

Inhaltsverzeichnis

1) Allgemeines	2
1.1) Normen und Unterlagen.....	2
1.2) Gegenstand der Berechnung.....	3
1.3) Berechnungsvorgang	3
2) Annahmen	4
3) Lastannahme	7
4) Temperaturberechnung	9
4.1) Temperaturberechnung des betrachteten Objekts	9
4.2) Parameterstudien.....	11
4.2.1) Variation der Brandlastdichte.....	11
4.2.2) Variation der Raumhöhe	12
4.2.3) Variation der Öffnungsfläche.....	13
4.2.4) Variation der Brandausbreitungsgeschwindigkeit.....	14
5) Stahltemperaturen.....	15
6) Zusammenfassung	17
Anhang A.....	1
Anhang B.....	1

1) Allgemeines

1.1) Normen und Unterlagen

Anzuwendende Normen:

- EN 1991-1-2 Einwirkungen auf Tragwerke -
Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- prEN 1993-1-2 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
Tragwerksbemessung für den Brandfall

Weitere Unterlagen:

- Brandlasttabelle; von der Homepage von Bauen mit Stahl
⇒ <http://www.bauen-mit-stahl.de/brandschutz/kennwerte.htm>
- Produktdatenblätter der Firma ThyssenKrupp Hoesch (für Wand- und Dachaufbau)
⇒ <http://www.tks-bau.com>
- Materialkennwerte (spez. Wärmekapazität) von der Seite
⇒ <http://www.elpac.de>
- Technische Dokumentation des Wellstegträgers (für typische Abmessungen)
⇒ <http://www.zeman-stahl.com>

1.2) Gegenstand der Berechnung

Gegenstand der Berechnung ist die Ermittlung eines bzw. mehrerer Temperaturverläufe für Naturbrände in Industriehallen. Die Untersuchung ist nicht auf ein spezielles Projekt bezogen, sondern soll als Grundlage für die versuchsgestützte brandtechnische Bewertung des von der Firma „Zeman“ produzierten und vertriebenen Wellstegträgers dienen. Hierzu werden an einer hypothetischen, vorab in Größe und Aufbau definierten, Konstruktion brandtechnische Berechnungen vorgenommen.

1.3) Berechnungsvorgang

Entsprechend der allgemein gehaltenen Aufgabenstellung sind die Randbedingungen vage gehalten.

Zur Ermittlung der Gastemperatur des Naturbrands wird die vorab definierte Geometrie sowie ein, ebenfalls als repräsentativ angenommener, Wandaufbau gewählt. Es wird aus der Literatur eine für Industriehallen typische, repräsentative Brandlast ermittelt, mit welcher die Gastemperatur für das Objekt errechnet wird. Diese Temperaturkurve wird dann zur Berechnung der Stahltemperaturen verwendet. Siehe hierzu Kapitel 2.1.

Es ist geplant, die erhaltene Temperaturkurve für die, einem Brandkammerversuch vorhergehende, FE-Berechnung eines Wellstegträgers zu verwenden.

Der gesamten Berechnung sind die Bestimmungen und die zugehörigen Brandmodelle des Eurocodes zugrunde gelegt.

Die Brandlast wurde, ausgehend von der charakteristischen Last (wie oben beschrieben), nach den Regeln von EN 1991-1-2 Anhang E (Brandlastdichten) in eine Bemessungsbrandlast umgelegt. Als Berechnungsmodell wurde eine Kombination aus 1- und 2-Zonen-Modell gewählt, wie sie auch in EN 1991-1-2 Anhang D.2 (Erweiterte Brandmodelle) beschrieben sind, wobei für die Berechnung selbst das Softwarepaket OZONE 2.1 der Universität de Liège verwendet wird.

Aufgrund der allgemein gehaltenen Randbedingungen scheint die separate Untersuchung eines lokalen Feuers als nicht sinnvoll. Eine solche Berechnung hätte zum Ziel, eine lokale Temperatur - bezogen auf eine definierte Brandquelle (welche eine große Abweichung zur flächig verteilten Brandlast darstellt) - zu errechnen. Dies setzt aber eine Kenntnis bzw. sehr genaue Vorstellung dieser singulären Brandquelle voraus (z.B.: Brandlast eines Fahrzeuges oder einer Maschine,...). Solche Annahmen wären für die hier durchgeführte Untersuchung aber komplett beliebig, daraus resultierende Ergebnisse damit ohne Aussagekraft.

2) Annahmen

2.1) Gebäude

Der Berechnung wird eine Werkshalle gemäß der folgenden Skizze zugrunde gelegt.

Frei Spannweite: 20,00 m
Höhe der Stützen: 6,00 m
Giebelhöhe: 6,90 m
Hallenlänge: 40,00 m

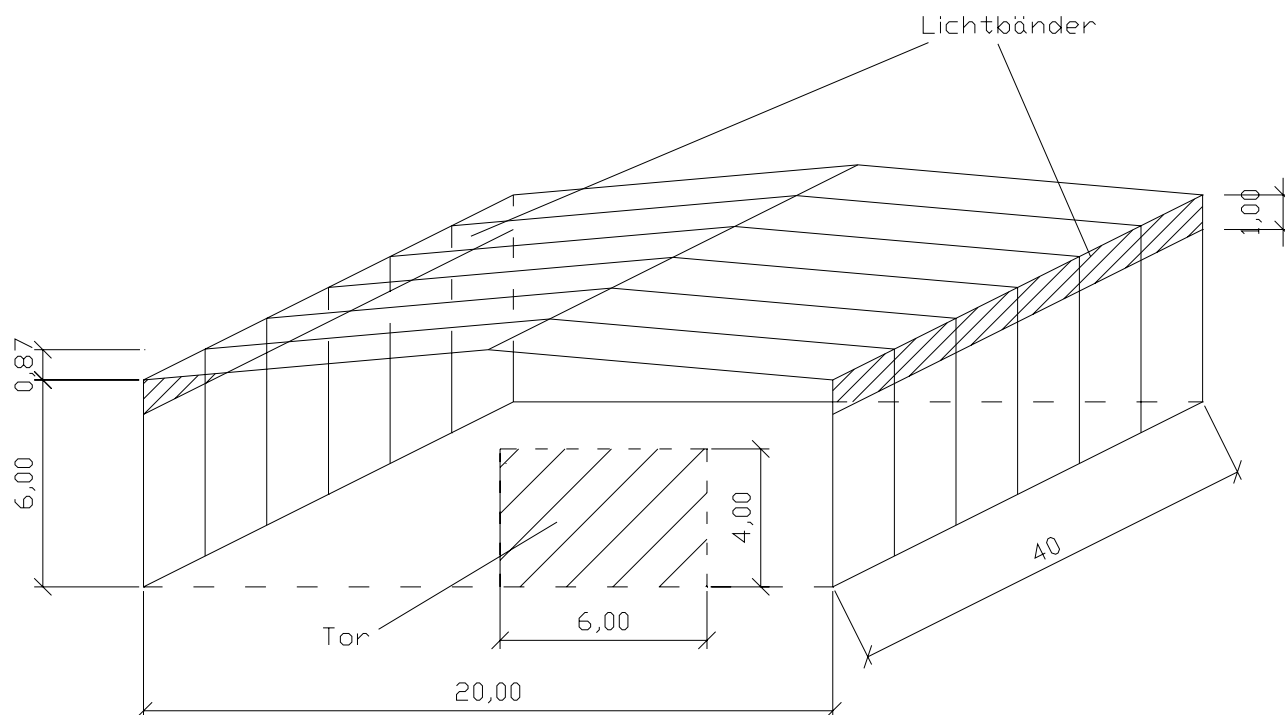


Abb.1: Gewählte Geometrie

Die Halle verfügt über ein Tor mit 6*4m und Lichtbändern in den Wänden der beiden Längsseiten. Die Lichtbänder sind 1m hoch.

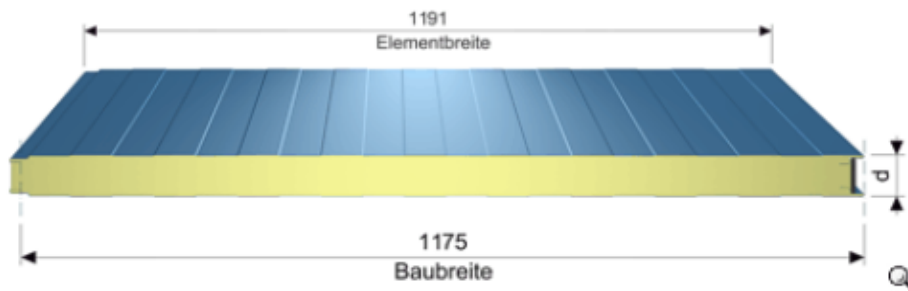
Es wird angenommen, dass 25% der Lichtbandfläche von Anfang an geöffnet sind und sich weitere 25% bei Gastemperatur von 200-400°C in der Heißgaszone durch Bersten des Glases öffnen. Die Zunahme der Öffnungsfläche erfolgt linear mit dem Temperaturanstieg in diesem Bereich.

Das Tor wird über die ganze Branddauer als zu 50% geöffnet angenommen.

2.2) Randbedingungen

Der Wandaufbau besteht aus einer Systemkassette mit folgendem Aufbau:

Thermowand in Elementdicken bis 100 mm



Elementdicke d mm	Materialdicke der Deckschalen t _w		Gewicht g kg/m ²	Wärmedurchlasswiderstand R* m ² K/W	Wärmedurchgangskoeffizient U* W/m ² K
	außen [mm]	innen [mm]			
40	0,50	0,40	9,3	1,56	0,58
	0,50	0,50	10,1		
60	0,50	0,40	10,2	2,36	0,39
	0,50	0,50	11,0		
80	0,50	0,40	11,1	3,16	0,30
	0,50	0,50	11,9		
100	0,50	0,40	12,0	3,96	0,24
	0,50	0,50	12,8		

Abb.2: Gewählter Wandaufbau (Bild von ThyssenKrupp)

Trapezblech innen d = 0,4mm

$$c = 425 \text{ J/kgK}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 60 \text{ W/mK}$$

Polyurethankern d = 60mm

$$c = 500 \text{ J/kgK}$$

$$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$$

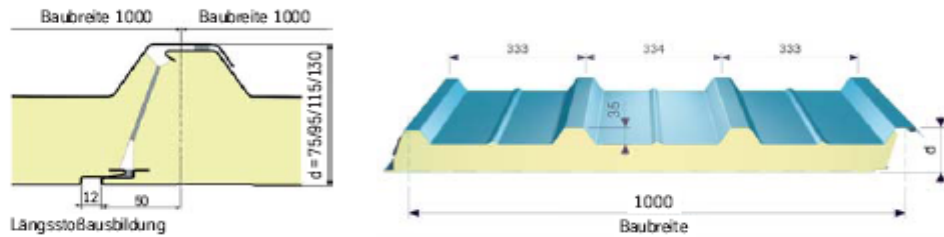
Trapezblech außen d=0,5mm

Materialkennwerte wie oben

Anmerkung: Da es sich bei der Temperaturentwicklung um einen stark instationären Vorgang handelt, kann nicht mit dem globalen U-Wert gerechnet werden, sondern es muss der genaue Schichtaufbau für die Wärmeaufnahmefähigkeit modelliert werden.

Brandberechnung für Industriehallen

Der Dachaufbau besteht aus einer 2-schaligen Trapezblechverkleidung:



Bauteil- bezeichnung	Element- dicke d	Material- dicke Außenschale t_N	Material- dicke Innenschale t_N	max. Liefer- länge	Gewicht	Wärme- durchlass- widerstand R	Wärme- durchgangs- koeffizient U	Bewertetes Schalldämm- maß R_w
	mm	mm	mm	m	kg/m ²	m ² K/W	W/m ² K	dB
mermodach	75				10,1	1,77	0,51	
	95				11,0	2,60	0,36	
	115	0,50	0,40	24	11,9	3,41	0,28	25
	130				12,6	4,01	0,24	

weitere Blechdicken auf Anfrage möglich Allgemein bauaufsichtlich zugelassen Z-10.4.-232

Abb.3: Gewählter Dachaufbau (Bild von ThyssenKrupp)

Materialeigenschaften

Trapezblech innen $d = 0,4\text{mm}$

$$\begin{aligned} c &= 425 \text{ J/kgK} \\ \rho &= 7850 \text{ kg/m}^3 \\ \lambda &= 60 \text{ W/mK} \end{aligned}$$

Polyurethankern $d = 85\text{mm}$

$$\begin{aligned} c &= 500 \text{ J/kgK} \\ \rho &= 500 \text{ kg/m}^3 \\ \lambda &= 0,023\text{W/mK} \end{aligned}$$

Trapezblech außen $d=0,5\text{mm}$

Materialeigenschaften wie oben

Anmerkung: Da es sich bei der Temperaturentwicklung um einen stark instationären Vorgang handelt, kann nicht mit dem globalen U-Wert gerechnet werden, sondern es muss der genaue Schichtaufbau für die Wärmeaufnahmefähigkeit modelliert werden.

3) Lastannahme

3.1) Brandlast - Datenquelle

Die Brandlast muss ebenfalls angenommen werden. **Es ist eindeutig festzuhalten, dass es prinzipiell unbedingt erforderlich ist, Brandlasten spezifisch für das gegenständliche Projekt zu ermitteln**, da die Brandlasten extrem schwanken. Diese Aussage gilt bereits für unterschiedliche Industrieanlagen ähnlicher oder gleicher Nutzung, umso mehr aber für die Mittelwertbildung über verschiedene Nutzungen.

Insofern kann diese Berechnung und die hier getroffene Brandlastannahme nur als exemplarisch für einen Industriebetrieb gesehen werden, aufgrund der extremen Streuung der Brandlasten nicht aber als repräsentativ für Industriehallen.

Grundlage für die exemplarisch gewählte Brandlast ist die von der Gemeinschaft „Bauen mit Stahl“ zusammengestellte Übersicht von Brandlasten. Aus dieser Liste wurden die nutzbaren Angaben von insgesamt 318 unterschiedlichen Industriebranchen bzw. verschiedenen Nutzungen extrahiert und der Mittelwert über diese Brandlasten ermittelt. Die aussortierten Positionen waren mehrheitlich Lager für brennbare Stoffe (Öle, Holzspäne, Kokosfasern,...), bei denen es auf Lagervolumen und Lagerungsart ankommt. Die Liste der gewählten Nutzungen und deren zugehörigen Brandlasten findet sich im Anhang A wieder. Auch hier ist die starke Streuung der Brandlastwerte zu sehen.

Verteilung der Brandlasten:

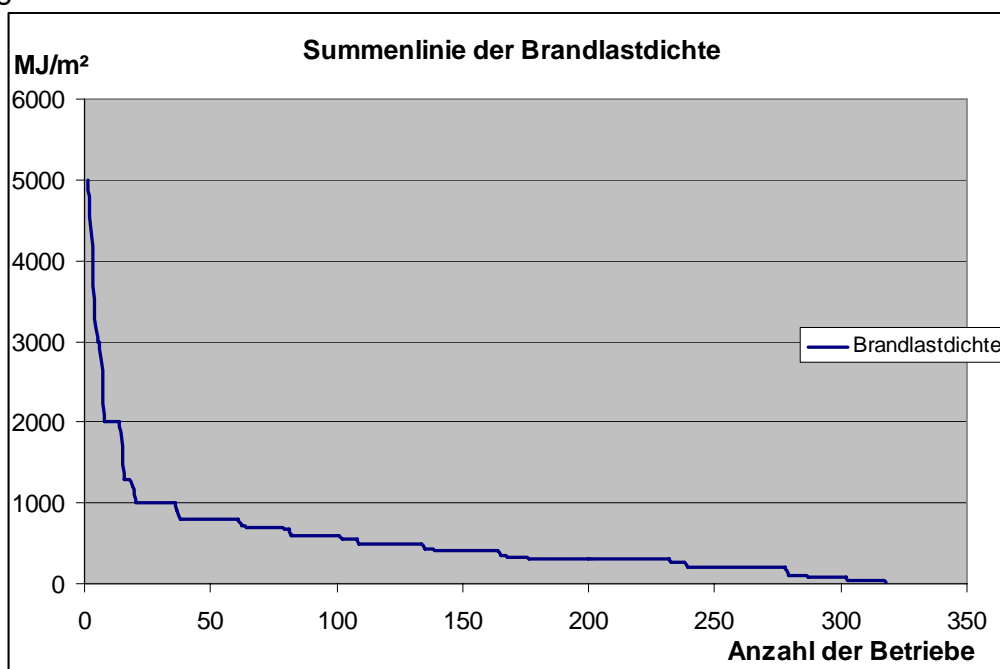


Abb.4: Summenlinie der Brandlastdichten.

Das arithmetische Mittel ergibt sich zu 539MJ/m². Für die Berechnung nach EN ist das 80% Fraktile erforderlich, welches sich zu

$$q_{f,k}=658 \text{ MJ/m}^2$$

ergibt.

3.2) Berechnung der Bemessungsbrandlast

Die EN 1991-1-2 Annex E stellt ein mathematisches Modell zur Errechnung der Brandlastdichte zur Verfügung.

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$$

Die Faktoren sind wie folgt gewählt

m=0,8 für zellstoffhaltiges Brandmaterial

Brandentstehungsrisiko

$\delta_{q1}=1,63$ (Risiko abhängig von der Brandabschnittsgröße; A=800m²)
 $\delta_{q2}=1,22$ (Risiko aus der Nutzung; hoch)

Brandbekämpfungsmaßnahmen

$\delta_{n1}=1,00$ (kein automatisches Wasserlöschsystem)
 $\delta_{n2}=1,00$ (-)
 $\delta_{n3}=0,87$ (Brandmelder durch Hitze vorhanden)
 $\delta_{n5}=1,00$ (keine automatische Benachrichtigung der Feuerwehr)
 $\delta_{n6}=0,78$ (externe Feuerwehr vorhanden)
 $\delta_{n8}=1,00$ (sichere Zufahrtswege vorhanden)
 $\delta_{n9}=1,00$ (Brandbekämpfungsgeräte vorhanden; z.B.: Feuerlöscher)
 $\delta_{n10}=1,00$ (Rauchabzug vorhanden); Annahme dass dies hier durch die offenen, berstenden Fenster automatisch geschieht

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni} = 658 * 0,8 * 1,99 * 0,68 = 711,8MJ / m^2$$

Weitere Eingangsdaten sind die Energiefreisetzungsrate und die Brandausbreitungsgeschwindigkeit. Sie werden wie folgt gewählt:

RHR_f = 500kW/m² (hoch)
t_a = 150 sec (schnell)

Anmerkung: Es muss nochmals erwähnt werden, dass die vorangehenden Werte Annahmen bezüglich einer als möglich eingeschätzten Situation zu sehen sind, und NICHT als Zusammenstellung von bemessungsrelevanten Daten für ein spezifisches Objekt.

4) Temperaturberechnung

4.1) Temperaturberechnung des getrachteten Objekts

Unter den oben gewählten Randbedingungen ergibt sich der Temperaturverlauf zu:

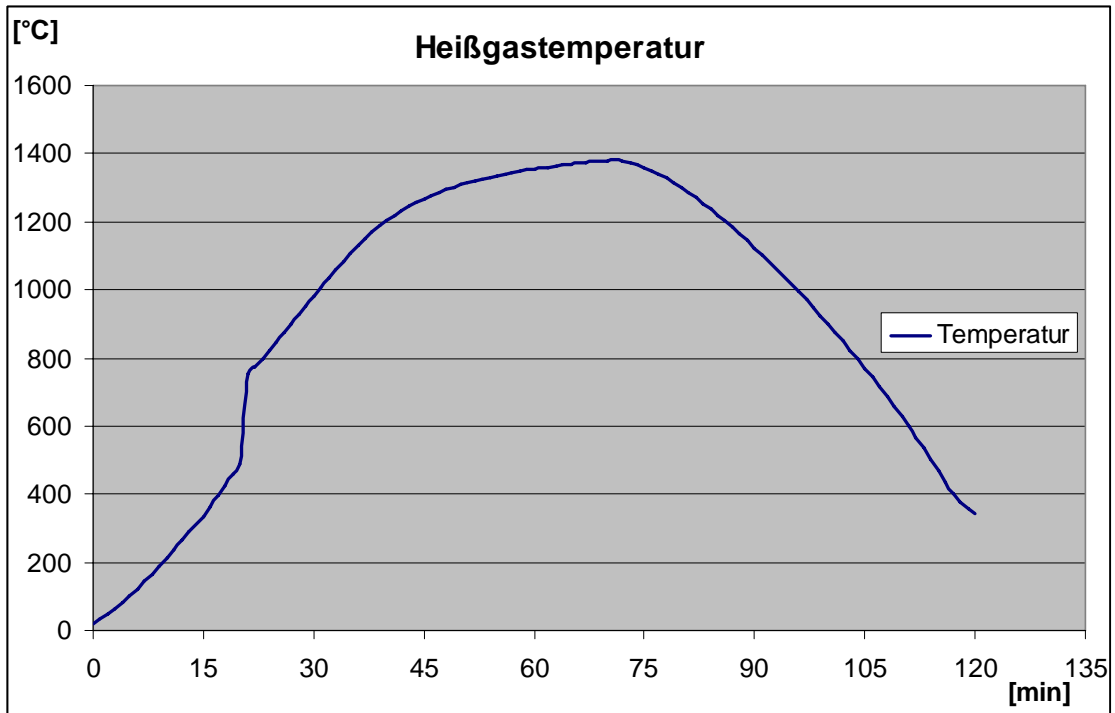


Abb.5: Temperatur der Heißgaszone für das Bauobjekt

Die Temperaturkurve folgt dem für einen Brand typischen Verlauf. Nach einer Brandausbreitungsphase kommt es zu einem Flash-over und einem damit verbundenen rapiden Temperaturanstieg. Nachdem der Großteil der Brandlast umgesetzt worden ist, geht der Brand und damit die Temperatur zurück.

Links sind die Temperaturen für ausgesuchte Zeitpunkte dargestellt. Die gesamten Zahlenwerte für obiges Diagramm finden sich im Anhang B.

Zeit	Temperatur
[min]	[°C]
0	20
5	103,918
10	211,46
15	334,49
20	488,882
25	847,872
30	980,671
35	1107,82
40	1203,55
45	1267,02
50	1308,2
55	1335,6
60	1354,64
65	1368,55
70	1379,2
75	1360,16
80	1301,09
85	1219,58
90	1123,46

Brandberechnung für Industriehallen

Weitere Daten zum Brandverlauf:

Sauerstoffmenge im Brandraum:

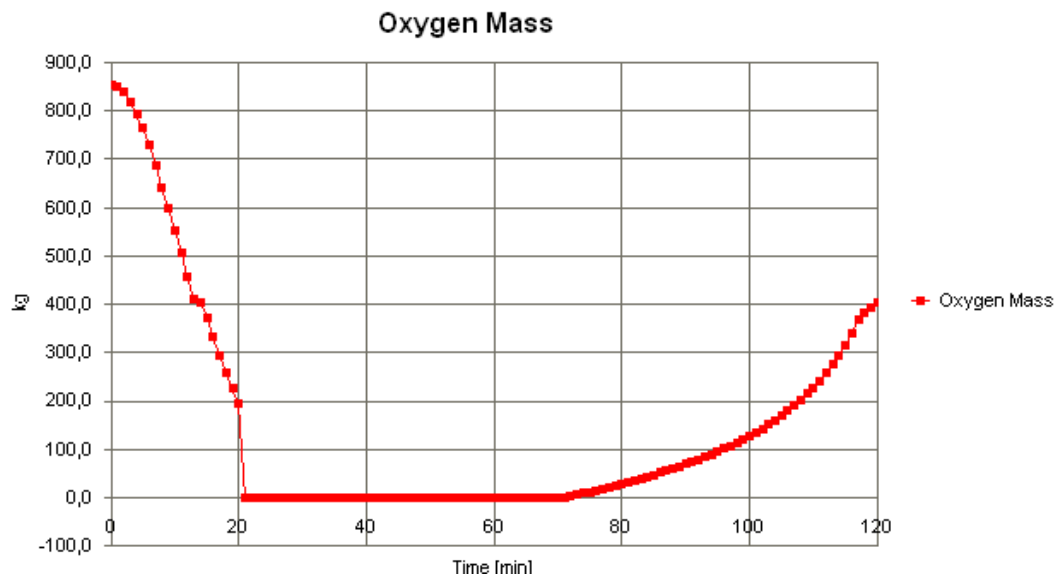


Abb.6: Verlauf der im Brandraum befindlichen Sauerstoffmenge

Brandfläche:

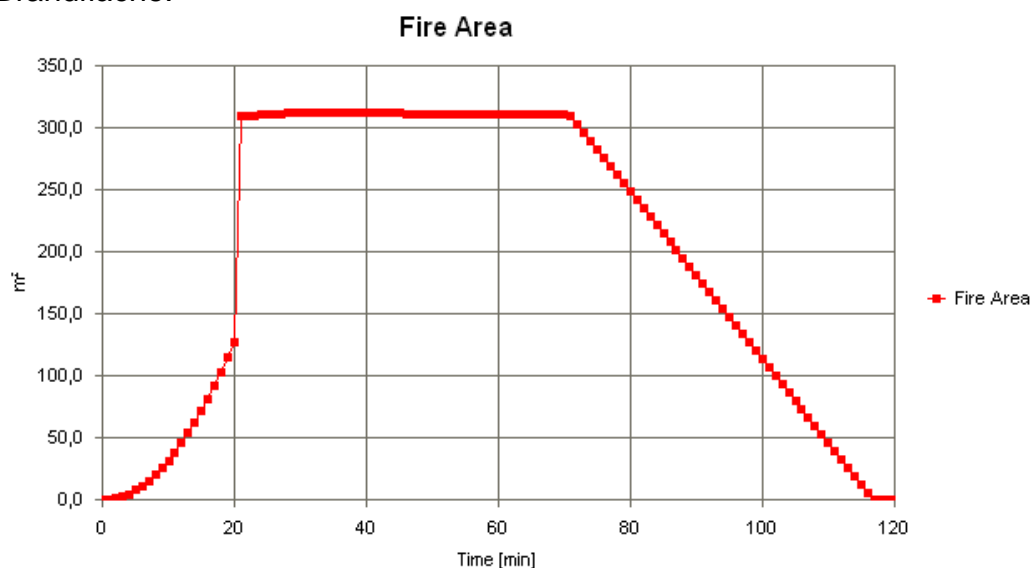


Abb.7: Verlauf der effektiven Brandfläche

Es ist gut zu sehen, dass der Brand, wie bei der hohen Brandlast zu erwarten, brandlastgesteuert ist. Die Sauerstoffmenge geht kontinuierlich zurück. Wenn es dann zum Flash-over kommt, breitet sich der Brand (die Brandfläche) sprunghaft auf eine Fläche aus, auf welcher der Sauerstoffbedarf des Feuers dem Sauerstoffzutritt durch die Öffnungen entspricht. Der eintretende Sauerstoff wird direkt aufgezehrt.

4.2) Parameterstudien

Für eine Abschätzung der Empfindlichkeit des Ergebnisses werden einige der Parameter variiert. Diese betrachteten Parameter sind

- Brandlastdichte
- Raumhöhe
- Öffnungsfläche
- Brandausbreitungsgeschwindigkeit

4.2.1) Variation der Brandlastdichte

Die Temperatur wird für 50%, 80%, 100%, 120% und 150% berechnet. Die Temperaturverläufe sind nachfolgend dargestellt.

Es werden die Raumhöhe und die Öffnungsfläche konstant bei den angenommenen Grundwerten beibehalten.

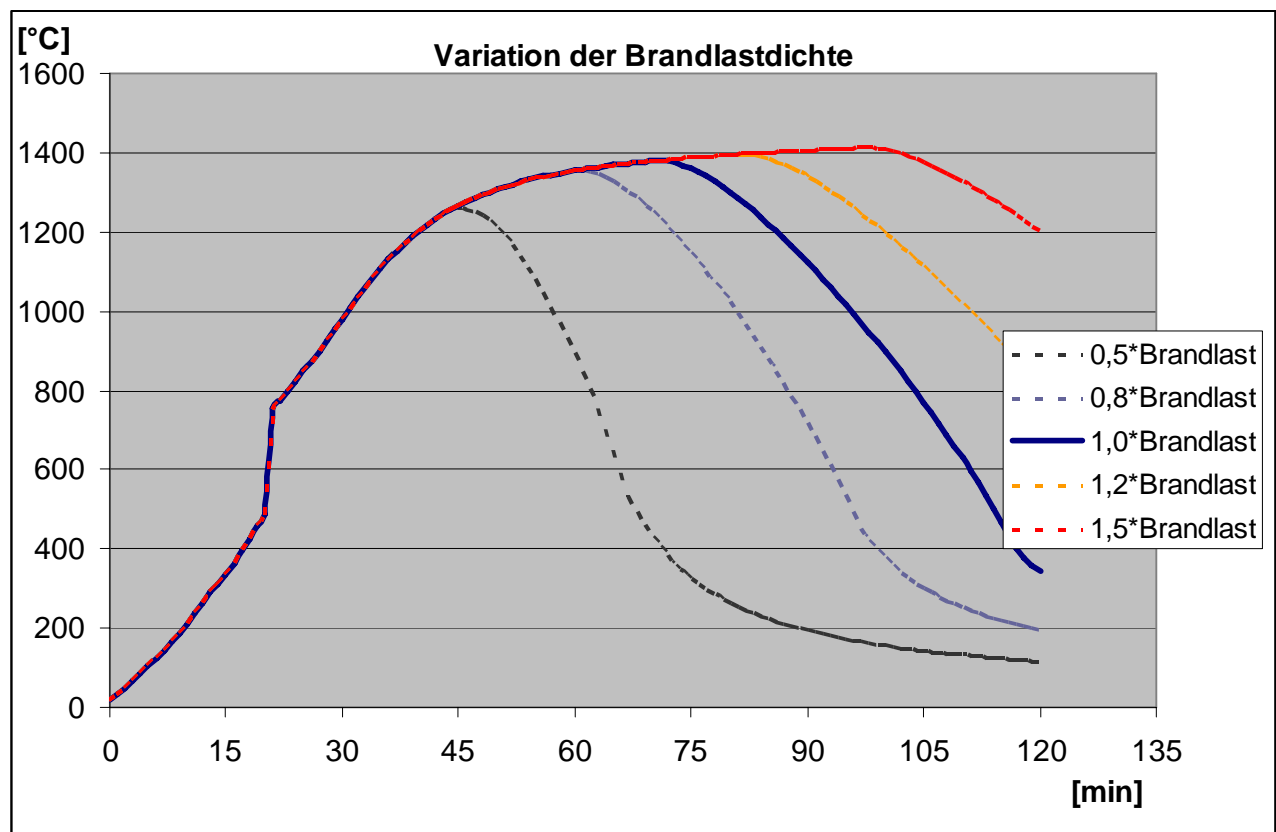


Abb.8: Temperaturverläufe bei verschiedenen Brandlastdichten

Wie bei der Grundgeometrie bereits festgestellt handelt es sich bei dem Brand um ein brandlastgesteuertes Feuer. Da hierbei der Sauerstoff das begrenzende Element ist, resultiert aus einer höheren Brandlast „lediglich“ eine längere Branddauer.

4.2.2) Variation der Raumhöhe

Es wird die Temperaturentwicklung für Raumhöhen von 4m, 5m, 6m, 7m und 8m untersucht. Es werden die Brandlast und die Öffnungsfläche konstant bei den angenommenen Grundwerten beibehalten.

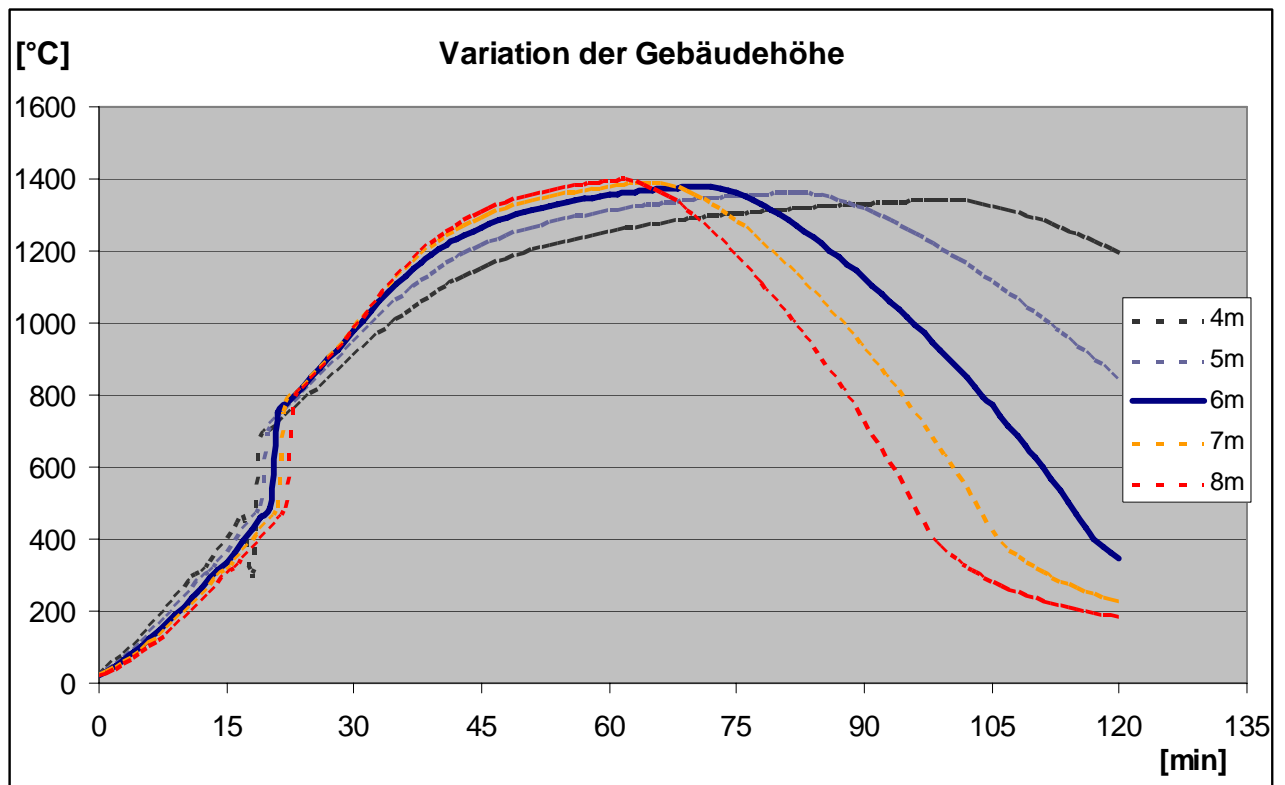


Abb.9: Temperaturverläufe bei unterschiedlichen Raumhöhen

Es zeigt sich eine sehr geringe Varianz in der Brandentstehungs- und der Vollbrandphase. Es ist aber zu sehen, dass das geringere bzw. größere Raumvolumen schneller bzw. langsamer erwärmt wird, und so der Zeitpunkt des Flash-overs (leicht) variiert.

4.2.3) Variation der Öffnungsfläche

Es wird die Temperaturentwicklung für 26m² (50% des Grundwerts), 42m² (80%), 52m² (100%), 62m² (120%), 78m² (150%) und 104m² (200% - gesamte mögliche Öffnungsfläche) untersucht.

Es werden die Brandlast und die Öffnungsfläche konstant bei den angenommenen Grundwerten beibehalten.

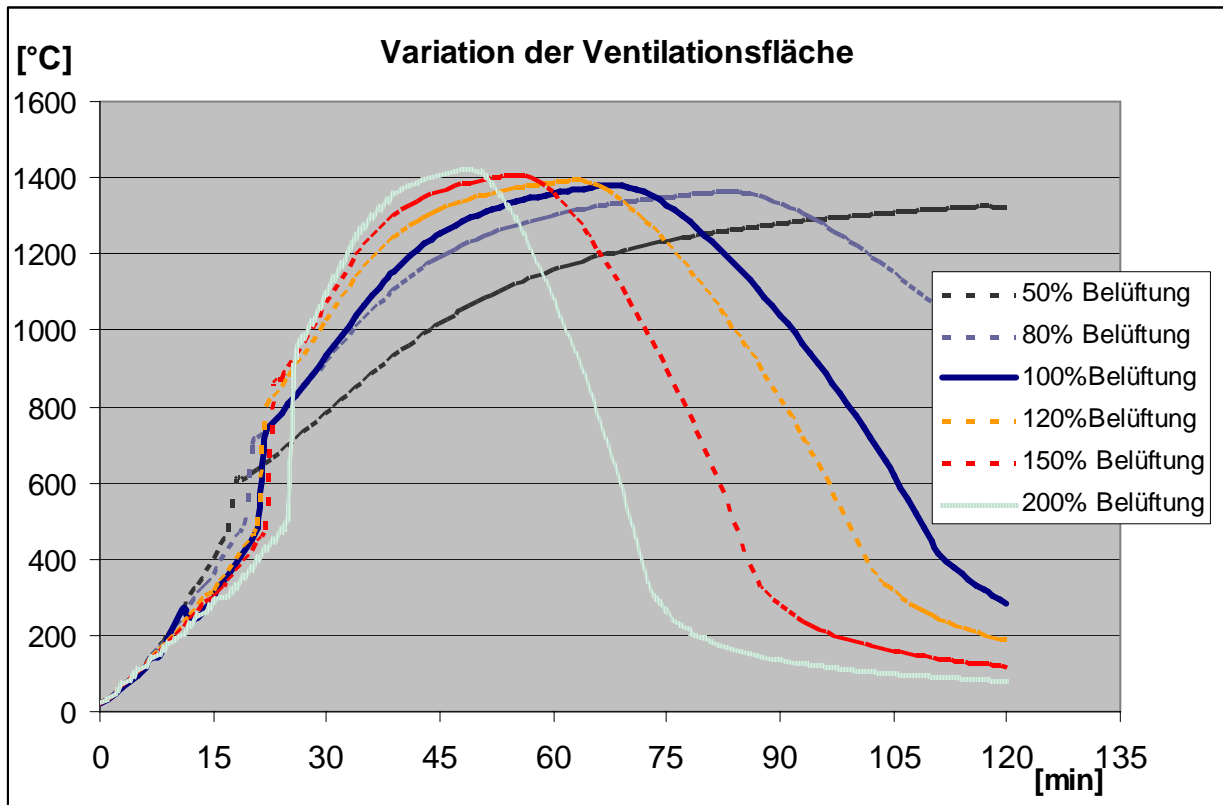


Abb.10: Temperaturverläufe bei unterschiedlichen Ventilationsverhältnissen

Es zeigt sich auch hier eine geringe Varianz in der Brandentstehungsphase. Geringere Belüftung bedeutet in dieser Phase geringeren Energieverlust durch die Öffnungen, wobei dann nach den Flash-over diese geringe Öffnungsfläche einen geringeren Sauerstoffzutritt bewirkt und so den Brandverlauf verlangsamt.

4.2.4) Variation der Brandausbreitungsgeschwindigkeit

Das Brandverhalten legt den Schluss nahe, dass lediglich die Brandausbreitungsgeschwindigkeit das System und so die Berechnung maßgeblich beeinflussen kann. So werden hier nun die Temperaturverläufe für Brandausbreitungsgeschwindigkeiten „langsam“, „mittel“, „schnell“, und „ultra schnell“ gemäß En 1991-1-2 Anhang E untersucht. (Bei allen bisherigen Berechnungen wurde „schnell“ gewählt). Sämtliche anderen Werte bleiben konstant auf denen der Grundannahmen.

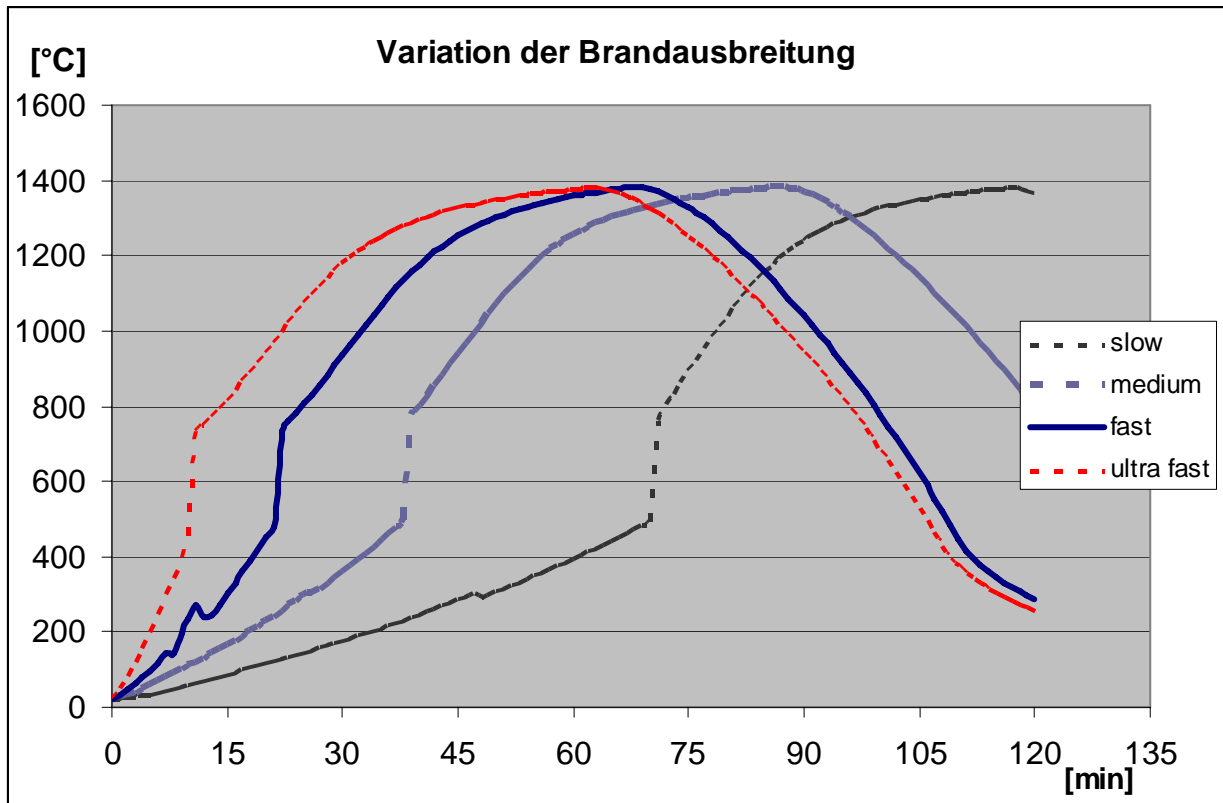


Abb.11: Temperaturverläufe für unterschiedliche Brandausbreitungsgeschwindigkeiten

Es zeigt sich die erwartete starke Abhängigkeit von der Brandausbreitungsgeschwindigkeit. Für die ungünstigste Variante der ultra-schnellen Ausbreitung findet der Flash-over bereits nach 10min statt und die Gastemperatur liegt zum Zeitpunkt $t=15\text{min}$ bereits bei 815°C .

5) Stahltemperaturen

Die unter 4.1 ermittelte Temperatur soll als (Temperatur-) Last auf ein Wellstegprofil aufgebracht werden. Dafür ist die Stahltemperatur von Interesse.

Für die Berechnungen in diesem Kapitel wird ein Wellstegprofil der folgenden Abmessungen zugrunde gelegt.

Stegblechhöhe:	750 mm
Stegblechdicke:	2 mm
Gurtbreite:	300 mm
Gurtdicke:	20 mm

Diese gewählten Abmessungen sind rein exemplarisch aus der Bandbreite der Profile gewählt.

Temperaturermittlung nach prEN 1993-1-2:

Das im Brandbemessungsteil des EC3 (Stahlbau) gegebene Berechnungsmodell legt (vereinfachend) eine konstante Temperatur über den gesamten Querschnitt zugrunde.

Eingabewerte:

TEMPERATUR VERLÄUFE UNTER BRANDLAST
nach den Normen
EN 1991-1-2 (Nov2002) und prEN 1993-1-2 (Apr 2003)

Querschnittswerte:

Oberfläche/Längeneinheit (=Umfang):

$$A_m = 270 \text{ [cm]}$$

Volumen/Längeneinheit (=Fläche):

$$V = 135 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Profilfaktor:

$$A_m/V = 200 \text{ [1/m]}$$

Brandwerte:

konvekt. Wärmestrom:

$$\alpha_c = 35,0 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Wärmestrom Strahlung:

Querschnitt ein I-Profil?

$$0,9 \text{ [-]}$$

Profil umschreibende Fläche(bzw.Umfang):

$$A_{mb} = 218,0 \text{ [cm]}$$

Profilfaktor für Box

$$[A_m/V]_b = 161 \text{ [1/m]}$$

Korrekturfaktor für Abschattungseffekt:

$$k_{sh} = 0,7 \text{ [-]}$$

Wärmestrom, Strahlung:

Konfigurationsfaktor:

$$\Theta = 1,0 \text{ [-]}$$

Emissivität Bauteiloberfläche:

$$\varepsilon_m = 0,7 \text{ [-]}$$

Emissivität Feuer:

$$\varepsilon_f = 1,0 \text{ [-]}$$

Dichte des Baumaterials

$$\rho = 7850 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Zeitinkrement:

$$\Delta t = 5 \text{ [sec]}$$

Die Temperaturentwicklung des Profils ergibt sich dann zu:

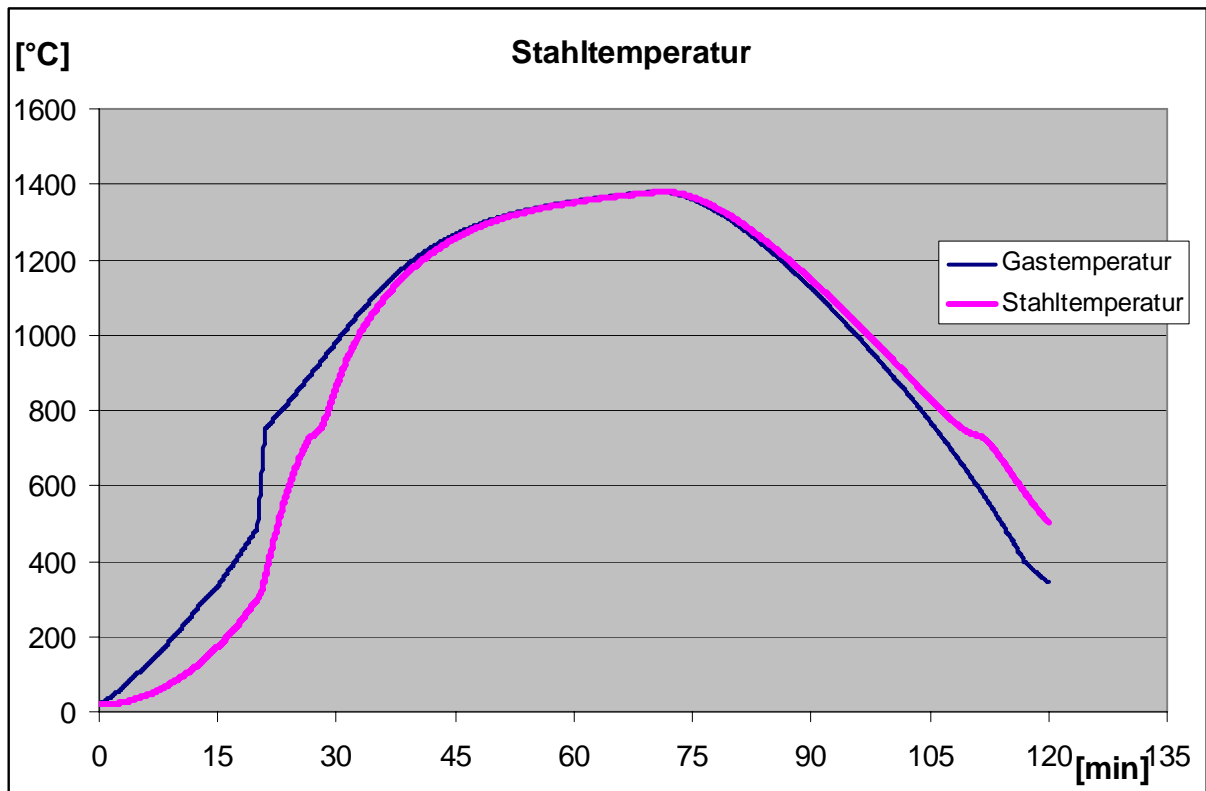


Abb.12: Gas- und mittlere Stahltemperatur

Diese errechneten Stahltemperaturen sind im Anhang B zu diesem Dokument tabellarisch angegeben.

Diese Temperatur ist, die oben gesagt, eine mittlere Temperatur des Profils. Dies erscheint aufgrund der im Falle des Wellstegträgers extrem unterschiedlichen Wandstärken, und der daraus resultierenden, sehr unterschiedlichen Durchwärmung der Bauteile als nicht realitätsnahe Annahme. Eine Abschätzung zeigt, dass die Stegtemperatur, ausgenommen für einen Zeitraum von 3 Minuten nach dem Flash-over, nicht mehr als 30°C von der Gastemperatur differiert. (Berechnung hier nicht angeführt)

Es ist daher zu empfehlen, eine differenzierte Temperaturbeaufschlagung des Modells vorzunehmen. Es wird vorgeschlagen, die Gurte des Profils mit den gemittelten Stahltemperaturen, und den Steg direkt mit der Gastemperatur zu beaufschlagen. Die Verwendung dieser Temperaturzuordnung liegt für beide Querschnittsteile (Gurte und Steg) unwesentlich auf der sicheren Seite.

Sollte das verwendete FE-Programm den Wärmeeintrag und die Durchwärmung des Profils selbst berechnen, ist darauf zu achten, dass der Wärmeübergangskoeffizient der Konvektion mit 35W/m²K anzusetzen ist. Als Emissivitäten sollen gemäß EN 1991-1-2 und EN 1993-1-2 die Werte 1,00 für das Feuer und 0,70 für die Bauteiloberfläche des Stahls verwendet werden.

6) Zusammenfassung

Es wurde eine Hallenkonstruktion mit als realistisch angesehenen räumlichen Abmessungen und einem üblichen Außenhautaufbau angenommen. Die Brandlast wurde als Mittelwert aus statistischen Werten verschiedener Industrienutzungen gewählt. Die gesamte Berechnung basiert auf dem Berechnungsmodell und den Regeln der EN 1991-1-2. Die Berechnung erfolgte nach einem kombinierten 1- und 2-Zonen-Modell, eine Betrachtung eines lokalen Feuers wurde nicht vorgenommen.

Das Ergebnis der Berechnung ist ein Brand mit den typischen Phasen – Brandentstehung, Vollbrand, und Abkühlphase. Der Temperaturverlauf zeigt dementsprechend einen zuerst moderaten Temperaturanstieg (bis ca. 20min), dann aber eine aufgeprägte (brandlastgesteuerte) Heißphase mit einer (rechnerischen) Maximaltemperatur von fast 1400°C. In der für die weiterführenden Untersuchungen relevante Zeitspanne von 15 Minuten wird eine Gastemperatur von „nur“ 335°C erreicht (vgl. 739°C bei der ETK).

Die aufgrund der Unbestimmtheit der Eingangswerte durchgeführte Parameterstudie zeigt eine sehr hohe Invarianz der Temperaturverläufe gegenüber der Variation von Brandlast, Raumvolumen, und Ventilationsfläche. Im Wesentlichen verändert sich durch diese Variationen lediglich der Verlauf, und vor allem der Beginn der Abkühlphase, der Einfluss auf den Temperaturverlauf in der Brandentstehungsphase ist marginal.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass einzig eine andere Wahl der Brandausbreitungsgeschwindigkeit die Temperaturentwicklung stark beeinflussen könnte. Diese ist mit „schnell“ aber bereits ungünstig gewählt, die Wahl eines höheren Wertes für dieses Variable erscheint, im Sinne einer Mittelwertbildung über alle möglichen Nutzungen, nicht sinnvoll. Jedoch muss man sich der Existenz eines ungünstigeren Brandverlaufs bewusst sein.

Bei der Berechnung einer Stahltemperatur ist dem Umstand der stark unterschiedlichen Bauteildicken und der damit unterschiedlichen thermischen Trägheit Rechnung zu tragen. Es wird empfohlen, die gemittelte Stahltemperatur nur für die Gurte zu verwenden und die Stahltemperatur des Wellblechstegs identisch mit der Gastemperatur zu wählen. Dieses Vorgehen stellt eine Annahme auf der sicheren Seite dar, wobei die Tragfähigkeit dadurch aber nicht in wesentlichem Maße gemindert werden sollte.

Anhang A: Brandlasten für verschiedene Nutzungen

Nr	Name	Brandlast	
		kWh/m ²	MJ/m ²
1	Acetylen-Abfüllerei	194	698,4
2	Akkumulatoren	111	399,6
3	Altstoff, Verarbeitung	222	799,2
4	Alu-Chips, Zwischenlager	74	266,4
5	Aluminium, Herstellung	11	39,6
6	Aluminium, Verarbeitung	56	201,6
7	Apparate	111	399,6
8	Apparate, Prüfung	56	201,6
9	Apparate, Reparaturabteilung	167	601,2
10	Apparate, Spedition	194	698,4
11	Armaturen	56	201,6
12	Arzneimittel, Herstellung und Verpackung	83	298,8
13	Asbestwaren	22	79,2
14	Auto, Montage	83	298,8
15	Auto, Reparaturwerkstätten	83	298,8
16	Auto, Sattlerei	194	698,4
17	Autolackiererei	139	500,4
18	Autoreparatur	94	338,4
19	Autozubehör, Lager	222	799,2
20	Backwaren, Versand	74	266,4
21	Bastgewebe	111	399,6
22	Baustofflager	74	266,4
23	Bedruckungs- und Lackieranlage	152	547,2
24	Besen	194	698,4
25	Besteck	56	201,6
26	Bettwaren	139	500,4
27	Bierbrauerei	22	79,2
28	Bijouteriewaren	56	201,6
29	Bilderrahmen	83	298,8
30	Bitumenverarbeitung	222	799,2
31	Bleche und Coils, Lager	74	266,4
32	Blechwaren	28	100,8
33	Blechwaren, Auslieferung	56	201,6
34	Bleistifte	139	500,4
35	Bodenbeläge, brennbare	139	500,4
36	Bonbons	111	399,6
37	Bonbons, Verpackung	222	799,2
38	Brennholz	694	2498,4
39	Bücher, Buchbinderei	279	1004,4
40	Büro, kaufmännisch	222	799,2
41	Büro, technisch	167	601,2
42	Büromaschinen	83	298,8
43	Bürstenwaren,	194	698,4
44	Butter, Fabrikation	194	698,4
45	Celluloid-Fabrikation	222	799,2
46	Dispersionsfarben	222	799,2
47	Draht, isoliert	83	298,8
48	Draht, nicht isoliert	22	79,2
49	Drahtstraße	189	680,4
50	Dreherei	92	331,2
51	Druckfarben	194	698,4

Brandberechnung für Industriehallen

52	Druckmaschinen	92	331,2
53	Drucksachen, Setzerei	83	298,8
54	Edelmetalle	56	201,6
55	Eisenbahnwaggons, Montage	86	309,6
56	Elektroapparate	139	500,4
57	Elektromotoren	119	428,4
58	Elektromotoren	83	298,8
59	Elektronische Geräte	139	500,4
60	Elektroteile, Montage	119	428,4
61	Elektrowerkstatt	119	428,4
62	Elektrowerkstatt	167	601,2
63	Ersatzteillager für PKW	94	338,4
64	Fahrräder	56	201,6
65	Fahrzeuge	83	298,8
66	Farben Mischerei	556	2001,6
67	Farben mit brennbaren Lösungsmittel	1111	3999,6
68	Färberei	139	500,4
69	Fässer, Holz	278	1000,8
70	Fässer, Kunststoff	167	601,2
71	Feinblech, Zerteilen und Verpacken	92	331,2
72	Feinmechanische Werkstatt	56	201,6
73	Fenster, Holz	222	799,2
74	Fenster, Kunststoff	167	601,2
75	Fernsehapparate	83	298,8
76	Fertigung von Omnibussen	86	309,6
77	Fette	278	1000,8
78	Filz	167	601,2
79	Fleischwaren	11	39,6
80	Flugzeuge	56	201,6
81	Fotoapparate	83	298,8
82	Fotofilme und -platten	278	1000,8
83	Fotolabor	83	298,8
84	Furniere	222	799,2
85	Futtermittel	556	2001,6
86	Garderobe, Holzkästen	111	399,6
87	Garderobe, Metallkästen	22	79,2
88	Gasglühkörper	56	201,6
89	Gips, Gipswaren	22	79,2
90	Glas	22	79,2
91	Glasschneidehalle	199	716,4
92	Glaswaren	56	201,6
93	Glaswaren, Glasmalerei	83	298,8
94	Glaswaren, Verarbeitung	199	716,4
95	Glühlampen	11	39,6
96	Goldschmiedewaren	56	201,6
97	Gummiwaren	167	601,2
98	Hartfaserplatten	83	298,8
99	Haushaltsgeräte	119	428,4
100	Haushaltsgeräte	83	298,8
101	Heizraum	83	298,8
102	Hochöfen	11	39,6
103	Holzwaren, Imprägniererei	833	2998,8
104	Holzwaren, Spritzlackiererei	139	500,4
105	Holzwohle	139	500,4
106	Installateurwerkstatt	28	100,8
107	Jalousien	222	799,2

Brandberechnung für Industriehallen

108	Jutewaren	111	399,6
109	Kabel	83	298,8
110	Kaffeerösterei	111	399,6
111	Kakaoprodukte	222	799,2
112	Karosserien, Metall	56	201,6
113	Karton	56	201,6
114	Kartonagen	222	799,2
115	Keramikwaren	56	201,6
116	Kerzen	361	1299,6
117	Kesselhaus	56	201,6
118	Kisten, Holz	278	1000,8
119	Kitte	278	1000,8
120	Klebstoffe	278	1000,8
121	Kleider	139	500,4
122	Kleinapparatebau	83	298,8
123	Kohlensäure	11	39,6
124	Korbwaren	83	298,8
125	Korkwaren	139	500,4
126	Kosmetika	83	298,8
127	Kraftwerk	56	201,6
128	Kugellager	56	201,6
129	Kühlschränke	278	1000,8
130	Kunstfasern	83	298,8
131	Kunstharze	944	3398,4
132	Kunstleder	278	1000,8
133	Kunstlederwaren	111	399,6
134	Kunststeine	11	39,6
135	Kunststoffe	556	2001,6
136	Kunststoffrohre	152	547,2
137	Kunststoffverarbeitung mit Thermodruckpresse	152	547,2
138	Kunststoffwaren	167	601,2
139	Kunststoffwaren, Spritzgießerei	139	500,4
140	Kunststoffwaren, Stanzerei	111	399,6
141	Labor, Chemie-	139	500,4
142	Labor, Elektro-	56	201,6
143	Labor, Zahntechnik	83	298,8
144	Lacke	1389	5000,4
145	Lackiererei	22	79,2
146	Lackiererei, Möbel	56	201,6
147	Lederwaren	139	500,4
148	Leichtmetall Fensterbau	92	331,2
149	Leuchtstoffröhren	83	298,8
150	Linoleum	111	399,6
151	LKW-Teile, Versand	94	338,4
152	Magazin (Werkstatt)	333	1198,8
153	Maler-Werkstatt	139	500,4
154	Marmelade	222	799,2
155	Marmorwaren	11	39,6
156	Maschinen	56	201,6
157	Maschinenbau	92	331,2
158	Maschinenteile, Lager	74	266,4
159	Matratzen	139	500,4
160	Mechanische Werkstatt	92	331,2
161	Mehl in Säcken	556	2001,6
162	Metallbearbeitung	56	201,6
163	Metallfolien	11	39,6

Brandberechnung für Industriehallen

164	Metallprofile, Verarbeitung	92	331,2
165	Metallwaren	56	201,6
166	Metallwaren, Härterei	111	399,6
167	Metallwaren, Spritzlackiererei	83	298,8
168	Mineralien	11	39,6
169	Möbel, Holz	139	500,4
170	Möbel, Stahl	83	298,8
171	Möbelfabrik	152	547,2
172	Motorenprüfstand	86	309,6
173	Motorrad, Vor- und Endmontage	86	309,6
174	Müllverbrennungsanlage	56	201,6
175	Musikinstrumente, hölzerne	167	601,2
176	Näherei	152	547,2
177	Nähmaschinen	83	298,8
178	Papier	56	201,6
179	Papierwaren	222	799,2
180	Pappe	83	298,8
181	Parfümeriewaren	83	298,8
182	Parkett	556	2001,6
183	Parkhaus	56	201,6
184	Pharmazeutische Erzeugnisse	56	201,6
185	Pinsel	194	698,4
186	Plattenspieler	83	298,8
187	Pneu	194	698,4
188	Polstermöbel, ausg. Schaumstoffe	139	500,4
189	Polyesterharze, Verarbeitung	152	547,2
190	Porzellan	556	2001,6
191	Presswerk und Zieherei	189	680,4
192	Presswerk, Ausschäumung von Al-Profilen	189	680,4
193	Radioapparate	83	298,8
194	Reifenmontage	86	309,6
195	Reparaturwerkstatt	111	399,6
196	Rohglaslager	74	266,4
197	Rohrgewebe	111	399,6
198	Rollladen	278	1000,8
199	Säcke, Jute	139	500,4
200	Säcke, Kunststoff	167	601,2
201	Säcke, Papier	222	799,2
202	Sägerei	111	399,6
203	Sägewerk	111	399,6
204	Salinenprodukte	22	79,2
205	Sanitär-Werkstatt	28	100,8
206	Särge, hölzerne	139	500,4
207	Sattlerei	83	298,8
208	Säuren, anorganisch	22	79,2
209	Schallplatten	167	601,2
210	Schaltwarte, Relaisraum o. Kabelunterboden	250	900
211	Schaltwarte, Relaisraum, mit Kabelunterboden	31	111,6
212	Schamottewaren	56	201,6
213	Schaumstoffe	833	2998,8
214	Schaumstoffwaren	167	601,2
215	Schiffe, Metall	56	201,6
216	Schilfwaren	111	399,6
217	Schirme	83	298,8
218	Schleifsteine	22	79,2
219	Schlosserei	56	201,6

Brandberechnung für Industriehallen

220	Schmiede	22	79,2
221	Schnüre	111	399,6
222	Schokolade	111	399,6
223	Schokolade, Conchensaal	278	1000,8
224	Schokolade, Packerei	139	500,4
225	Schreinerei, Möbel	167	601,2
226	Schuhe	139	500,4
227	Schuhpflegemittel	222	799,2
228	Segelflugzeuge	167	601,2
229	Seidentextilien	83	298,8
230	Seifen	56	201,6
231	Seilbahnen	83	298,8
232	Seilerwaren	83	298,8
233	Senf	111	399,6
234	Ski	111	399,6
235	Soda	11	39,6
236	Spanplatten	83	298,8
237	Spanplattenbeschichtung	222	799,2
238	Spedition, Blechwaren	56	201,6
239	Spedition, Drucksachen	472	1699,2
240	Spedition, Getränke	83	298,8
241	Spedition, Glaswaren	194	698,4
242	Spedition, Holzwaren, Kartonwaren	167	601,2
243	Spedition, Kunststoffartikel	278	1000,8
244	Spedition, Lacke	361	1299,6
245	Spedition, Lebensmittel	278	1000,8
246	Spedition, Möbel	167	601,2
247	Spedition, Textilien	167	601,2
248	Speiseeis	22	79,2
249	Speisefett; Speiseöl	278	1000,8
250	Spenglerei	28	100,8
251	Sperrholz	222	799,2
252	Spiegel	28	100,8
253	Spielfilmkopien	167	601,2
254	Spielwaren	139	500,4
255	Spinnerei	83	298,8
256	Spirituosen	139	500,4
257	Stahl	11	39,6
258	Stanzerei, Kunststoff, Leder	111	399,6
259	Stanzerei, Metall	28	100,8
260	Stärke	556	2001,6
261	Steinmetz	11	39,6
262	Stickereiwaren	83	298,8
263	Straßenbahnfahrzeuge	86	309,6
264	Strickwaren	83	298,8
265	Strohgewebe	111	399,6
266	Strümpfe	83	298,8
267	Tabakwaren	56	201,6
268	Tapeten, Tapezierwaren	222	799,2
269	Teerprodukte	222	799,2
270	Teigwaren	361	1299,6
271	Telefonapparate	111	399,6
272	Telefonzentrale	22	79,2
273	Teppiche	167	601,2
274	Textildruckerei	194	698,4
275	Thermoplaste, Verarbeitung	152	547,2

Brandberechnung für Industriehallen

276	Tiefkühlwaren	222	799,2
277	Tinten	56	201,6
278	Tischlerei, Zimmerei	194	698,4
279	Töpferei, Tonwaren	56	201,6
280	Traktoren	83	298,8
281	Transformatoren	83	298,8
282	Transformatorenwicklerei	167	601,2
283	Tresore	22	79,2
284	Trockenbatterien	111	399,6
285	Trockengemüse	278	1000,8
286	Türen, Holz	222	799,2
287	Türen, Kunststoff	194	698,4
288	Uhren	83	298,8
289	Verbandstoffe	111	399,6
290	Verpackungsmaterialien	92	331,2
291	Vulkanisieranstalt	278	1000,8
292	Waagen	83	298,8
293	Wachstuch	194	698,4
294	Wachswaren	1300	4680
295	Waffeln	83	298,8
296	Waffen	83	298,8
297	Waggons	56	201,6
298	Walzprodukte (ausgen. Blech und Draht)	28	100,8
299	Wäsche	139	500,4
300	Waschmaschinen	83	298,8
301	Waschmittel	83	298,8
302	Wasserwerk	22	79,2
303	Watte	83	298,8
304	Weinkeller	22	79,2
305	Wellkarton	222	799,2
306	Werkstatt (mechanische)	56	201,6
307	Werkzeuge	56	201,6
308	Zahnstocher	139	500,4
309	Zement	11	39,6
310	Ziegel- Trockenraum mit Holzrosten	111	399,6
311	Ziegel- Trockenraum mit Metallrosten	11	39,6
312	Ziegel, Presserei	56	201,6
313	Ziegel, Trockenofen mit Holzrosten	278	1000,8
314	Ziegel, Trockenofen mit Metallrosten	3	10,8
315	Ziegelbrennerei	11	39,6
316	Zimmerei	194	698,4
317	Zuckerwaren	222	799,2
318	Zündhölzer	83	298,8

Anhang B: Gastemperatur nach OZONE und daraus resultierende Stahltemperatur nach prEN 1993-1-2

*) Die Verwendung der Stahltemperatur für den Wellblechsteg ist nicht empfohlen

Zeit	Temperatur	
	Gas	Stahl*)
t	Θ_g	Θ_s
[min]	[°C]	[°C]
0	20,0	20,0
1	32,4	20,5
2	47,7	22,4
3	64,9	25,5
4	84,4	30,2
5	103,9	36,4
6	122,2	43,8
7	143,6	52,5
8	164,9	62,6
9	187,5	74,0
10	211,5	86,8
11	236,9	101,2
12	263,8	117,1
13	292,1	134,7
14	311,4	153,6
15	334,5	173,3
16	363,9	194,5
17	394,5	217,7
18	425,7	243,1
19	457,3	270,7
20	488,9	300,4
21	753,8	359,0
22	774,6	450,7
23	797,7	529,7
24	822,3	597,3
25	847,9	655,7
26	873,8	704,1
27	900,1	733,4
28	926,7	752,1
29	953,6	800,7
30	980,7	861,1
31	1007,6	917,5
32	1034,0	964,8
33	1059,7	1004,6
34	1084,4	1038,9
35	1107,8	1069,3
36	1129,9	1096,6
37	1150,5	1121,5
38	1169,6	1144,1
39	1187,3	1164,9
40	1203,6	1183,8
41	1218,5	1201,0
42	1232,3	1216,8
43	1244,9	1231,1
44	1256,4	1244,2

Brandberechnung für Industriehallen

45	1267,0	1256,1
46	1276,7	1266,9
47	1285,6	1276,8
48	1293,8	1285,9
49	1301,3	1294,1
50	1308,2	1301,7
51	1314,6	1308,7
52	1320,5	1315,1
53	1325,9	1321,0
54	1330,9	1326,4
55	1335,6	1331,5
56	1340,0	1336,2
57	1344,0	1340,5
58	1347,8	1344,5
59	1351,3	1348,3
60	1354,6	1351,8
61	1357,8	1355,2
62	1360,7	1358,3
63	1363,5	1361,2
64	1366,1	1363,9
65	1368,6	1366,5
66	1370,9	1369,0
67	1373,1	1371,3
68	1375,3	1373,5
69	1377,3	1375,7
70	1379,2	1377,7
71	1380,7	1379,4
72	1378,6	1379,5
73	1374,3	1377,0
74	1368,1	1372,4
75	1360,2	1365,9
76	1350,8	1357,9
77	1340,0	1348,4
78	1328,1	1337,6
79	1315,1	1325,7
80	1301,1	1312,9
81	1286,2	1299,1
82	1270,6	1284,5
83	1254,2	1269,2
84	1237,2	1253,3
85	1219,6	1236,8
86	1201,4	1219,7
87	1182,6	1202,1
88	1163,4	1184,1
89	1143,7	1165,6
90	1123,5	1146,7
91	1102,8	1127,5
92	1081,8	1107,9
93	1060,3	1088,0
94	1038,4	1067,8
95	1016,2	1047,3
96	993,5	1026,5
97	970,4	1005,5
98	946,9	984,1
99	923,0	962,6
100	898,6	940,8

Brandberechnung für Industriehallen

101	873,9	918,7
102	848,7	896,5
103	823,1	874,3
104	797,0	852,4
105	770,3	830,7
106	743,2	809,5
107	715,6	789,1
108	687,3	770,1
109	658,5	753,5
110	629,0	741,2
111	598,8	734,1
112	567,9	722,8
113	536,2	700,3
114	503,7	671,8
115	469,9	641,8
116	434,8	611,8
117	399,4	582,4
118	378,2	553,9
119	359,8	527,4
120	343,5	502,8