

Einfaches Bemessungsverfahren für fußgängerinduzierte Deckenschwingungen

Oliver Hechler & Toni Demarco

ARCELOR Commercial Sections

Markus Feldmann & Christoph Heinemeyer & Boris Völling

Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau – RWTH Aachen

ZUSAMMENFASSUNG:

Bei der Bemessung schlanker, weitgespannter Decken sind meist Gebrauchstauglichkeitskriterien maßgebend. Dies betrifft in erster Linie Beschränkungen hinsichtlich der Verformungen und das Schwingungsverhalten.

Im vorliegenden Beitrag wird eine Bemessungshilfe vorgestellt, mit der die gewünschte Anforderung hinsichtlich des Schwingungskomforts festgelegt und auf einfache Weise die zu erwartende Schwingungsintensität bestimmt werden kann.

1. EINLEITUNG

Der Bedarf nach möglichst variabler Nutzungseinteilung von Geschäfts- und Verwaltungsgebäuden führte in der Vergangenheit zum Wunsch möglichst großer Spannweiten von Geschossdecken. Durch die Entwicklung von neuartigen Bauweisen, wie z.B. neue Verbunddeckensysteme sowie vorgespannte Flachdecken etc. wurde dieser Anforderung Rechnung getragen. Unterstützt wurde diese Entwicklung durch die Verwendung moderner hochfester Werkstoffe.

Bei diesen neuen schlanken Bauweisen sind i.Allg. Gebrauchstauglichkeitskriterien, wie Durchbiegungsbeschränkungen und das Schwingungsverhalten maßgebend für die Bemessung.

Während für Durchbiegungen in den einschlägigen Normen Grenzwerte definiert sind, die im Rahmen der Bemessung nicht überschritten werden dürfen, sind Grenzwerten für den Schwingungskomfort nicht eindeutig geregelt, so dass eine zielorientierte Bemessung in Hinblick auf Deckenschwingungen zur Zeit nicht möglich ist. Hinzu kommt, dass allgemein anerkannte Verfahren, mit denen die Einwirkung, die bei Schwingungen i.Allg. in Form von Beschleunigungen oder Schwinggeschwindigkeiten angegeben wird, zuverlässig prognostiziert werden kann, fehlen.

Der vorliegende Artikel beschreibt ein einfaches Verfahren zur Auslegung von Geschossdecken in Hinblick auf den Schwingungskomfort. Dabei werden sowohl die Anforderungen an das Schwingungsverhalten entsprechend der vorgesehenen Nutzung als auch das Nachweisverfahren zur Erfüllung des Komfortkriteriums behandelt.

Das vorgestellte Verfahren wurde im Rahmen eines Europäischen Forschungsprojektes (European Commission, 2006) entwickelt und validiert.

2. SCHWINGSKOMFORT VON DECKEN

Die Wahrnehmung von Schwingungen und die Beurteilung, ob es sich um störende oder nicht störende Schwingungen handelt, ist von einer Vielzahl von Einflussparametern abhängig. Obwohl die Beurteilung von Schwingungen immer individuell erfolgt, können doch einzelne Einflussgrößen spezifiziert werden:

- Momentane Tätigkeit der betroffenen Person
- Alter und Gesundheitszustand der betroffenen Person
- Körperhaltung (Sitzen, Stehen, Liegen) der betroffenen Person
- Bezug der betroffenen Person zum Schwingungserreger (werden Schwingungen erwartet oder treten sie unerwartet auf)
- Frequenz und Amplitude der Schwingungen
- Etc.

Klasse	Nutzung der Decke									
	Erschütterungsempfindliche	Gesundheits Einrichtung	Ausbildung (Schule)	Wohnen	Büro	Besprechung	Handel	Hotel	Industrie	Sport
A	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen
B	Kritisch	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen
C	Nicht Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen
D	Nicht Empfohlen	Kritisch	Kritisch	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen	Empfohlen
E	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Kritisch	Kritisch	Kritisch	Kritisch	Kritisch	Kritisch	Empfohlen
F	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Nicht Empfohlen	Kritisch	Kritisch

	Empfohlen
	Kritisch
	Nicht Empfohlen

Abbildung 1: Zuordnung verschiedener Deckennutzungen zu Wahrnehmungsklassen

Diese Randbedingungen können entsprechend der Nutzung der betrachteten Decke näherungsweise zusammengefasst und verschiedenen Wahrnehmungsklassen zugeordnet werden, Abbildung 1. Die mit Hilfe der Abbildung 1 festgelegte Wahrnehmungsklasse stellt das Bemessungsziel dar.

3. DYNAMISCHE DECKENEIGENSCHAFTEN

2.1 ALLGEMEINES

Das dynamische Verhalten von Decken ist im wesentlichen von der Deckenmasse, der Deckensteifigkeit und der Dämpfung der Decke abhängig.

Das Verhältnis von Steifigkeit zu Deckenmasse bestimmt die Eigenfrequenz einer Geschossdecke. Kritisch können Eigenfrequenzen sein, die im Bereich der Schrittfrequenz von Fußgängern liegen. Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Schrittfrequenz, wie sie im Projekt VoF (European Commission 2006) im Eingangsbereich des TNO-Verwaltungsgebäudes in Delft bei über 200 Personen gemessen wurde.

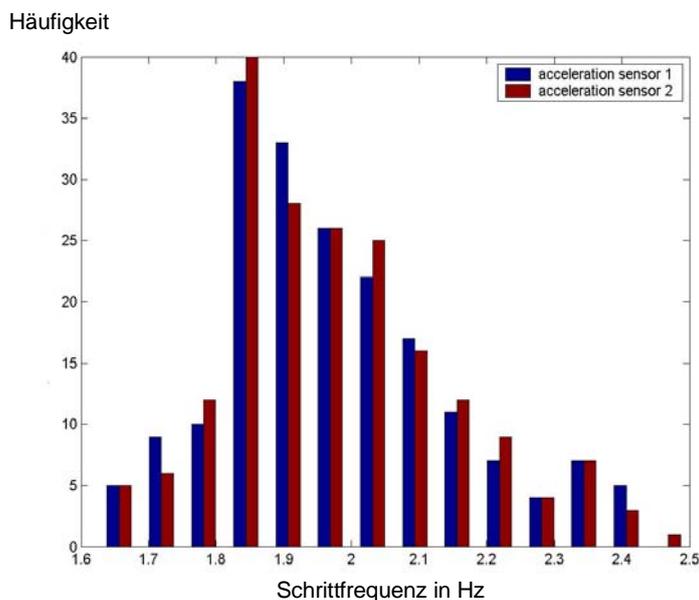


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Schrittfrequenzen

Wichtig für die harmonische Anregung von Geschossdecken ist ebenfalls eine gewisse Deckengröße, weil in der Regel mehrere Schritte ausgeführt werden müssen, bis die Decke in Schwingung gerät. In der unten vorgestellten Bemessungshilfe wird davon ausgegangen, dass die Decke eine ausreichende Größe besitzt.

Während die Steifigkeit der Decken ausschließlich Einfluss auf die Systemeigenfrequenz besitzt, hat die Deckenmasse noch einen weiteren wichtigen Einfluss auf das dynamische Verhalten der Decke. Und zwar ist das Verhältnis von Erregermasse zu der Masse der zu erregenden Decke eine wichtige Größe für die dynamische Sensibilität der Decke. Mit steigendem Verhältnis der Erregermasse zur erregten Masse steigt auch die Effizienz der dynamischen Anregung. Zu jeder Deckeneigenfrequenz existiert eine modale Masse, welche bildlich ausgedrückt den Massenanteil der Decke angibt, der an der Schwingung beteiligt ist.

Moderne weit gespannte Decken besitzen eine geringere Steifigkeit und sie werden in leichten Bauweisen ausgeführt. Die geringe Steifigkeit führt zu geringeren Eigenfrequenzen und die leichte Bauweise zu einem steigenden Verhältnis von Erregermasse zu erregter Masse. Daher kann es hier erforderlich werden, den Schwingungskomfort der Decken nachzuweisen.

Einen weiteren wichtigen Einfluss auf das Schwingungsverhalten hat die Dämpfung der Decke. Die Dämpfungseigenschaften der Decken werden nicht nur durch die Konstruktion sondern auch durch den Ausbau und die Nutzung der Räume bestimmt. So können nicht tragende Trennwände, abgehängte Decken, Hohlraumböden oder schwimmender Estrich einen wesentlichen Einfluss auf die Deckendämpfung haben. Unter Berücksichtigung von Baustoffen für den Rohbau, dem vorhandenen Ausbau und der Möblierung sind in Abbildung 3 Dämpfungswerte angegeben, mit denen die Gesamtdämpfung der Decke nach Ausbau abgeschätzt werden kann.

Typ	Dämpfung (in % der kritischen Dämpfung)
Strukturdämpfung D_1	
Holz	6%
Beton	2%
Stahl	1%
Stahl-Beton-Verbund	1%
Dämpfung durch Möblierung D_2	
Traditionelles Büro für 1 bis 3 Personen mit Trennwänden	2%
Paperless office	0%
Großraumbüro	1%
Bibliothek	1%
Wohnhaus	1%
Schule	0%
Gymnastikräume	0%
Dämpfung durch Ausbau D_3	
Abgehängte Decke unter dem Boden	1%
Free floating floor	0%
Schwimmender Estrich	1%
Gesamtdämpfung $D = D_1 + D_2 + D_3$	

Abbildung 3: Ermittlung der Deckendämpfung

2.2 BESTIMMUNG DER RELAVANTEN DECKENEIGENSCHAFTEN

Weil die Ermittlung der oben angegeben dynamischen Eigenschaften von Deckensystemen in der alltägliche Ingenieurpraxis im Hochbau unüblich ist, wurde eine Bemessungshilfe (Feldmann 2007) entwickelt, mit der Eigenfrequenzen und zugehörige modale Masse bestimmt werden können.

Diese Bemessungshilfe gibt sowohl einfache Handformeln für einfache regelmäßige Systeme als auch Anleitung zur EDV gestützten Berechnung.

Abbildung 4 zeigt als Auszug aus (Feldmann 2007) Beispiele für Handformeln zur Bestimmung der Eigenfrequenz und modaler Masse für isotrope Deckensysteme unter verschiedenen Lagerungsbedingungen.

Zusätzlich umfasst die Bemessungshilfe auch Handformeln für die Bestimmung der dynamischen Eigenschaften orthotroper Deckenaufbauten (z.B. Verbunddecken) sowie allgemeine Regeln und Näherungsverfahren.

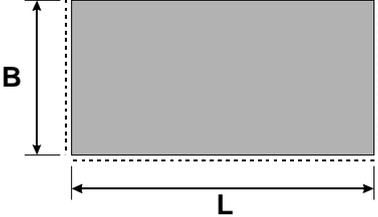
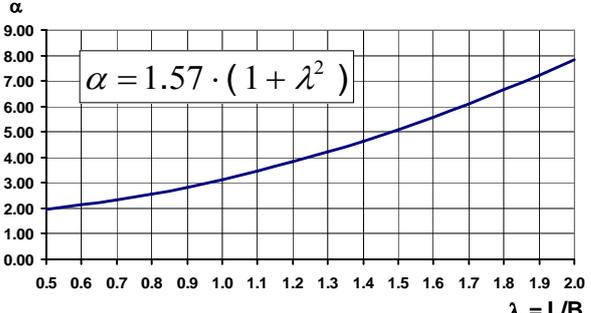
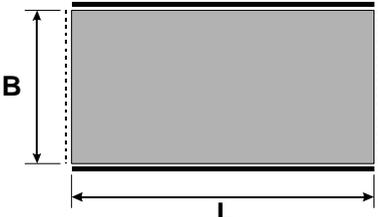
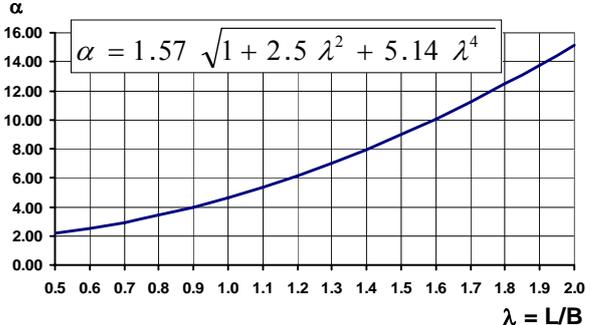
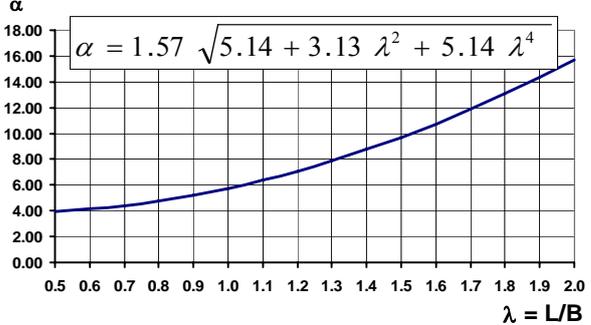
Lagerungsbedingung: 	Frequenz ; Modale Masse $f = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12 \cdot m (1 - \nu^2)}} ; M_{\text{mod}} = \beta \cdot M_{\text{tot}}$
	 <p style="text-align: center;">$\beta \approx 0,25$ für alle λ</p>
	 <p style="text-align: center;">$\beta \approx 0,20$ für alle λ</p>
	 <p style="text-align: center;">$\beta \approx 0,17$ für alle λ</p>
<p>E E-Modul in N/m² t Plattendicke in m m bezogene Deckenmasse einschließlich Ausbau und Möblierung in kg/m² ν Querkontraktionszahl M_{tot} Deckenmasse einschließlich Ausbau und Möblierung in kg</p>	

Abbildung 3: Vereinfachte Ermittlung von Deckenfrequenz und modaler Masse bei isotropen Platten

4. NACHWEIS DES DECKENKOMFORTS

Für den Nachweis, dass eine Decke den geforderten Schwingungskomfort besitzt, werden Bemessungsdiagramme verwendet (siehe Abbildung 4), aus denen direkt die Wahrnehmungsklasse A bis F abgelesen werden kann.

Eingangsgrößen für die Bestimmung der Wahrnehmungsklasse sind

- Dämpfungseigenschaft unter Berücksichtigung von Ausbau und Möblierung
- Eigenfrequenz
- Zugehörige modale Masse der Decke

Nach der Bestimmung dieser dynamischen Deckeneigenschaften wird entsprechend der Deckendämpfung das Bemessungsdiagramm ausgewählt und wie in Abbildung 4 dargestellt die Wahrnehmungsklasse abgelesen.

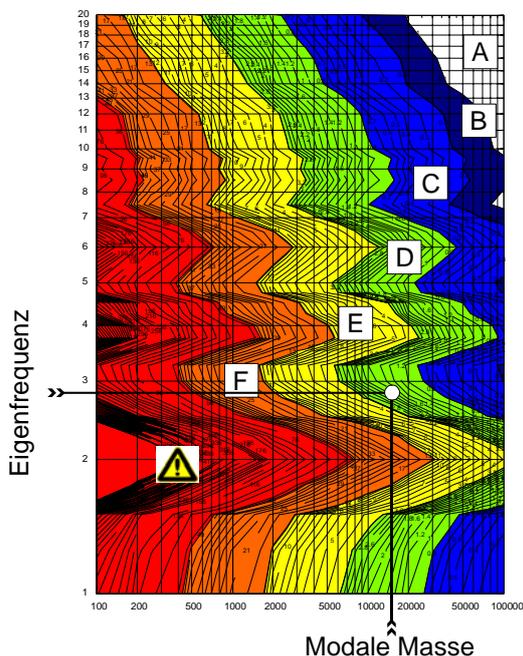


Abbildung 4: Ablesen der Wahrnehmungsklasse aus den Bemessungsdiagrammen

Bemessungsdiagramme wurden für Dämpfungen von 1% bis 9% aufgestellt. Als Beispiele enthält Abbildung 5 Bemessungsdiagramme für 1% und 3% Dämpfung.

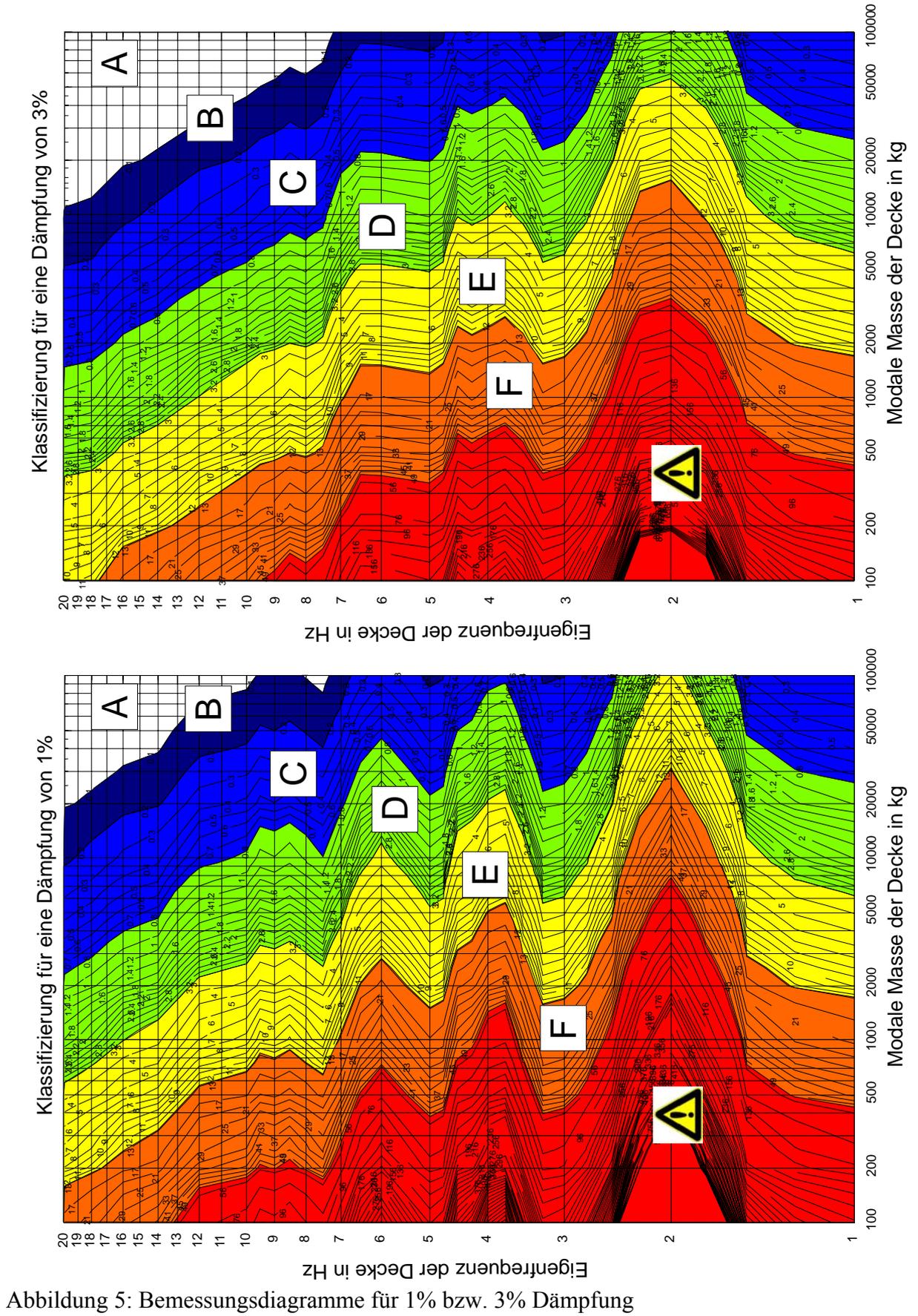


Abbildung 5: Bemessungsdiagramme für 1% bzw. 3% Dämpfung

5. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Mit der vorgestellten Bemessungshilfe wurde ein Werkzeug entwickelt, mit dem Ingenieure auch ohne besondere Kenntnisse über die Dynamik der Bauwerke mit einfachen Mitteln Deckenschwingungen abschätzen können.

Die Grundlagen für die Bemessungshilfe wurde mit finanzieller Unterstützung des RFCS (Research Fund for Coal and Steel of the European Community) entwickelt.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

European Commission, 2006. Generalisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls – Vibration of floor (VoF). Report EUR 21972 EN. ISBN 92-76-01705-05

Feldmann, M., Heinemeyer, Ch., Völling, B. 2007, Design guide for floor vibrations, ARCELOR Commercial Sections,
<http://www.arcelor.com/sections/en/literature/default.html>.