus diesem Grund sollte die nachstehende Näherungsmethode angewandt werden. Dieser Abschnitt beschränkt sich daher auf:

- Gewichtsanker, d. h. auf der Bodenoberfläche aufgestellte oder im Untergrund eingebettete Ballastkörper;
- Stabanker, d. h. mit Ösen oder gestauchtem Kopf versehene Metallstäbe, die bei längerfristiger Aufstellung nicht erlaubt sind.

Bei Spezialankern, wie z. B. Flügel-, Klapp-, Schraub- und Profilankern, ist die Tragfähigkeit durch Belastungstests zu ermitteln.

Kommen Stabanker mit einer Länge von weniger als 80 cm bei unbedeutenden Anlagen (z. B. Hüpfburgen etc.), die keine Berechnung erfordern, zur Anwendung, dann müssen Belastungstests durchgeführt oder andere angemessene Nachweise erbracht werden.

5.5.2.2 Tragfähigkeit von Gewichtsankern

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit vollständig oder teilweise eingegrabener Gewichtsanker darf der Erdwiderstand nur dann berücksichtigt werden, wenn der Anker kleine Verschiebungen und Verdrehungen ohne Gefahr für die Konstruktion ausführen kann und die Untergrundverhältnisse hinreichend bekannt sind.

5.5.2.3 Tragfähigkeit von Stabankern

Die Tragfähigkeit von einfachen Stabankern mit rundem Querschnitt und einer Mindesteinschlagtiefe von 80 cm ist nach folgenden in Tabelle 4 aufgeführten Näherungsgleichungen zu ermitteln:

Tabelle 4 — Tragfähigkeit von Ankern

Zugwinkel	Tragfähigkeit
$\beta = 0^\circ$	$Z_d = f_{\text{load}} d l' = 6,5 d l'$ (59) für steife bindige und dicht gelagerte nicht bindige Böden
	$Z_d = f_{\text{load}} d l' = 8 d l'$ (60) für sehr steife bindige Böden
$\beta \geq 45^\circ$	$Z_d = f_{\text{load}} d l' = 10 d l'$ (61) für bis bindige Böden mit mindestens halbsteifer Konsistenz
	$Z_d = f_{\text{load}} d l' = 17 d l'$ (62) für dicht gelagerte nichtbindige Böden
$0 < \beta < 45^\circ$	Die Tragfähigkeit für gleiche Bodenarten ist durch Interpolation zu bestimmen (siehe Bild 10).

In den Gleichungen (59) bis (62) und in den Bildern 9 und 10 ist:

$Z_d = Z_u / \gamma_M$ die Tragfähigkeit des Ankers in N mit $\gamma_M = 1,5$;

$Z_{h,d}$ die horizontale Komponente der Ankertragfähigkeit in N;

- $Z_{v,d}$ die vertikale Komponente der Ankertragfähigkeit in N;
 d der Ankerdurchmesser in cm;
 l' die Einschlagtiefe in cm (mindestens 80 cm);
 α der Einschlagwinkel;
 β der Winkel der wirkenden Zugkraft zur Vertikalen.

Die Gleichungen (59) bis (62) gelten nur unter der Voraussetzung, dass der Anker beim Eintreiben „zieht“. Ist $\beta = 0^\circ$, muss die Mantelreibung auf der vollen Stablänge wirksam sein; ist $\beta \geq 45^\circ$, soll der Einschlagwinkel $\alpha = 90^\circ$ betragen. Bei diesem Einschlagwinkel erreicht der schräg belastete Anker erfahrungsgemäß seine maximale Tragfähigkeit. Um ein Verbiegen der Anker aufgrund schräger Zugkräfte zu verhindern, soll bei einfachen runden Stabankern der nachfolgende Durchmesser nicht unterschritten werden:

$$d_{\min} = 0,025 l' + 0,5 \quad (\text{mit } l' \text{ in cm}) \quad (63)$$

Bei Stabankern, die einer Biegespannung ausgesetzt sind, ist der Angriffspunkt der Kraft möglichst nahe an der Bodenoberfläche oder darunter festzulegen.

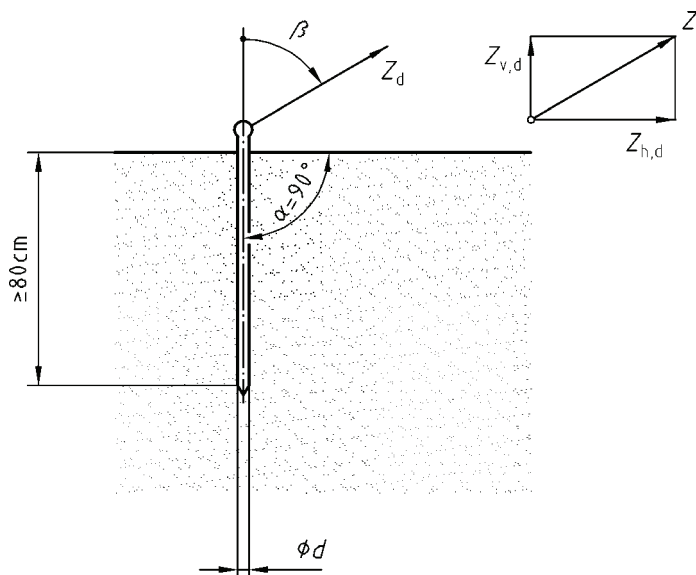
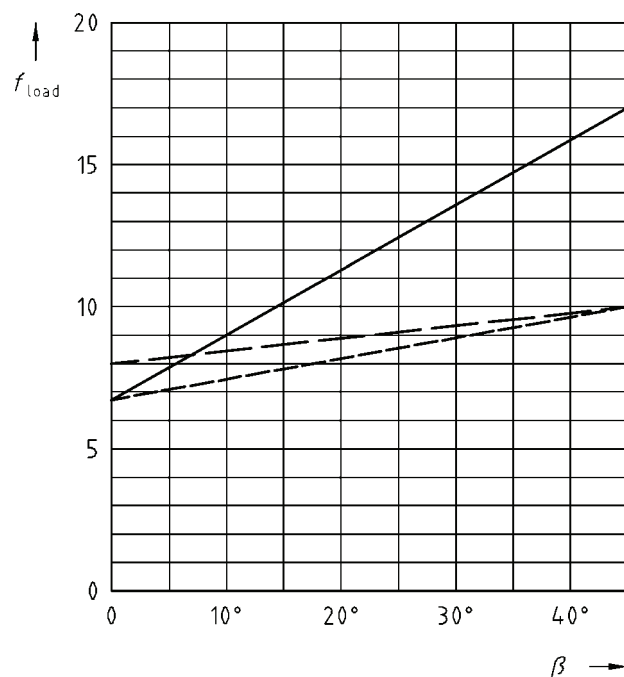


Bild 9 — Stabanker



Legende

- dicht gelagerte, nicht bindige Böden
- halbfeste, bindige Böden
- steifplastische bindige Böden
- β = Winkel der äußeren Zugkraft

Bild 10 — Faktoren zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Stabankern

5.5.2.4 Prüfen von Ankern

Die rechnerischen Tragfähigkeiten dürfen überschritten werden, wenn ein Sicherheitsnachweis durch Belastungstests erbracht wird oder entsprechende Versuchsdaten für den Aufstellort vorliegen. Ein an Ankern durchgeführter Belastungstest muss aus mindestens drei Versuchen bestehen. Die Tragfähigkeit (Z_d) ist aus dem mit dem Faktor $\gamma = 1,5$ abgerundeten, niedrigsten Versuchswert zu ermitteln und den nachfolgenden Berechnungen zugrunde zu legen. Bei der so ermittelten Tragfähigkeit dürfen keine Bewegungen des Ankers entstehen, die in der Konstruktion unzulässige Spannungen, Verformungen oder Instabilitäten hervorrufen können.

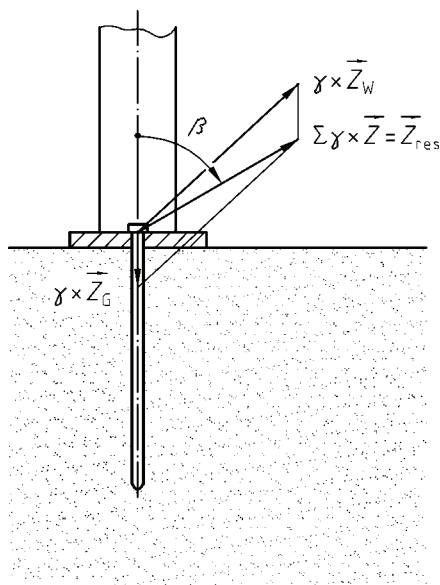
Bei vergleichbaren Untergrundverhältnissen können an anderer Stelle ausgeführte Belastungstests als Nachweis mit herangezogen werden.

Bei der Bestimmung der zulässigen Traglast sind die Sicherheitsbeiwerte nach Tabelle 2 zu berücksichtigen.

5.5.2.5 Berechnung von Ankerkräften

Die an der Verankerung wirkende resultierende Kraft Z_{res} ist durch vektorielle Addition unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle 2 zu ermitteln. Diese Last Z_{res} muss kleiner sein als die zulässige Last an der Verankerung nach 5.5.2.3:

$$Z_{res} = \sum \gamma Z \leq Z_d \quad (64)$$



Legende

- Z_G der günstig wirkende Anteil ständiger Einwirkungen;
- Z_W der ungünstig wirkende Anteil veränderlicher Einwirkungen;
- γ der Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 2.

Bild 11 — Einwirkungen auf Anker

5.5.3 Weitere Anforderungen

Treten bei belasteten Stabankern oder ähnlichen Vorrichtungen Verschiebungen von mehr als 2 cm auf, so ist die Ankertragfähigkeit nicht mehr voll gewährleistet. Durch zusätzliche Verankerungen oder Beischlagen von Holzkeilen kann die Sicherheit gegen ein Versagen aufgrund des Herausziehens des Ankers erhöht werden. Bei reiner Zugbelastung in Richtung der Achse des Stabankers besteht schon bei sehr kleinen Bewegungen die Gefahr eines vollständigen Ankerausfalls.

Der Ankerfuß (Ankerspitze) darf bei Stabankern keine Querschnittsverbreiterung aufweisen, damit die Mantelreibung im Bereich des Ankerschaftes nicht abgemindert wird.

Nach dem Eintreiben eines Stabankers ist der Boden an der Oberfläche — soweit dies praktisch möglich ist — an den Anker anzustampfen, um ein Eindringen von Oberflächenwasser zu vermeiden.

Bei Verwendung von Ankergruppen darf jeder Einzelanker nur dann mit seiner gesamten rechnerischen Tragfähigkeit berücksichtigt werden, wenn der Abstand zwischen zwei nebeneinander liegenden Ankern mindestens dem 5fachen Ankerdurchmesser entspricht. Dynamische Belastungen können ein Lösen der Verankerung hervorrufen; deshalb sind wiederholte Kontrollen der Anker unbedingt erforderlich. Bei Ankergruppen, die aus mehr als 6 Ankern bestehen, ist die Tragfähigkeit rechnerisch nachzuweisen. Ohne genaueren Nachweis erbracht, kann ein Ausbruchkeil mit einem Winkel von 45° ab dem äußeren Anker angenommen werden.

5.5.4 Unterpallungen

Für Unterpallungen ergeben sich wegen der fehlenden Einbettung in den Boden und der in der Praxis relativ kleinen Auflagerbreiten nur geringe zulässige Bodenpressungen. Unterpallungen können sich in den Boden eindrücken und größere Setzungen verursachen. Bei besonders nachgiebigen Böden sind Unterpallungen ständig zu überwachen; bei Nachgeben oder Lockern ist zu unterfüttern und die Auflagerflächen sind eventuell zu vergrößern.

Bei einem Untergrund mit geringer Tragfähigkeit sind Zusatzmaßnahmen zu treffen. Werden zur Vergrößerung der Auflagerbreiten mehrere Elemente lückenlos nebeneinander verlegt, so ist z. B. durch Kreuzstapelung ein Verbund herzustellen.

Bei befahrbarem Untergrund (z. B. durch LKWs) dürfen zur Berechnung der Abmessungen quadratischer und rechteckiger Unterpallungen folgende zulässige Bodenpressungen angesetzt werden:

$$1 \leq l/b \leq 3 \quad (65)$$

Dabei ist

l Länge und

b Breite der Unterpallung in der Bodenfuge:

$$b = 20 \text{ cm: } p = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$b = 30 \text{ cm: } p = 150 \text{ kN/m}^2$$

$$b \geq 40 \text{ cm: } p = 200 \text{ kN/m}^2$$

p Zulässige Bodenpressung. Zwischenwerte sollten interpoliert werden.

Bei befestigten (gepflasterten) Aufstellplätzen dürfen höhere zulässige Bodenpressungen berücksichtigt werden.

5.6 Festigkeitsnachweis

5.6.1 Allgemeines

Es ist zwischen vorwiegend ruhender Beanspruchung und nicht vorwiegend ruhender (schwingender) Beanspruchung zu unterscheiden. Die Schwingbeanspruchung tritt sowohl als Schwellbeanspruchung (Spannung, die zwischen zwei Grenzwerten schwankt und dabei ihr Vorzeichen nicht ändert, $\min \sigma / \max \sigma \geq 0$) als auch in Form von Wechselbeanspruchung (Spannung, die zwischen zwei Grenzwerten schwankt und dabei ihr Vorzeichen ändert) auf. In beiden Fällen ist die Spannungsschwingbreitebereich $\Delta \sigma = \max \sigma - \min \sigma$ für die Berechnungen maßgebend.

Der Ermüdungsnachweis bei geschweißten Bauteilen kann auch nach herkömmlichen, auf dem $\max \sigma / \min \sigma$ -Konzept beruhenden Normen erfolgen, vorausgesetzt, die Anforderungen an die Mindestlebensdauer nach 5.6.3.4 oder eine unbegrenzte Lebensdauer können belegt werden.

Schwingend beanspruchte Konstruktionen, die im Rahmen ihrer zu erwartenden Lebensdauer wahrscheinlich mehr als $n = 10^4$ Spannungsspiele erfahren werden, sind auf Ermüdungsfestigkeit zu dimensionieren. Dabei wird die Schwingbreite $\Delta \sigma_D$ als Ermüdungsgrenzwert bei konstanter Amplitude betrachtet. Ist keine Spannungsschwingbreite für die entsprechende Kategorie größer als $\Delta \sigma_D$, kann von unbegrenzter Lebensdauer ausgegangen werden.

Die jeweilige für die Gesamtberechnung eines Fahrgeschäfts gewählte Norm (z. B. EC 3, FEM etc.) ist genau zu spezifizieren und beizubehalten.

5.6.2 Vorwiegend ruhende Beanspruchung

Bezüglich der zulässigen Spannungen von Bauteilen gilt für die entsprechenden Werkstoffe ENV 1993 (alle Teile). Für Maschinenteile aus Stahl, auch solche, die gleichzeitig Bauteile sind, gilt für den allgemeinen Spannungsnachweis folgende Beziehung:

$$R_d \leq f_y / \gamma_{My} \quad \text{und} \quad R_d \leq f_u / \gamma_{Mu} \quad (66)$$

Dabei ist

- R_d der Bemessungswert der Werkstofffestigkeit;
- f_y die Streckgrenze nach EN-Werkstoffnormen;
- f_u die Zugfestigkeit nach EN-Werkstoffnormen;
- γ_{My} 1,1 Teilsicherheitsbeiwert (Streckgrenze);
- γ_{Mu} 1,35 Teilsicherheitsbeiwert (Zugfestigkeit).

Der kleinere der beiden obigen R_d -Werte ist maßgebend. Bezüglich Schub infolge von Querkraft und Torsion ist der Wert R_d mit $\alpha = 0,58$ zu multiplizieren.

5.6.3 Schwingende Beanspruchung

5.6.3.1 Ermüdungsnachweis von Bauteilen

Zusätzlich zu dem Nachweis, dass jedes Bauteil die Anforderungen bezüglich der Grenzzustände für vorwiegend ruhende Beanspruchungen erfüllt, ist ein Ermüdungsnachweis bei wiederholt schwingender Beanspruchung zu führen. Bei Stahl sind die Grundsätze von ENV 1993-1-1:1992, Abschnitt 9 anzuwenden, wenn Werkstoff, Befestigungselemente und Schweißverbindungen die Anforderungen nach ENV 1993-1-1:1992, Abschnitt 3 erfüllen. Anhang A enthält einige Abweichungen zur ENV 1993-1-1, die für Fliegende Bauten besser zutreffen.

5.6.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermüdung

Für Ermüdungslasten ist der Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_{Ff} = 1,0 \text{ anzusetzen.} \quad (67)$$

Für den Werkstoff Stahl sind die folgenden Werte als Teilsicherheitsbeiwerte anzusetzen:

Tabelle 5 — Teilsicherheitsbeiwerte für Ermüdungsfestigkeit

Prüfung und Zugänglichkeit	Bruch führt nicht zum Einsturz	Bruch führt zum Einsturz
Bauteil ist bei den regelmäßigen Prüfungen zugänglich	$\gamma_{Mf} = 1,0$	$\gamma_{Mf} = 1,1$
Bauteil ist bei den regelmäßigen Prüfungen nicht zugänglich	$\gamma_{Mf} = 1,05$	$\gamma_{Mf} = 1,15$

5.6.3.3 Ermüdungslasten

Bei der Berechnung von $\Delta\sigma_i$ oder $\Delta\tau_i$ brauchen ortsunveränderliche Eigenlasten sowie zeitlich oder örtlich begrenzte veränderliche Einwirkungen wie z. B. Schneelasten, Temperaturbelastung, Montagelasten und Windlasten (ohne induzierte Schwingungen) nicht berücksichtigt zu werden.

Falls Windlasten Schwingungen induzieren, darf der Winddruck mit 50 % des Werts nach 5.3.3.4.1, Tabelle 1, Spalte 2 angenommen werden, wenn es nicht eine andere kritische Windgeschwindigkeit mit dem zugehörigen Winddruck gibt. Für eine genauere Beurteilung, ob ein Ermüdungsnachweis bei durch Wind erzeugten Schwingungen zu führen ist, siehe ENV 1991-2-4.

Bei der Berechnung von $\Delta\sigma_i$ oder $\Delta\tau_i$ sind mindestens folgende Einwirkungen zu berücksichtigen:

- ortsveränderliche Eigenlasten,
- sich bewegende Verkehrslasten,
- Antriebs- und Bremskräfte nach 5.3.3.2,
- Zuschläge für Stöße und Schwingungen direkt befahrener Bauteile,
- Lasten aus gewollten Zusammenstößen,
- Flieh- und Corioliskräfte.

Bei veränderlichen Eigenlasten sind bei der Beurteilung von $\Delta\sigma_i$ oder $\Delta\tau_i$ (z. B. für angehobene Ausleger) die maximalen und minimalen Spannungswerte einschließlich des Einflusses der Eigenlasten zu berechnen:

$$\Delta\sigma_i = \max. \sigma - \min. \sigma$$

$$\Delta\tau_i = \max. \tau - \min. \tau$$

5.6.3.4 Anzahl der Spannungsspiele

Ist eine genaue Ermittlung der Spannungsspiele für die unterschiedlichen Lastkollektive nicht möglich, dann ist mindestens von folgenden Werten auszugehen:

Bei der Berechnung der Ermüdung von Fahrgeschäften müssen mindestens 35 000 Betriebsstunden ohne Be- und Entladezeit angenommen werden. Hiervon ausgenommen sind in Serie produzierte, auswechselbare, sicherheitsrelevante und als Strukturbauteile verwendete Maschinenbauteile (z. B. Lager und Kugeldrehverbindungen), für welche Herstellernormen bestehen. Diese Teile sind für mindestens 5 000 Betriebsstunden zu bemessen. Eine Berechnung der Lebensdauer ist vorzulegen. Obwohl das Verhältnis von Be- und Entladezeit zur Gesamtbetriebszeit je nach Fahrgeschäft unterschiedlich sein kann, soll die generelle Be- und Entladezeit auf maximal 30 % der gesamten Betriebszeit begrenzt werden. Falls in der Entwurfsphase ungünstigere Werte ermittelt werden, sind diese zu berücksichtigen.

Unter Berücksichtigung der o. g. Mindestzahl an Betriebsstunden sind mindestens folgende Spannungsspiele (siehe Tabelle 6) anzunehmen, außer es gelten aufgrund der Konfiguration des Fahrgeschäfts höhere Werte.

Tabelle 6 — Mindestzahl an in der Berechnung anzusetzenden Spannungsspielen ($N_{\min}$)

Art des Fahrgeschäfts	Für alle zur Berechnung der Ermüdung vorgelegten Konstruktionsdetails	
	wenn die Anzahl der Rotationen entscheidend für die Anzahl der Spannungsspiele ist	wenn die Anzahl der Fahrtzyklen (Be- und Entladezeit plus eine Fahrt) entscheidend für die Anzahl der Spannungsspiele ist
Achterbahn oder dergleichen (Fahrtdauer von etwa $\Delta t = 30$ s) für Struktur und Schiene usw.	nicht zutreffend	$N_{\min} \geq x_1 \times 5 \times 10^6$ Spannungsspiele x_1 Multiplikator für die Zahl der Zugüberquerungen über einen bestimmten Punkt aufgrund der Lage des Bauteils in der Fahrbahn oder Stützkonstruktion (z. B. $x_1 = 1$ bei einer Überquerung/ $x_1 = n$ für n Zugüberquerungen)
Achterbahnfahrzeuge o. Ä. die Fzg. betreffend.	nicht zutreffend	$N_{\min} \geq x_2 \times 5 \times 10^6 / x_3$ Spannungsspiele x_2 Multiplikator für die Anzahl maximaler Schwingbreiten entlang der Fahrbahn während eines Fahrtzyklus (z. B. $x_2 = 1$, falls die maximale Schwingbreite bei einem Fahrzeug während eines gesamten Fahrtzyklus nur einmal auftritt) x_3 Multiplikator für die Zahl der Züge in einer Bahn (Fahrgeschäft)
Rundfahrgeschäfte $n \approx 8$ bis 20 Umdrehungen je Minute: für den Mast bzw. das Zentrum etc.	$N_{\min} \geq 5 \times 10^6$ keine Schwingbreiten größer als $\Delta\sigma_D$	
Rundfahrgeschäfte $n \approx 8$ bis 20 Umdrehungen je Minute: für die Arme oder Gondeln etc.		$N_{\min} \geq 2 \times 10^6$ äquivalente Schwingbreite $\Delta\sigma_{E,2}$ nicht über $\Delta\sigma_C$

5.6.3.5 Lastverteilungen

5.6.3.5.1 Karusselle

Für unsymmetrische Beladung kann zur Berechnung der Schwingbreiten für die Dauerfestigkeit eine einseitige Belastung auf 1/6 bzw. 5/6 des Umfangs gemäß 5.4.2.1 für 100 % der Betriebsdauer angenommen werden.

5.6.3.5.2 Schienengebundene Einrichtungen

Die Kräfte aufgrund der Einwirkungen von Rücklaufsicherungen und Sicherheitsbremsen müssen bei der Berechnung der Dauerfestigkeit nicht berücksichtigt werden.

Fahrzeuge und Züge sind für volle Zuladung (6/6) für die gesamte Lebensdauer zu berechnen.

5.6.3.6 Ermüdungsfestigkeit von Maschinenteilen

5.6.3.6.1 Ermittlung der zulässigen Spannungen

Für die in ENV 1993 (alle Teile) nicht aufgeführten Werkstoffe und für dort nicht behandelte Fälle (z. B. Maschinenteile) sind die zulässigen Spannungen bei Schwingbeanspruchung nach einer der dem Stand der Technik entsprechenden Berechnungsmethoden zu ermitteln, die in spezifischen Normen oder entsprechender Fachliteratur angegeben sind.

Dabei sind folgende Einflüsse zu berücksichtigen.

- Kerbwirkungszahl;
- Größeneinfluss;
- Oberflächeneinfluss;
- Querschnittsform;
- Korrosionsfaktor;
- ggf. Anisotropiekoeffizient.

5.6.3.6.2 Ermittlung der vorhandenen Spannungen

Für Maschinenteile sind die resultierenden Spannungen (Nennspannungen) nach den allgemeinen Regeln der Festigkeitslehre zu bestimmen.

5.6.3.6.3 Sicherheitsbeiwert γ

Die tatsächliche Sicherheit gegen Ermüdungsbruch beträgt bei einem Maschinenteil:

- bei reiner Zug-, Biege- oder Torsionsbeanspruchung:

$$\gamma = \sigma_{AG} / \sigma_a \quad \text{bzw.} \quad \tau_{AG} / \tau_a \quad (68)$$

- bei kombinierter Beanspruchung:

$$\gamma = \sigma_{AG} / \sigma_{av} \quad (69)$$

- gegen Überschreiten der Streck- oder Fließgrenze

$$\gamma = \sigma_{SG} / (\sigma_a + \sigma_m) \quad \text{bzw.} \quad \gamma = \sigma_{SG} / (\sigma_{av} + \sigma_{mv}) \quad (70)$$

Dabei ist

- σ_{AG} die Gestalt-Ausschlagfestigkeit des Bauteils;
- σ_{SG} die Streckgrenze (Fließgrenze) der Gestaltfestigkeit;
- σ_a die Spannungsamplitude;
- σ_m die Mittelspannung;
- σ_{av} die Spannungsamplitude bei kombinierter Beanspruchung;
- σ_{mv} die Mittelspannung bei kombinierter Beanspruchung.