

Anhang 1:

Brandkonzept: PV-SÜD-Brandfall unter
Einhausung – Balda Engineering &
Consulting im Auftrag von AIT



PVSÜD

Brandfall unter Einhausung

Temperatureinwirkungen und Rauch- / Wärmeabzug

BE2020FB34_1 / 01 / 26.01.2021

Auftraggeber:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 2
A-1210 Wien



Ersteller: F. Balda - office@balda.at

Änderungsgeschichte

Revision	Datum	Bearbeiter	Änderung
00	30.11.2020	FB	Neuerstellung als Entwurf
01	26.01.2021	FB/TO	Ergänzung Simulationsergebnisse

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung	4
1.1. Eingangsdaten	4
2. Brandlast.....	6
2.1. Normative Vorgaben DACH.....	8
3. Zu erwartende Temperaturen im Bereich oberhalb des Brandortes.....	9
4. Simulationsrechnungen.....	10
4.1. Gewählte Randbedingungen	10
4.1.1. Brandquelle	11
4.2. Randbedingungen Konstruktion.....	11
4.3. Rechengitter	12
4.4. Ergebnisse 30 MW.....	13
4.5. Ergebnisse 5 MW.....	16
5. Anhang - detaillierte Vorgaben der Richtlinien DACH.....	18
5.1. Vorgaben aus der RVS (Österreich).....	18
5.2. Vorgaben aus der RABT / EABT (Deutschland).....	18
5.3. Vorgaben aus der ASTRA (Schweiz).....	19
6. Verzeichnisse.....	20
6.1. Grundlagen	20
6.2. Tabellenverzeichnis	20
6.3. Abbildungsverzeichnis.....	20

1. Problemstellung

Im Zuge des Projektes PV-SÜD wird die Machbarkeit und der Nutzen einer Fahrbahnüberdachung in Ständerkonstruktion mit Eindeckung aus PV-Modulen untersucht. Unter diesen Solarstraßen bewegt sich der reguläre Verkehr, unabhängig von der geplanten Einhausung.

In Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens ist es statistisch erwartbar, dass es auch im Bereich dieser Überdachung ein Brandereignis eintritt und die Brandquelle unter der Konstruktion zum Stehen kommt. Dies kann durch einen Unfall, häufiger jedoch ohne Beteiligung weiterer Fahrzeuge geschehen.

Die so entstehenden Brandlasten bilden eine hohe Bandbreite ab. Von kleinen Brandlasten wie Zweiräder oder PKW mit Motorbränden bis hin zu Bränden von Gefahrguttransporten als außergewöhnliche Ereignisse. In diesem Konzeptpapier soll in einem ersten Schritt die Normenlandschaft zu möglichen Brandlasten untersucht werden.

Ziel dieses Konzeptpapiers ist es einen Maßstab zu finden, um abschätzen zu können, wie sich ein möglicher Brand unter der Einhausung verhält und in weiterer Folge welche Temperaturen auf die darüber liegende Konstruktion einwirken. Durch die ermittelte Brandlast und die Rauchfreisetzung können die Rauchgasmengen abgeschätzt werden und die erforderlichen Rauchabzugsöffnungen definiert werden.

1.1. Eingangsdaten

Gesamtlänge: **80 m** unterteilt auf 4 Module a 20 m

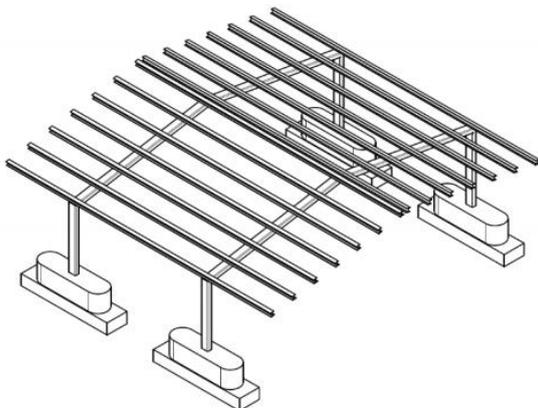
Spannweite: **17 m**

Lichte Durchfahrtshöhe **5,5 m**

Neigung Module gegen die Horizontale: **5°**

Es kann sowohl vollkommen, dass die Überdachung **seitlich**

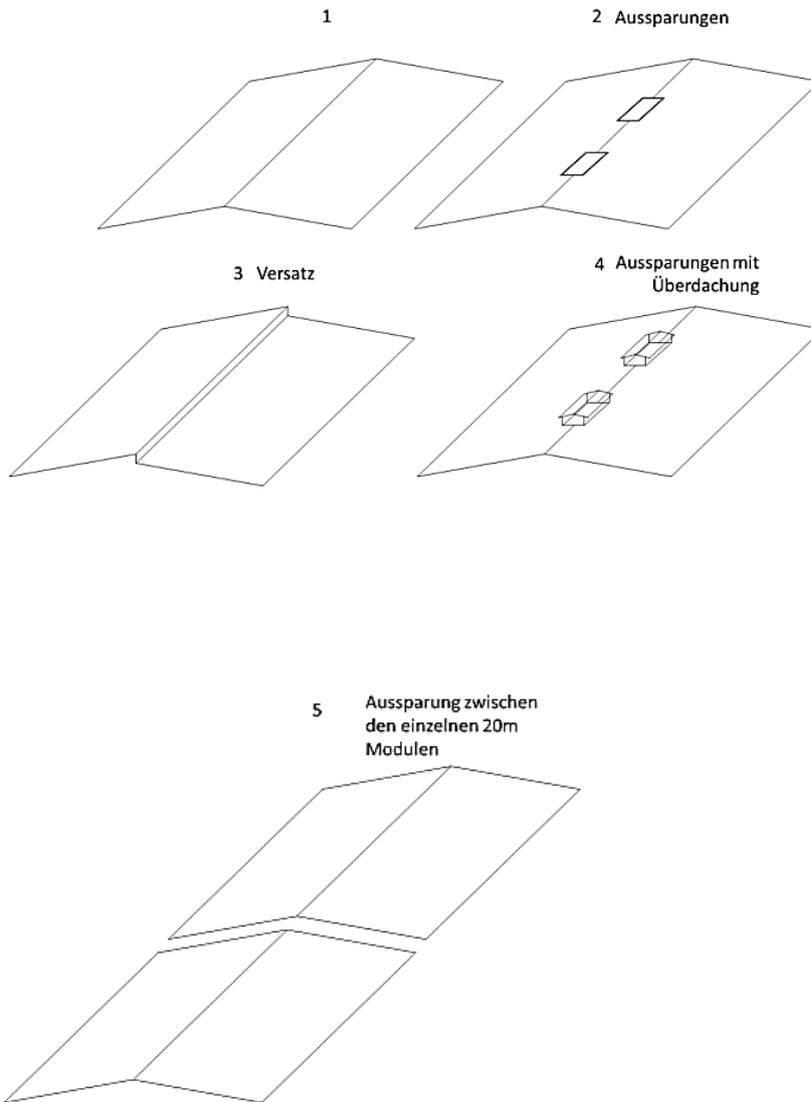
- **völlig offen** wie auch
- durch eine **Lärmschutzwand verbaut** ist.



2 Grundgeometrien im Querschnitt:

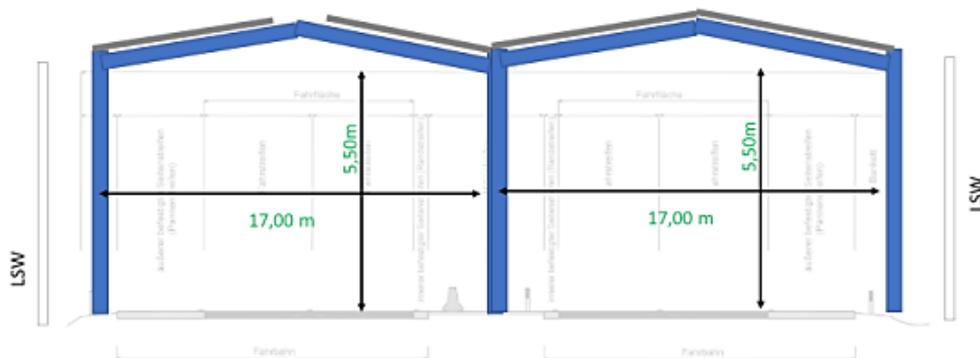
- **Satteldach**
- **Pulldach**

Möglichkeiten der Ausbildung des Satteldaches:

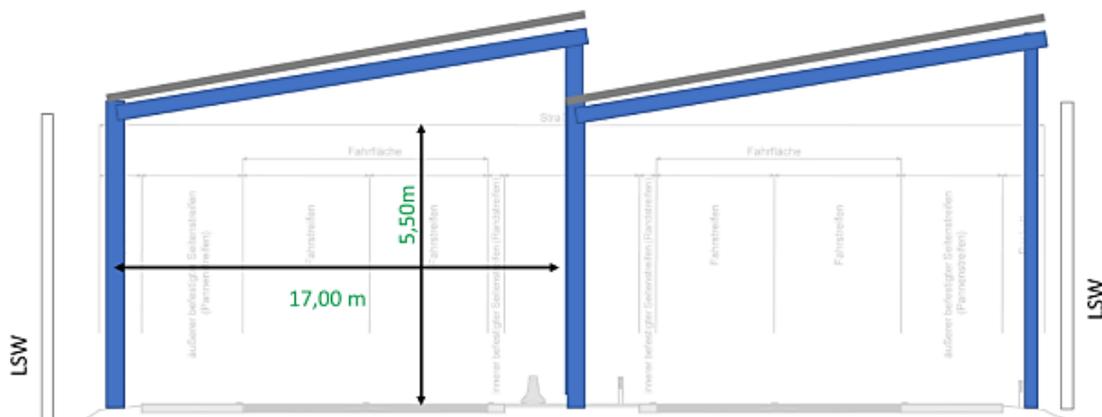


Schedtdach

Beispiel Straßenbreite lt. RVS 03 03 31



Möglichkeiten der Ausbildung des Pultdachs bei Überspannung beider Fahrrichtungen (gesamtbreite ca. 34 m):



2. Brandlast

Die Brandlast ist durch den Brand freigesetzte Energie in Form von Wärme. In der Bauphysik wird dies zumeist durch den spezifischen Heizwert bezogen auf die Gebäudefläche ermittelt oder erfolgt mit Hilfe von Temperatur-Zeit-Kurven. Auf Verkehrsanlagen ist dies nicht einfach möglich, da es sich bei einem Brandereignis um eine unbekannte Brandquelle sowie um ein lokales Ereignis handelt. Deshalb wird ausschließlich die maximale Brandlast herangezogen.

Aufgrund der Tatsache, dass für Freilandstrecken so gut wie keine konstruktiven Anforderungen aufgrund von Fahrzeugbränden erforderlich sind, liegen diesbezüglich keine relevanten Angaben vor. Für Straßentunnel hingegen gibt es durchwegs gute Richtlinien basierend auf detaillierten Forschungsergebnissen, welche als Konsequenz aus großen Tunnelbränden wie Tauerntunnel (1999) und Mont-Blanc-Tunnel (1999) entstanden sind.

Daher wird in weiterer Folge auf Normen und Richtlinien für Straßentunnel Bezug genommen, da die Verkehrsstärke und auch die Zusammensetzung jener des Freilands entspricht. Tunnelspezifische Einflussfaktoren (wie z. B. Sauerstoffmangel) finden sich in der vorgegebenen Brandlast nicht wieder, diese werden üblicherweise erst in der späteren Modellierung berücksichtigt.

Um eine Kategorisierung der Brandlast zu erlangen kann die Einteilung gemäß World Road Association (PIARC) herangezogen werden.

Tabelle 1: Brandlast in Abhängigkeit der Fahrzeugkategorie PIARC [1]

Vehicle Type	Peak HRR (MW)
Passenger car	5 – 10
Light duty vehicle	15
Coach, bus	20
Lorry, heavy-goods vehicle up to 25 tonnes*	30 – 50
Heavy-goods vehicles typically 25-50 tonnes*	70 – 150
Petrol tanker	200 – 300

Die in der Tabelle 1 angeführte Brandlast entspricht der maximalen Freisetzungsrate. Diese ist für den Bemessungsfall in weiten Teilen ausreichend.

Im realen Brandfall muss üblicherweise die Entwicklung des Brandes in unterschiedlichen zeitabhängigen Bereichen eingeteilt werden. Auf die Initialphase folgt ein Anstieg der Brandlast über eine Rampe bis hin zur maximalen Brandlast. Nach dem voll entwickelten Brand folgt eine kontinuierliche Reduktion der Brandlast bis zum Brandende. Der idealisierte Verlauf eines Brandes kann der Abbildung 1 entnommen werden.

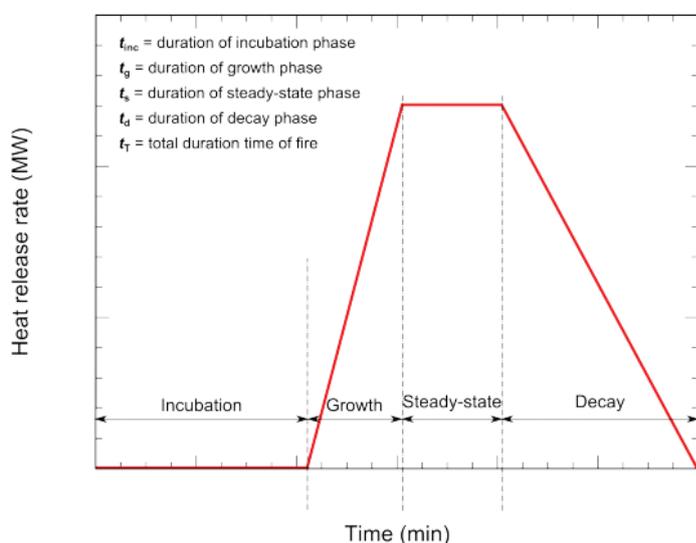


Abbildung 1: Idealisierte Wärmefreisetzungskurve PIARC [1]

2.1. Normative Vorgaben DACH

Im Europa, insbesondere im Bereich DACH sind die Vorgaben zu maximalen Brandlasten eindeutig in den betreffenden Normen und Richtlinien zur Bemessung von Tunnelbränden definiert. Zudem geben die Richtlinien Vorgaben zu Quellraten des Rauchgases. Die Übersicht kann der Tabelle 2 entnommen werden. Die detaillierte Beschreibung ist im Anhang (Kap. 0) zu finden.

Tabelle 2: Übersicht Bemessungsbrandlasten für Tunnelanlagen DACH

Richtlinie		Brandlast	Entscheidungskriterium	Quellraten Rauchgas definiert
RVS	Österreich	5 / 30 / 50 MW	Verkehrszusammensetzung	Ja
RABT /EABT	Deutschland	30 / 50 / (100 MW)	Km-Fahrleistung Schwerverkehr	Ja
ASTRA	Schweiz	30 MW	-	Ja

Die idealisierte Wärmefreisetzungskurve ist ausschließlich in der RVS [3] definiert, wo diese als Basis für 3D-CFD-Simulationen in Verbindung mit einem Evakuierungsmodell angewandt wird.

Bei der Auswahl der anzuwendenden Brandlast ist das akzeptierte Risiko zu beachten. Die RVS 09.01.45 [7] gibt für Tragwerke vor, dass ungünstige Brandfälle erfasst werden müssen, aber nicht alle möglichen Brandfälle abgedeckt werden müssen. Die in der RVS 09.01.45 [7] vorgegebenen Temperatur-Zeitkurven basieren durchwegs auf tunnelspezifischen Randbedingungen. Die Anwendung dieser TZ-Kurven (HC oder HC_{incr}) auf die vorliegende Konstruktion würde zu einer Überbemessung der Konstruktion führen, jedoch alle normativen Brandfälle abdecken.

In Anbetracht der Zeitdauer aufgrund der durchschnittlichen Branddauer von Fahrzeugen erscheint die ZTV-Kurve für den vorliegenden Fall am geeignetsten. Zumal im Freiland mit einem schnelleren Angriff der Feuerwehr in allen Brandsituationen zu rechnen ist. Zusätzlich ist die Erreichbarkeit der Brandstelle immer gegeben.

3. Zu erwartende Temperaturen im Bereich oberhalb des Brandortes

Für Tunnelanlagen wurden unterschiedliche Realbrandversuche in Stollen durchgeführt. Im Zuge dieser Versuche wurden die auftretenden Temperaturen erfasst und sind hinreichend bekannt. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht auf die Einhausung umlegen, da hier überwiegend abweichende Randbedingungen herrschen und andere lokale Temperaturen erwartet werden.

Die maximale Brandlast aus den Tunnelvorgaben gibt einen ungefähren Aufschluss über die maximal zu erwartenden Temperaturen über dem Brandherd und außerhalb der Flamme im Bereich der Einhausung. Aus den in der DACH Region üblicherweise zur Bemessung von Tunnelanlagen vorgegebenen Wärmefreisetzungsraten kann überschlägig die Temperatur zentral über den Flammen (plume centerline temperature) ermittelt werden. Die Berechnung erfolgte nach Heskestad (SFPE) [6].

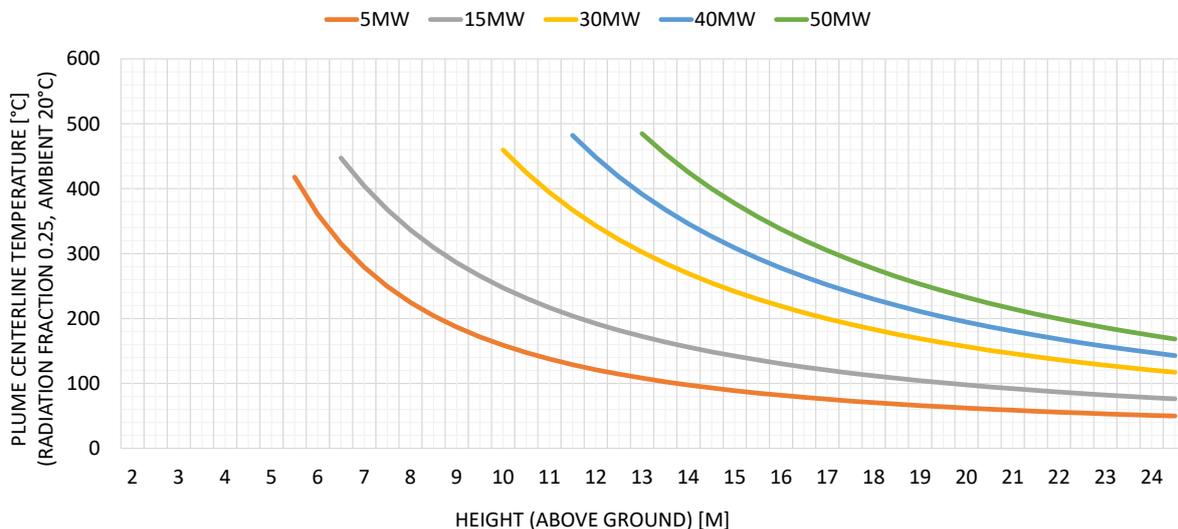


Abbildung 2: Temperaturen über dem Brandort

Zu beachten ist, dass sich die Brandquelle auf der Ebene der Fahrbahn befindet. Bei Ladegutbränden von LKW kann sich der Ursprung aufgrund der Fahrzeughöhe deutlich verschieben.

Es ist erkennbar, dass ab einer thermischen Freisetzungsrate von rund 15 MW die Flammen bis zur Dachkonstruktion der Einhausung reichen können. Bei Brandlasten darunter ist mit Rauchgastemperaturen im Bereich von 450°C an der Konstruktion zu rechnen. Unter Berücksichtigung einer Wärmefreisetzungsrate lassen sich die Temperaturen über die Branddauer (Temperatur-Zeitkurven) überschlägig ermitteln. Parameter wie Rauchgasstau im Firstbereich oder Frischluftzufuhr (Abkühlung) durch meteorologische Einflüsse werden damit nicht berücksichtigt.

Sind die Temperaturen an den Bauteilen selbst unter Berücksichtigung der tatsächlichen Entlüftungsöffnungen und geometrischen Randbedingungen erforderlich so ist das durch Analyse der Situation mit Hilfe eines dreidimensionalen CFD Modells geeigneter und genauer abschätzbar.

4. Simulationsrechnungen

In der zuvor durchgeführten analytischen Berechnungen können auftretende dreidimensionale Effekte im Brandfall nicht ausreichend abdeckt werden. Die genauere Bestimmung der Bauteiltemperaturen sowie die Bewertung der Rauchausbreitung sowie die aufgenommene Schadstoffmenge der Personen (FED*) im Zuge eines Brandereignisses wurden dreidimensionale Simulationen durchgeführt. Die komplexen Strömungssimulationen basieren auf Navier-Stokes-Gleichungen. Das sind gekoppelte inhomogene Differentialgleichungen auf den Prinzipien der Massen-, Impuls- und Energieerhaltung. Bei dem verwendeten CFD-Modell handelt es sich um den Fire Dynamics Simulator (FDS), welcher für die Simulation von Bränden und insbesondere für die Simulation von Rauchausbreitungen entwickelt wurde. FDS wird durch das NIST [8] sowie international Mitarbeitenden herausgegeben. Bei FDS handelt es sich um eine anerkannte und validierte Standardsoftware für die Berechnung von Tunnelbränden. Zur Anwendung gelangte die Version 6.7.1.

*FED: Die aufgenommene Schadstoffmenge der Personen wird durch FED (fractional effective dose) nach Purser [10] quantifiziert. Dieser Wert beschreibt kumulativ die aufgenommene Schadstoffmenge einer Person, auch Intoxikation genannt. Die erforderlichen Schadstoffdaten stammen aus der 3D-FDS Simulation. Analog zu den Schadstoffen wird auch die Wärmebelastung der Personen durch Konvektion und Strahlung, ebenfalls aus gleicher Quelle, ermittelt und über die Zeit akkumuliert. Sobald ein FED-Wert, thermisch oder toxisch, von 1 überschritten ist, wird diese Person als fluchtunfähig gewertet.

4.1. Gewählte Randbedingungen

Die gewählten Annahmen basieren auf Normen, Richtlinien und Erfahrungen und wurden möglichst realitätsnah getroffen. Dennoch verbleiben bei Strömungssimulationen immer Unsicherheiten und Unschärfen in den Ergebnissen.

Für die Simulation der Brandfälle wurden folgende Randbedingungen angewandt:

- Initialtemperatur 12 °C, Initialdruck 1013 hPa
- Kein Windeinfluss
- Brandquelle 5 MW bzw. 30 MW
- Grundlegende Bauwerksgeometrie und Materialeigenschaften der Konstruktion
- Rechengitter 50 x 25 x 25 cm

Auf der Basis der Dauer von 15 bis 20 Minuten für eine eventuelle Selbstrettungsphase der Beteiligten Personen im Ereignisfall wurde die Simulationsdauer mit 33 Minuten gewählt. Diese setzt sich aus einer Vorlaufzeit und einer angenommenen Dauer der Selbstrettungsphase zusammen. Die Vorlaufzeit aufgrund instationärer Strömungseffekte (Verwirbelungen, ungleichmäßiges Strömungsprofil, usw.) zu Beginn der Simulation war nicht erforderlich, da keine meteorologischen Randbedingungen (wie Strömung durch Wind) berücksichtigt wurden. Dies wurde unter der Annahme gewählt, dass eine Strömung die Rauchgase verdünnen und somit die Temperatureinwirkung auf die Bauteile verringern würde.

4.1.1. Brandquelle

Die Positionierung der Brandquelle wurde in etwa auf der ersten Fahrspur gewählt. Die Brandquelle wurde mit einer Fläche von 2 m x 7 m (Breite x Länge) bei 30 MW und 2 m x 6 m (Breite x Länge) bei 5 MW definiert und in Segmente unterteilt.

Entsprechend der Dimensionierungsbrände wurde die Brandleistung mit 5 MW bzw. 30 MW gewählt. Ebenso wurde der Brandwirkungsgrad in Übereinstimmung mit der RVS 09.02.31 [3] mit 0.75 angenommen. Um der zeitlichen Entwicklung eines Brandes Rechnung zu tragen, wurde die Wärme ebenso mit einem zeitlichen Verlauf freigesetzt. Dafür wurde die Simulation zum Zeitpunkt -0 s gestartet und auch das Brandereignis zum Zeitpunkt 0. Der zeitliche Verlauf der Brandentwicklung entspricht dabei einem linearen Anstieg bis zur maximalen Brandleistung. Die vorgegebene Brandrampe wurde über eine Zeitdauer von 300 s gewählt, das heißt, dass zum Zeitpunkt die volle Brandleistung von 5 MW bzw. 30 MW erreicht ist und im weiteren zeitlichen Verlauf konstant bleibt. Als Brandmedium wurde N-Octan mit einem spezifischen Heizwert von 40 000 kJ/kg verwendet. Durch die vorgegebene Wärmefreisetzungsrate (HRR) von 5 MW bzw. 30 MW wird die Abbrandrate des Brennstoffes berechnet. Die Freisetzungsraten entsprechen der RVS 09.03.11 [9].

4.2. Randbedingungen Konstruktion

Die Trägerkonstruktion wurde aus Stahl angenommen, wobei dem Umstand Rechnung getragen wurde, dass die Träger als Formrohre ausgeführt sind. Die Deckplatte (Dach) der Konstruktion wurde als Glas definiert. Die angrenzende Lärmschutzwand wurde als Holz gewählt. Die Materialeigenschaften wurden gemäß Definition berücksichtigt.

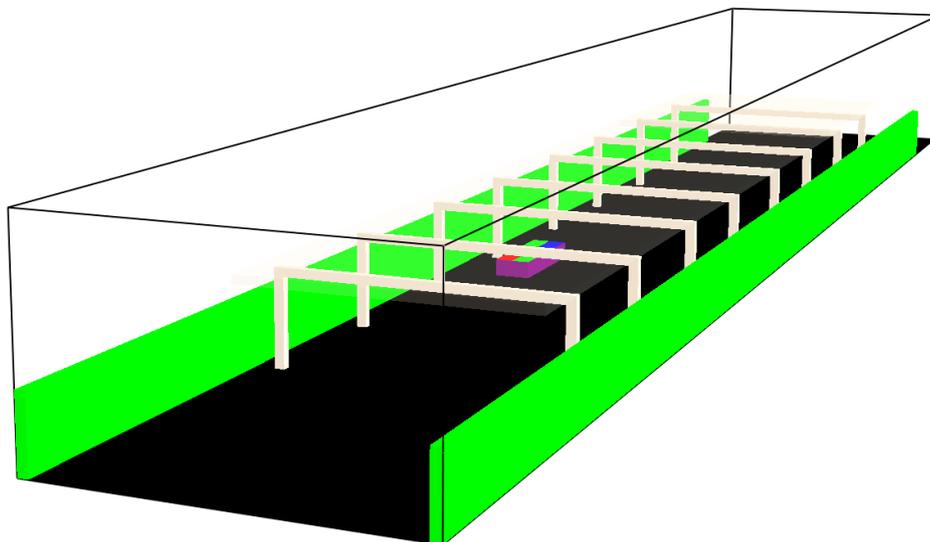


Abbildung 3: Vereinfachte Konstruktion in Simulationsumgebung

4.3. Rechengitter

In FDS können ausschließlich geradlinige Rechengitter angewandt werden. Das verwendete Rechengitter ist daher rechteckig und wird in ebenso quaderförmige Rechenzellen unterteilt. Je nach Anwendungsfall wird eine bestimmte Zellgröße und damit auch die Auflösung des Rechengitters ausgewählt. Kleine Zellgrößen ergeben eine feinere Auflösung und eine hohe Zellenzahl. Die Zellenanzahl hat wiederum einen direkten Einfluss auf die Rechenzeit. Je größer die Zellenanzahl desto größer der Rechenaufwand. Für die vorliegenden Simulationen wurde eine Zellengröße von 0.5 m x 0.25 m x 0.25 m (Länge in Tunnellängsachse x Breite x Höhe) ausgewählt.

Die Zellgröße hat einen erheblichen Einfluss auf die Simulationsergebnisse, somit muss eine Zellgröße gefunden werden, die einen Kompromiss zwischen Rechenzeit und Genauigkeit schafft. In den vorliegenden Simulationen wurde die Zellgröße aufgrund von Erfahrungswerten gewählt. Grundsätzlich sollte eine Netzunabhängigkeitsanalyse durchgeführt werden oder die Simulation anhand von Versuchen validiert werden.

4.4. Ergebnisse 30 MW

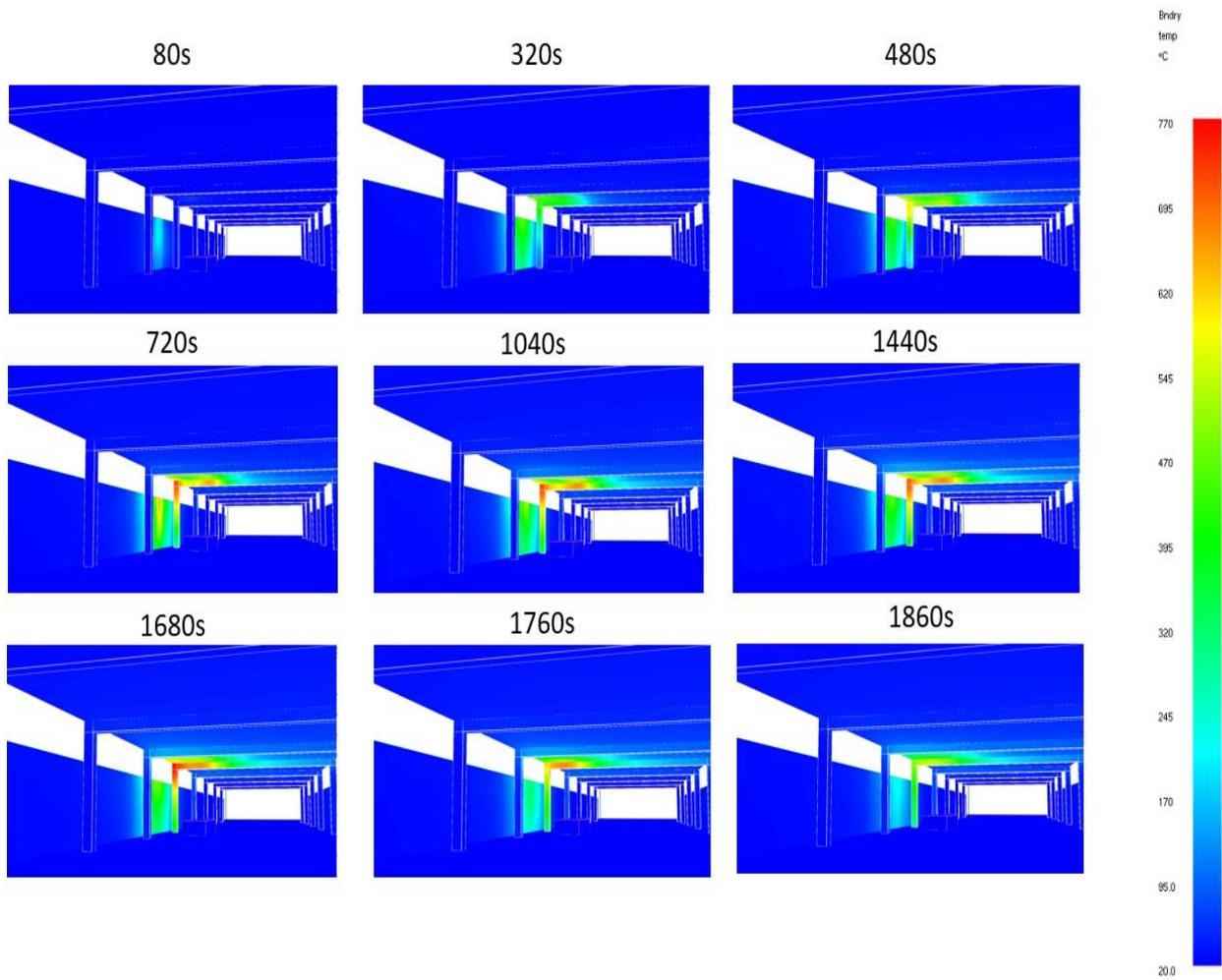


Abbildung 4: Temperaturverteilung in Abhängigkeit der Zeit – 30 MW

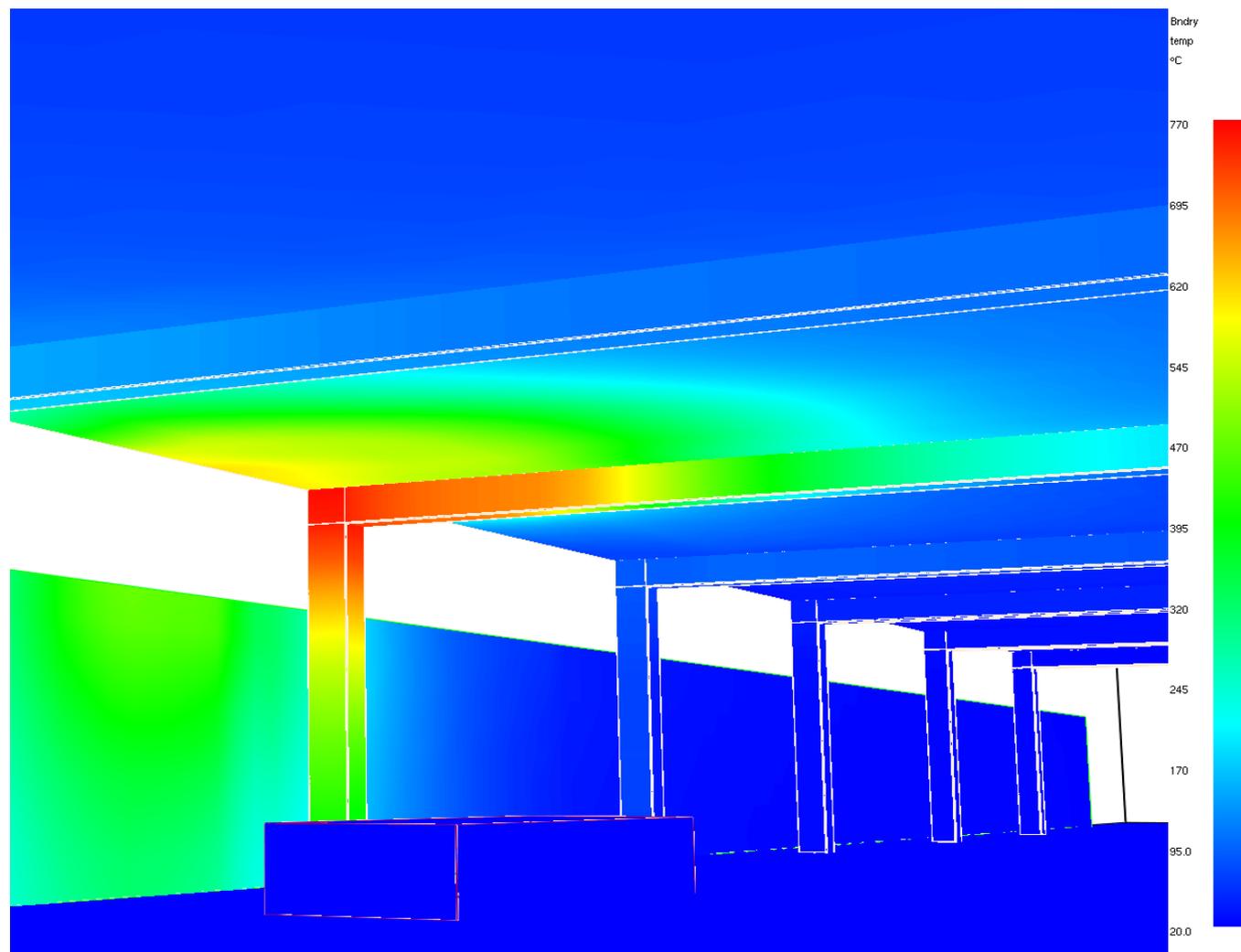


Abbildung 5: Lokale maximale Temperatur – 30 MW

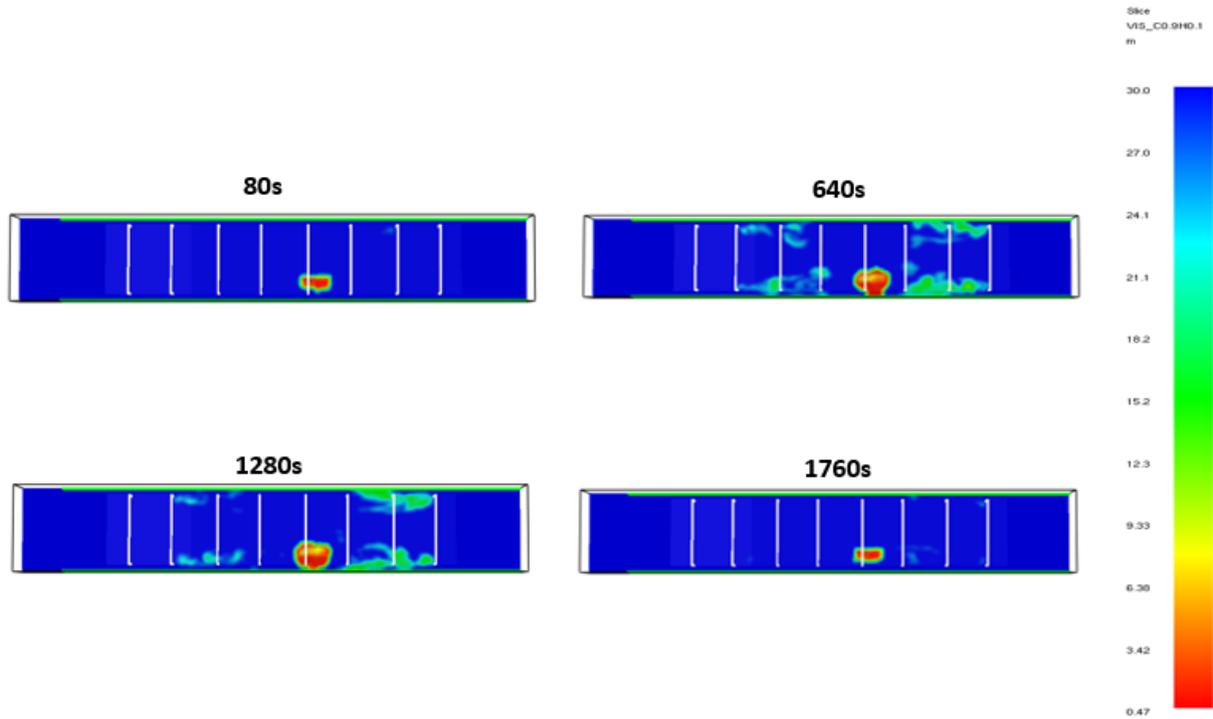


Abbildung 6: Sichtweite bedingt durch Rauch (1.6 m) in Abhängigkeit der Zeit – 30 MW

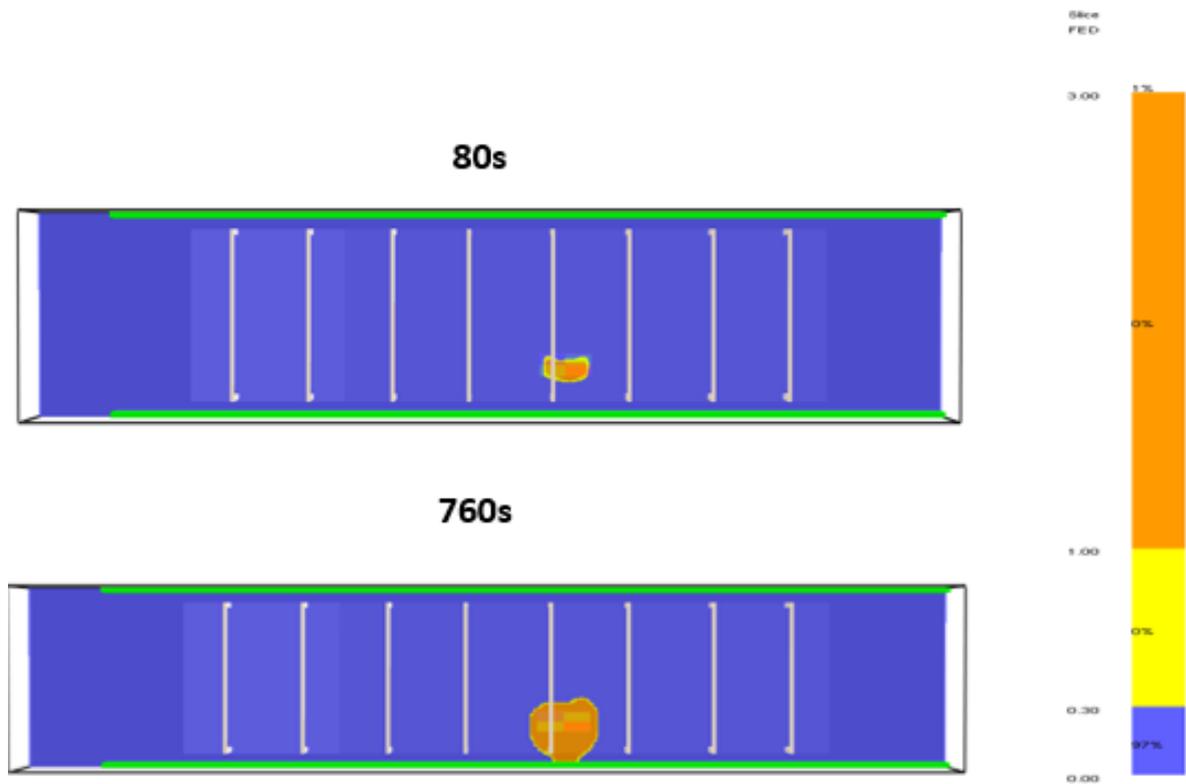


Abbildung 7: FED (1.6m) in Abhängigkeit der Zeit – 30MW

4.5. Ergebnisse 5 MW

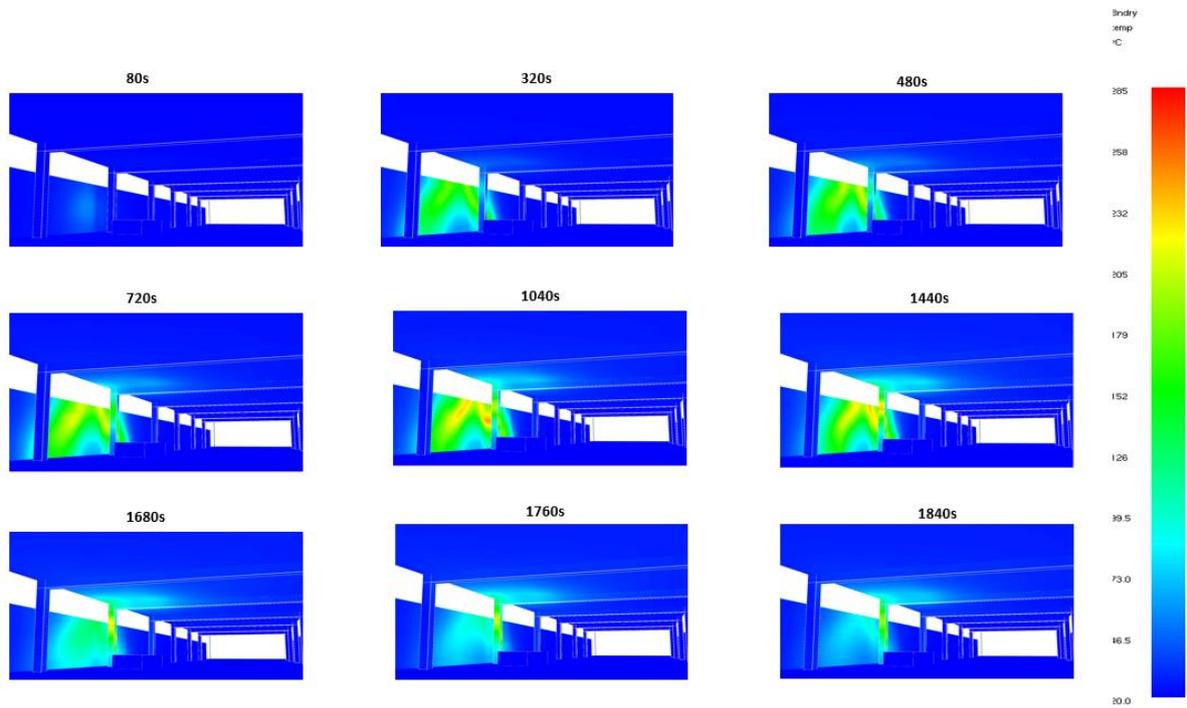


Abbildung 8: Temperaturverteilung in Abhängigkeit der Zeit – 5 MW

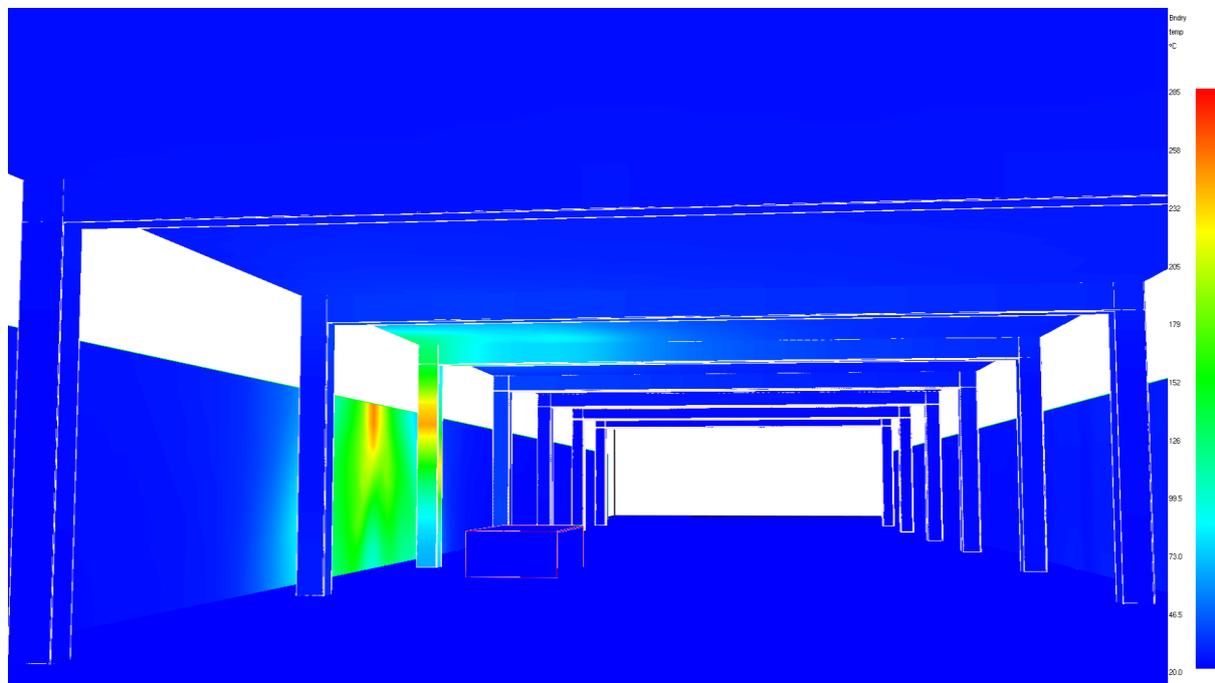


Abbildung 9: Lokale maximale Temperatur – 5 MW (285°C)

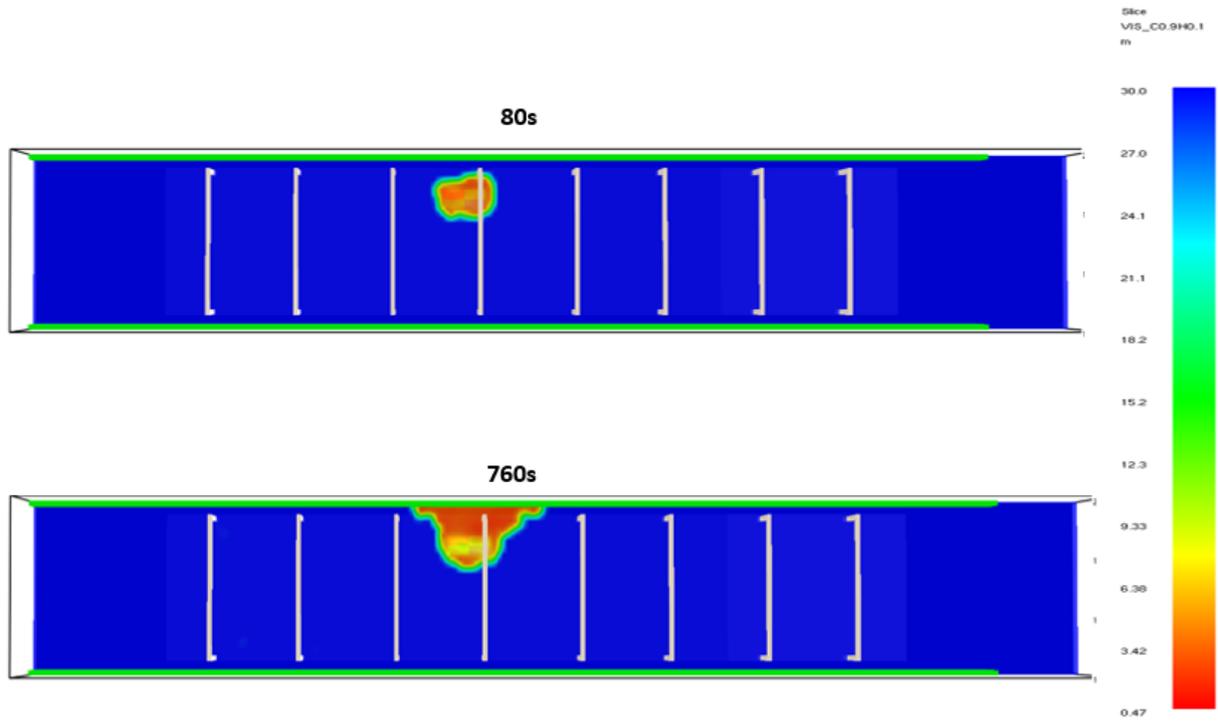


Abbildung 10: Sichtweite bedingt durch Rauch (1.6m) – 5 MW

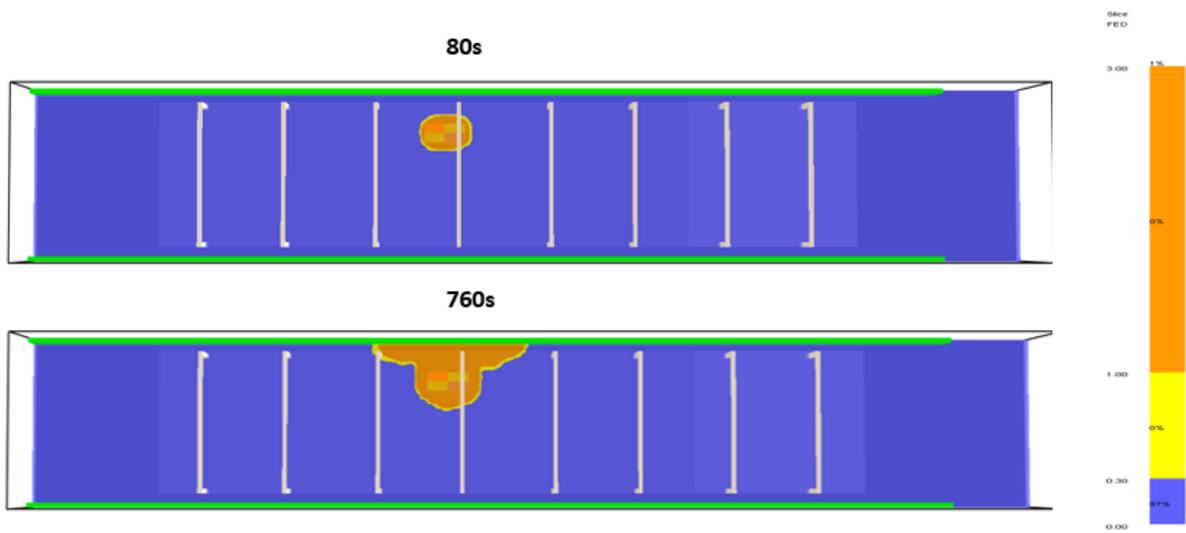


Abbildung 11: FED (1.6m) – 5 MW

5. Anhang - detaillierte Vorgaben der Richtlinien DACH

5.1. Vorgaben aus der RVS (Österreich)

Die RVS [2] ist in Österreich zwingend für die Bemessung von Tunnelanlagen im Bereich von Schnellstraßen und Autobahnen heranzuziehen. Im Regelfall erfolgt auch die Dimensionierung von Landestunneln auf Basis dieser Richtlinie.

Die maximal auftretende Brandlast wird durch die Verkehrszusammensetzung definiert. Reiner PKW-Verkehr ohne Schwerverkehrsanteil weist eine Brandlast von 5 MW auf. Bis zu einem Schwerverkehrsanteil von 15 % ist mit einer Brandlast von 30 MW zu rechnen, darüber mit 50 MW. Die Quellraten für CO, CO₂, HCN, und Ruß sowie der Zeitbedarf bis zum Erreichen der Brandlast werden in der RVS [3] definiert.

Tabelle 3: Quellraten und Zeitbedarf RVS [3]

Brandgröße	5 MW	30 MW	100 MW
Quellraten:			
CO ₂ [kg/s]	0,46	2,8	9,2
CO [kg/s]	0,018	0,108	0,36
HCN [kg/s]	0,0045	0,027	0,09
Rußanteil [kg/kg]*)	0,1	0,1	0,1
Zeitdauer [s]	180	300	420

5.2. Vorgaben aus der RABT / EABT (Deutschland)

Die Vorgaben der deutschen RABT [4] basieren ebenfalls auf der Verkehrszusammensetzung. Dazu wird die Schwerverkehrsfahrleistung je Tag und Röhre betrachtet. Davon abhängig muss eine Brandlast von 30, 50 oder 100 MW berücksichtigt werden. Wobei in der Praxis eine Bemessung auf eine Brandlast von 100 MW nur in Sonderfällen herangezogen wird.

Tabelle 4: Bemessungsbrandleistung RABT [4]

LKW x km/Tag und Röhre	Brandleistung	Rauchgasmenge (Q _{Rauch}) bei 300°C
bis 4.000	30 MW	80 m ³ /s
über 4.000	50 MW	120 m ³ /s
über 6.000	Risikoanalyse und gegebenenfalls Erhöhung der Brandleistung auf 100 MW und der Rauchgasmenge auf 200 m ³ /s	

5.3. Vorgaben aus der ASTRA (Schweiz)

Die ASTRA stellt die bindende Richtlinie der Schweiz mit dem Geltungsbereich von Straßentunneln dar. Grundsätzlich wird von der Richtlinie eine Berücksichtigung der Brandlast von 30 MW gefordert. In Sonderfällen sind abweichende Brandlasten zu untersuchen.

Tabelle 5: Brandlasten gem. ASTRA [5]

	Ereignis	
	Schadstoff-Freisetzung	Lastwagenbrand
Brandleistung nominal	0 MW	30 MW
Freigesetzte Energie	0 GJ	30 GJ
Freisetzung gefährdender Gase	20 m ³ /s	80 m ³ /s
Dauer	≥ 20 min	≥ 60 min

6. Verzeichnisse

6.1. Grundlagen

- [1] 2017R01EN, Design fire characteristics for road tunnels, Technical Committee 3.3
- [2] RVS 09.02.31 Tunnel, Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen, Ausgabe Juni 2014
- [3] RVS 09.03.11 Tunnel, im Bereich von Schnellstraßen und Autobahnen, Abänderung, Oktober 2019
- [4] RABT Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, 2016
- [5] ASTRA 13001, Lüftung der Strassentunnel, Bundesamt für Strassen ASTRA, V2.03 2008
- [6] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition, SFPE Educational & Scientific Foundation, 2016
- [7] RVS 09.01.45, Tunnelbau, Baulicher Brandschutz in Straßenverkehrsbauten, Ausgabe Oktober 2015
- [8] NIST - National Institute of Standards and Technology
- [9] RVS 09.03.11 Tunnel, Sicherheit, Tunnel-Risikoanalysemodell, Ausgabe 1.April 2015 und Ergänzungen danach.
- [10] D. A. Purser, „Modeling time to incapacitation and death from toxic and physical hazards in aircraft fires,“ *AGARD*, Bd. 467, pp. 41/1-41/12, 1989

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Brandlast in Abhängigkeit der Fahrzeugkategorie PIARC [1].....	7
Tabelle 2: Übersicht Bemessungsbrandlasten für Tunnelanlagen DACH.....	8
Tabelle 3: Quellraten und Zeitbedarf RVS [3].....	18
Tabelle 4: Bemessungsbrandleistung RABT [4]	18
Tabelle 5: Brandlasten gem. ASTRA [5]	19

6.3. Abbildungsverzeichnis

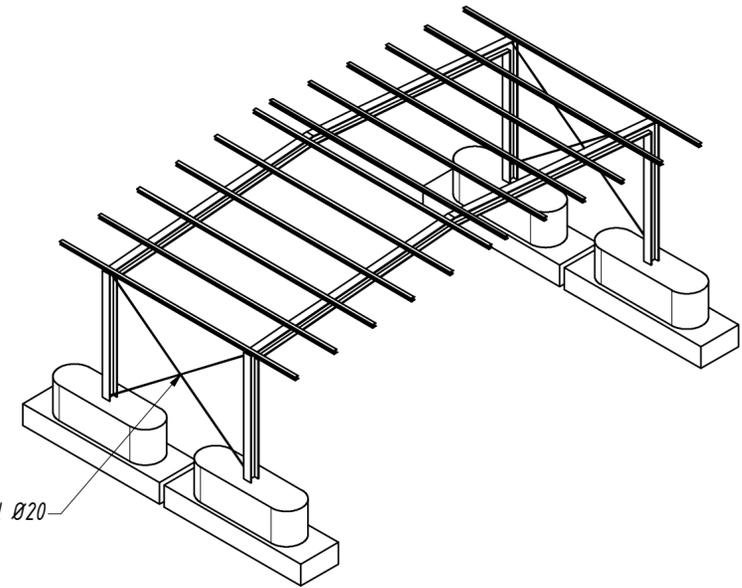
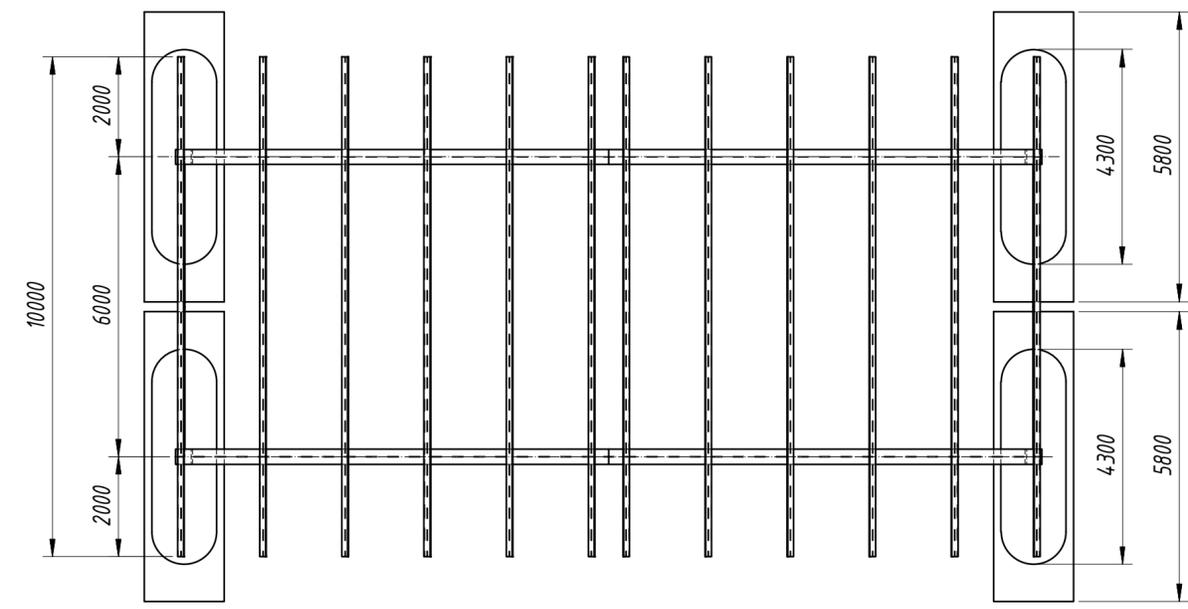
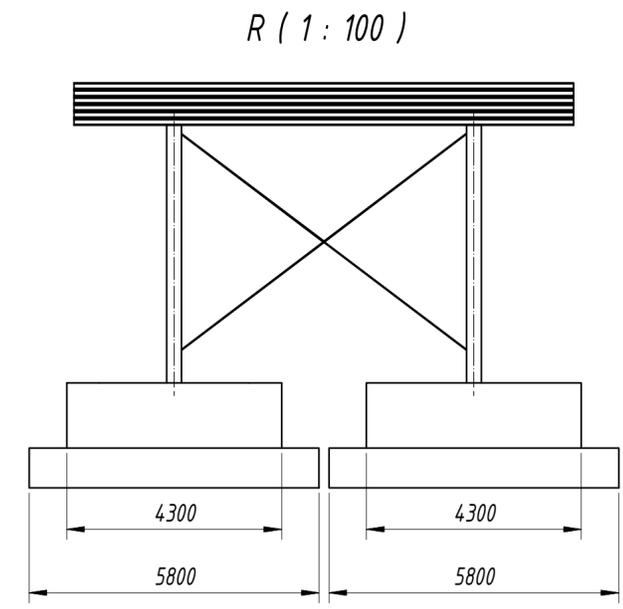
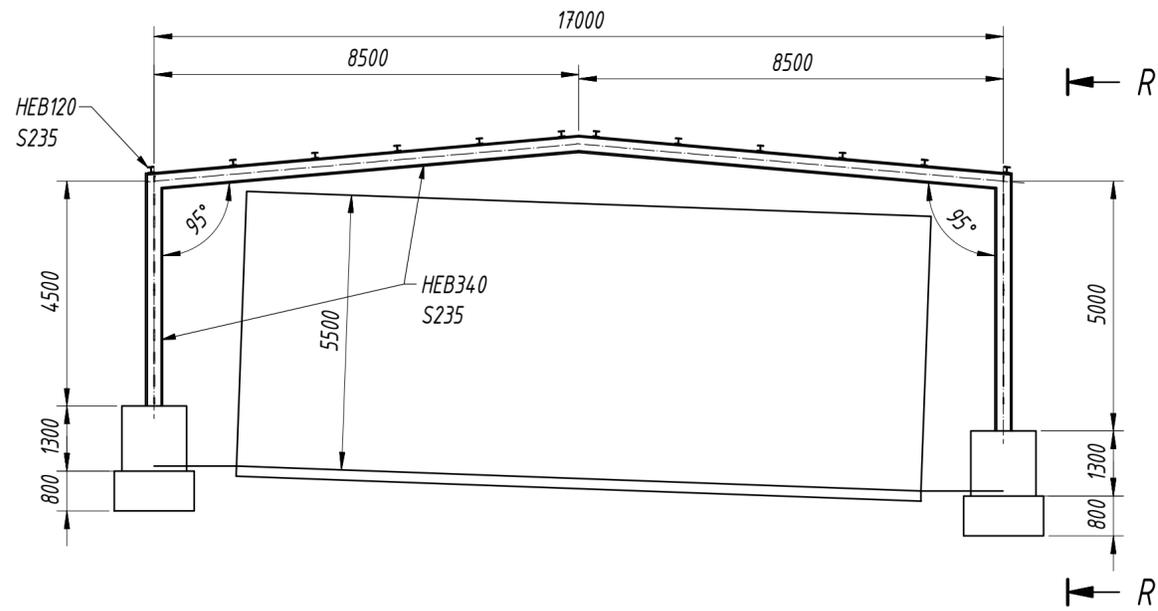
Abbildung 1: Idealierte Wärmefreisetzungskurve PIARC [1]	7
Abbildung 2: Temperaturen über dem Brandort	9
Abbildung 3: Vereinfachte Konstruktion in Simulationsumgebung	11
Abbildung 4: Temperaturverteilung in Abhängigkeit der Zeit – 30 MW.....	13
Abbildung 5: Lokale maximale Temperatur – 30 MW.....	14
Abbildung 6: Sichtweite bedingt durch Rauch (1.6 m) in Abhängigkeit der Zeit – 30 MW	15
Abbildung 7: FED (1.6m) in Abhängigkeit der Zeit – 30MW.....	15
Abbildung 8: Temperaturverteilung in Abhängigkeit der Zeit – 5 MW.....	16
Abbildung 9: Lokale maximale Temperatur – 5 MW (285°C).....	16
Abbildung 10: Sichtweite bedingt durch Rauch (1.6m) – 5 MW	17



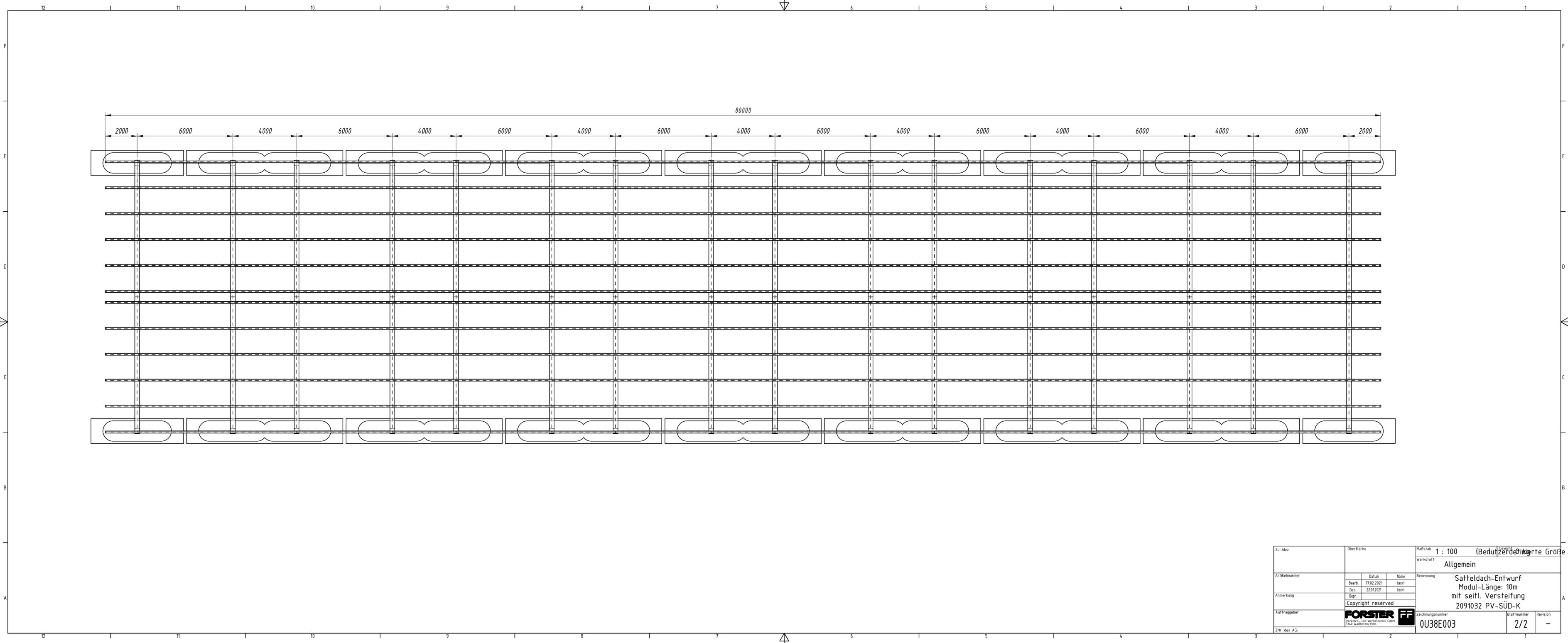
Abbildung 11: FED (1.6m) – 5 MW 17

Anhang 2:

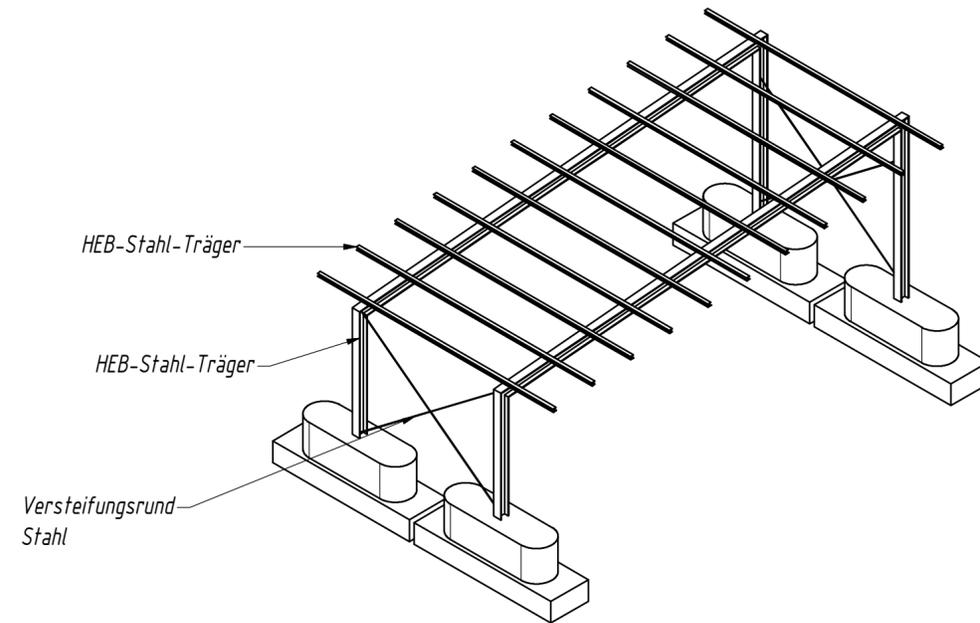
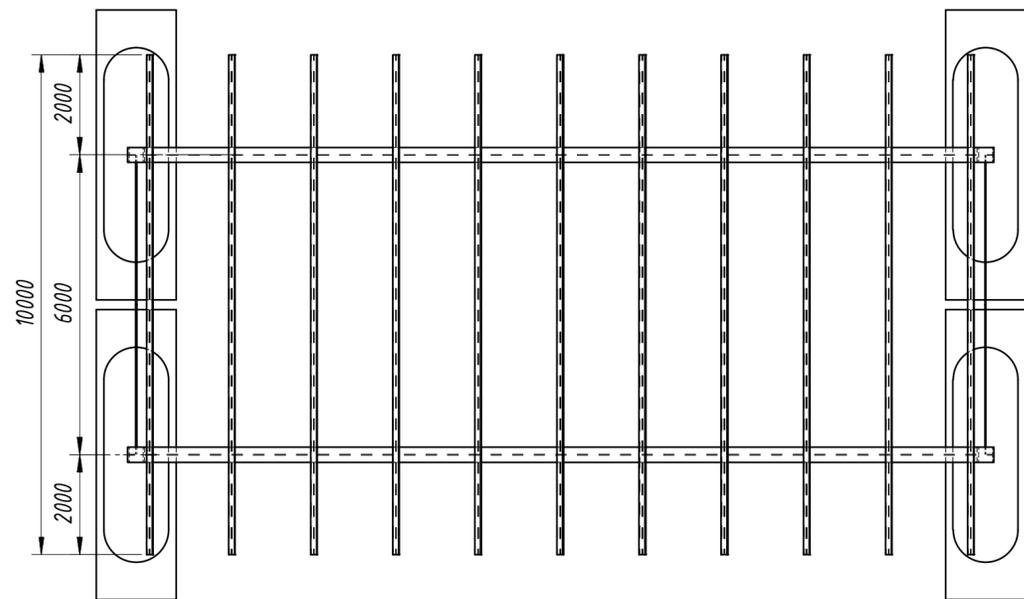
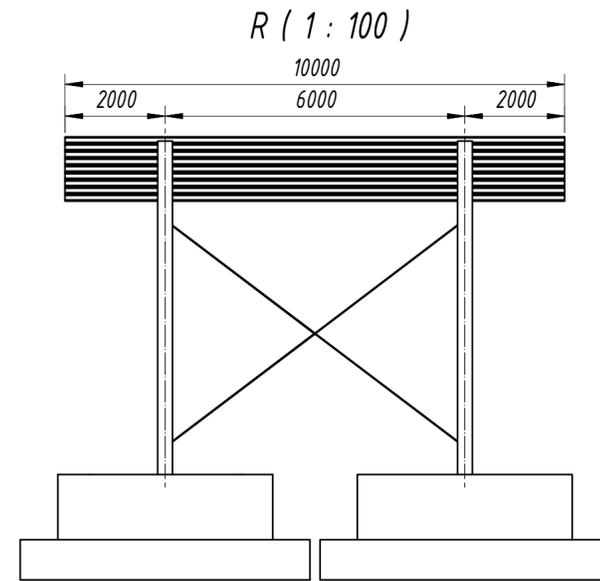
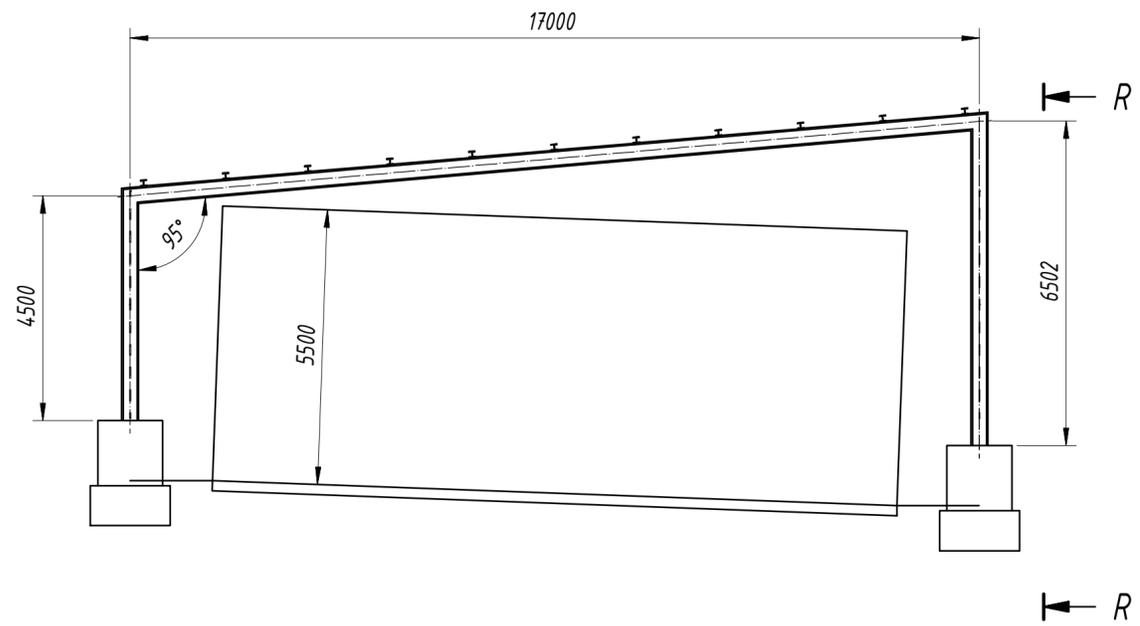
Entwürfe und Pläne und Zeichnungen
der Tragkonstruktion, erstellt von der
Firma Forster



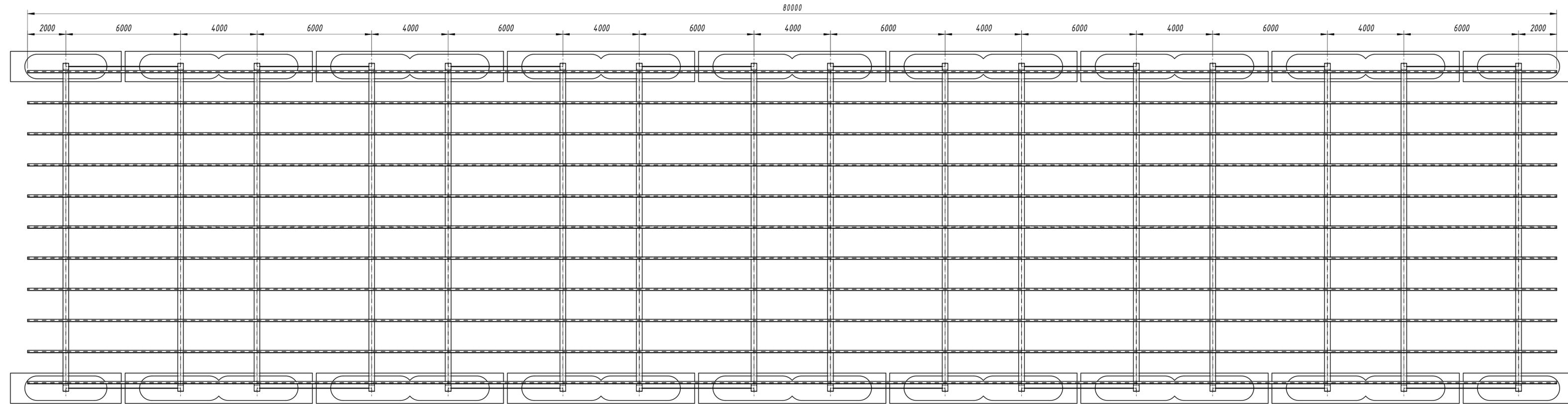
Zul. Abw.	Oberfläche	Maßstab 1 : 100 (A2)	Gewicht 0 kg
		Werkstoff Allgemein	
Artikelnummer	Bearb. 22.01.2021 Gez. 22.01.2021	Name beckt beckt	Benennung Satteldach-Entwurf Modul-Länge: 10m mit seidl. Versteifung 2091032 PV-SÜD-K
Anmerkung	Gepr.		
Auftraggeber	Copyright reserved		Zeichnungsnummer
ZNr. des AG:	 FORSTER FF Verkehrs- und Werbetechnik GmbH 3340 Waldhofen/1065		0U38E003 Blattnummer 1/2 Revision -



Zul. Abw.	Oberfläche	Maßstab	1 : 100 (Benutzerdefinierte Größe (mm))
Artikelnummer	Datum	Werkstoff	Allgemein
Anmerkung	Name	Benennung	
Auftraggeber	17.02.2021	Satteldach-Entwurf	
ZNr. des AG:	22.01.2021	Modul-Länge: 10m	
	Gepr.	mit seittl. Versteifung	
	Copyright reserved	2091032 PV-SÜD-K	
	FORSTER FF	Zeichnungsnummer	0U38E003
	Verkehrs- und Verblechtechnik GmbH	Blattnummer	2/2
	2340 Waldhofstr. 7033	Revision	-



Zul. Abw.	Oberfläche	Maßstab 1 : 100 (A2)	Gewicht 0 kg
		Werkstoff Allgemein	
Artikelnummer	Bearb. 17.02.2021 Gez. 17.02.2021	Benennung Pulldach-Entwurf Modul-Länge: 10m mit seidl. Versteifung 2091032 PV-SÜD-K	
Anmerkung	Copyright reserved		
Auftraggeber	FORSTER FF Verkehrs- und Werbetechnik GmbH 3340 Waldhofen/1065	Zeichnungsnummer OU38E004	Blattnummer 1/2
ZNr. des AG:			Revision -

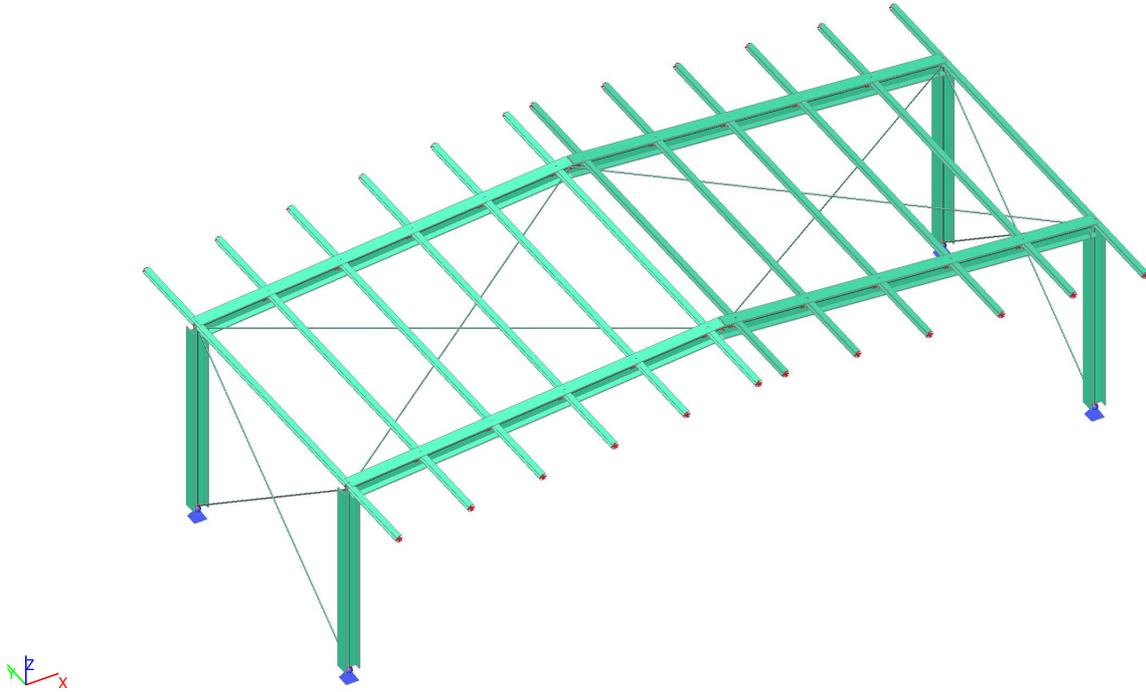


Zul. Abw.	Oberfläche	Maßstab	1 : 100 (Benutzerdefinierte Größe (mm))
Artikelnummer	Werkstoff	Allgemein	
Anmerkung	Bearb.	Datum	Name
Auftraggeber	Gez.	17.02.2021	beckt
ZNr. des AG:	Gepr.	17.02.2021	beckt
	Copyright reserved		
	FORSTER FF Vertriebs- und Verbautechnik GmbH 2340 Waddelhofen 1700		
	Benennung	Zeichnungsnummer	Blattnummer
	Pultdach-Entwurf Modul-Länge: 10m mit seitr. Versteifung 2091032 PV-SÜD-K	0U38E004	2/2
	Revision	-	

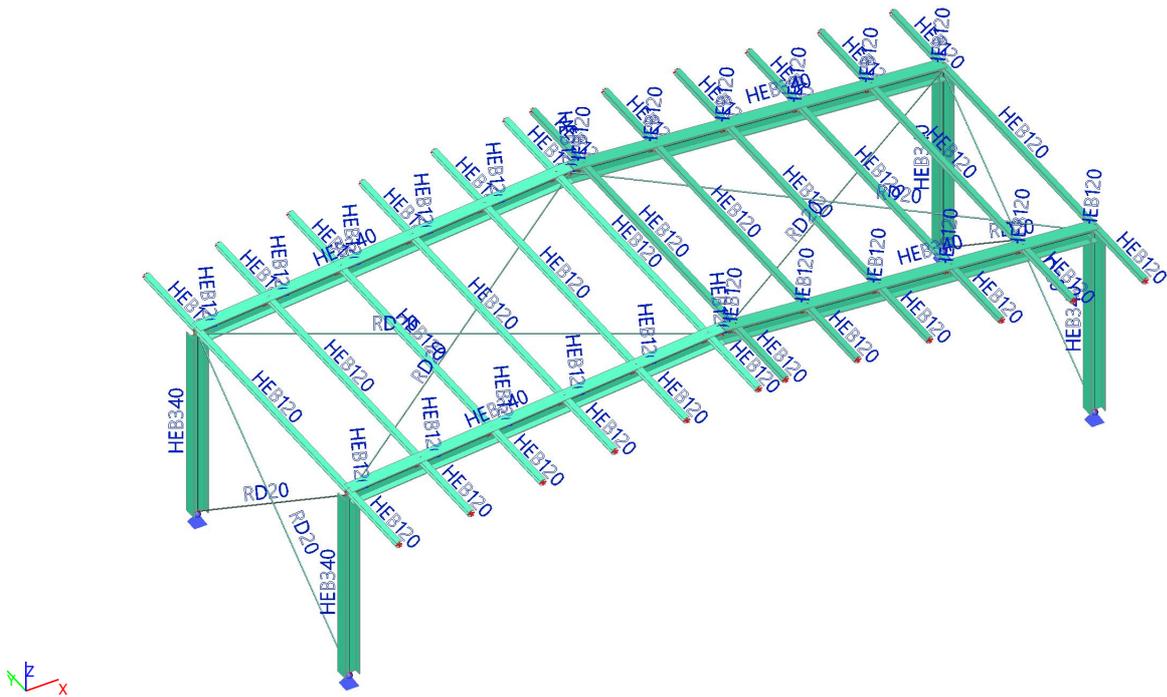
Anhang 3:

Statische Vorbemessung – Konzept,
Integral Ziviltechniker im Auftrag der
Firma Forster

3D Übersicht



3D Übersicht Querschnitte - Gesamtgewicht 12to



Querschnitte

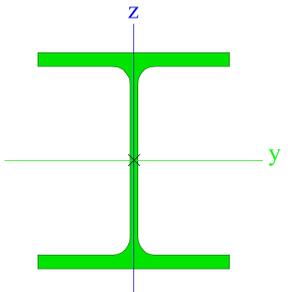
CS1		
Typ	HEB340	
Formcode	1 - I-Profile	
Stabformtyp	Dünnwandig	
Materialangabe	S 235	
Herstellung	gewalzt	
Farben	■	
Biegeknicken y-y, Biegeknicken z-z	b	c
A [m ²]	1,7090e-02	
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,2393e-02	4,3278e-03
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	1,8100e+00	1,8094e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	150	170
A [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	3,6660e-04	9,6900e-05
i _y [mm], i _z [mm]	146	75
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	2,1560e-03	6,4600e-04
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	2,4080e-03	9,8570e-04
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	5,66e+05	5,66e+05
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	2,32e+05	2,32e+05
d _y [mm], d _z [mm]	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,5720e-06	2,4536e-06
β _y [mm], β _z [mm]	0	
Bild		
CS2		
Typ	HEB120	
Formcode	1 - I-Profile	
Stabformtyp	Dünnwandig	
Materialangabe	S 235	
Herstellung	gewalzt	
Farben	■	
Biegeknicken y-y, Biegeknicken z-z	b	c
A [m ²]	3,4010e-03	
A _y [m ²], A _z [m ²]	2,5923e-03	8,4095e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	6,8600e-01	6,8630e-01
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	60	60
A [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	8,6440e-06	3,1750e-06
i _y [mm], i _z [mm]	50	31
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	1,4410e-04	5,2920e-05
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	1,6520e-04	8,0970e-05
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	3,88e+04	3,88e+04
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	1,90e+04	1,90e+04
d _y [mm], d _z [mm]	0	
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,3840e-07	9,4098e-09
β _y [mm], β _z [mm]	0	

Bild		
CS3		
Typ	RD20	
Formcode	11 - Vollständiges Kreisprofil	
Stabformtyp	Dickwandig	
Materialangabe	S 235_masselos	
Herstellung	gewalzt	
Farben		
Biegeknicken y-y, Biegeknicken z-z	c	c
A [m ²]	3,1400e-04	
A _y [m ²], A _z [m ²]	2,8216e-04	2,8216e-04
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	6,2666e-02	6,2829e-02
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	10	10
A [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	7,6894e-09	7,6894e-09
i _y [mm], i _z [mm]	5	5
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	7,6894e-07	7,6894e-07
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	1,3123e-06	1,3123e-06
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	3,13e+02	3,13e+02
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	3,13e+02	3,13e+02
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,5738e-08	3,9042e-23
β _y [mm], β _z [mm]	0	0
Bild		

Erläuterung von Symbolen	
Formcode	h - Höhe b - Flanschbreite t - Flanschdicke s - Stegdicke r - Radius an Flanschwurzel r1 - Radius an Flanschende a - Flanschneigung W - Innerer Schraubenabstand wm - Einheitsverwölbung an Flanschende
A	Bewehrungsmenge
A _y	Schubfläche in Hauptrichtung y
A _z	Schubfläche in Hauptrichtung z
A _L	Umfang pro Einheitslänge
A _D	Austrocknender Umfang pro Einheitslänge
C _{y,UCS}	Schwerpunktkoordinate Y im Eingabe-Koordinatensystem
C _{z,UCS}	Schwerpunktkoordinate Z im

Erläuterung von Symbolen	
	Eingabe-Koordinatensystem
I _{y,LCS}	Trägheitsmoment um die Achse YLCS
I _{z,LCS}	Trägheitsmoment um die Achse ZLCS
I _{YZ,LCS}	Gemischtes Trägheitsmoment im LCS
A	Drehwinkel des Hauptachsen-Koordinatensystems
I _y	Trägheitsmoment um die Hauptachse y
I _z	Trägheitsmoment um die Hauptachse z
i _y	Gyrationsradius um die Hauptachse y
i _z	Gyrationsradius um die Hauptachse z
W _{el,y}	Elastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse y
W _{el,z}	Elastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse z
W _{pl,y}	Plastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse y
W _{pl,z}	Plastischer Querschnittsmodul um die

Erläuterung von Symbolen	
	Hauptachse z
$M_{pl.y,+}$	Plastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse y für positive Momente M_y
$M_{pl.y,-}$	Plastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse y für negative Momente M_y
$M_{pl.z,+}$	Plastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse z für positive Momente M_z
$M_{pl.z,-}$	Plastischer Querschnittsmodul um die Hauptachse z für negative Momente M_z
d_y	Koordinate des Schubmittelpunktes in Hauptrichtung y, gemessen vom Schwerpunkt aus
d_z	Koordinate des Schubmittelpunktes in Hauptrichtung z, gemessen vom Schwerpunkt aus
I_t	Torsionskonstante

Erläuterung von Symbolen	
I_w	Verwölbungskonstante
β_y	Einfachsymmetrie-Konstante um die Hauptachse y
β_z	Einfachsymmetrie-Konstante um die Hauptachse z

Kombinationen

Name	Beschreibung	Typ	Lastfälle	Beiwert [-]
GZT-Anprall.1		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			AQ-Y - Anprall-Y	1,00
			AQ-X - Anprall-X	1,00
GZT – Gruppe B (automatisch).1		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,35
			G1 - PV-Equipment	1,35
			G2 - Trapezblech	1,35
GZT – Gruppe B (automatisch).2		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
GZT – Gruppe B (automatisch).3		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,35
			G1 - PV-Equipment	1,35
			G2 - Trapezblech	1,35
			S1 - Schnee	1,50
			S2 - Schnee	1,50
			S3 - Schnee	1,50
			WD-X - Wind	0,90
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
T+ - Temperaturänderung	0,90			
T- - Temperaturänderung	0,90			
GZT – Gruppe B (automatisch).4		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	1,50
			S2 - Schnee	1,50
			S3 - Schnee	1,50
WD-X - Wind	0,90			

Name	Beschreibung	Typ	Lastfälle	Beiwert [-]
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
			T+ - Temperaturänderung	0,90
			T- - Temperaturänderung	0,90
GZT – Gruppe B (automatisch).5		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,35
			G1 - PV-Equipment	1,35
			G2 - Trapezblech	1,35
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	1,50
			WS-X - Wind	1,50
			WDS-X - Wind	1,50
			WSD-X - Wind	1,50
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	1,50
			WDS-Y - Wind	1,50
			WSD-Y - Wind	1,50
			WS-Y - Wind	1,50
			T+ - Temperaturänderung	0,90
			T- - Temperaturänderung	0,90
GZT – Gruppe B (automatisch).6		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	1,50
			WS-X - Wind	1,50
			WDS-X - Wind	1,50
			WSD-X - Wind	1,50
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	1,50
			WDS-Y - Wind	1,50
			WSD-Y - Wind	1,50
			WS-Y - Wind	1,50
			T+ - Temperaturänderung	0,90
			T- - Temperaturänderung	0,90
GZT – Gruppe B (automatisch).7		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,35
			G1 - PV-Equipment	1,35
			G2 - Trapezblech	1,35
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	0,90
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,50
			Q2K-2 - Verkehr	1,50
			Q2K-3 - Verkehr	1,50

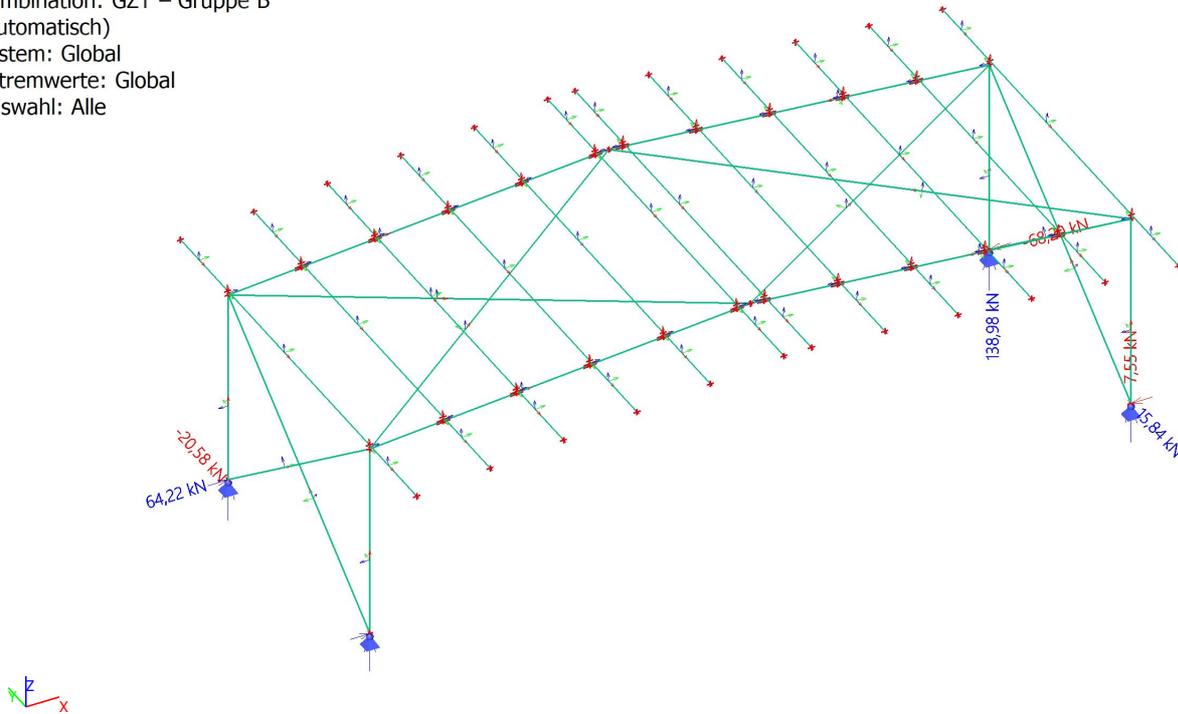
Name	Beschreibung	Typ	Lastfälle	Beiwert [-]
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
			T+ - Temperaturänderung	0,90
			T- - Temperaturänderung	0,90
GZT – Gruppe B (automatisch).8		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	0,90
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,50
			Q2K-2 - Verkehr	1,50
			Q2K-3 - Verkehr	1,50
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
			T+ - Temperaturänderung	0,90
			T- - Temperaturänderung	0,90
GZT – Gruppe B (automatisch).9		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,35
			G1 - PV-Equipment	1,35
			G2 - Trapezblech	1,35
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	0,90
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
			T+ - Temperaturänderung	1,50
			T- - Temperaturänderung	1,50
GZT – Gruppe B (automatisch).10		GZT - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,75
			S2 - Schnee	0,75
			S3 - Schnee	0,75
			WD-X - Wind	0,90
			WS-X - Wind	0,90
			WDS-X - Wind	0,90
			WSD-X - Wind	0,90
			Q2K-1 - Verkehr	1,20
			Q2K-2 - Verkehr	1,20
			Q2K-3 - Verkehr	1,20
			WD-Y - Wind	0,90
			WDS-Y - Wind	0,90
			WSD-Y - Wind	0,90
			WS-Y - Wind	0,90
			T+ - Temperaturänderung	1,50
			T- - Temperaturänderung	1,50

Name	Beschreibung	Typ	Lastfälle	Beiwert [-]
GZG – char. (automatisch).1		GZG - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
GZG – char. (automatisch).2		GZG - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	1,00
			S2 - Schnee	1,00
			S3 - Schnee	1,00
			WD-X - Wind	0,60
			WS-X - Wind	0,60
			WDS-X - Wind	0,60
			WSD-X - Wind	0,60
			Q2K-1 - Verkehr	0,80
			Q2K-2 - Verkehr	0,80
			Q2K-3 - Verkehr	0,80
			WD-Y - Wind	0,60
			WDS-Y - Wind	0,60
			WSD-Y - Wind	0,60
			WS-Y - Wind	0,60
T+ - Temperaturänderung	0,60			
T- - Temperaturänderung	0,60			
GZG – char. (automatisch).3		GZG - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,50
			S2 - Schnee	0,50
			S3 - Schnee	0,50
			WD-X - Wind	1,00
			WS-X - Wind	1,00
			WDS-X - Wind	1,00
			WSD-X - Wind	1,00
			Q2K-1 - Verkehr	0,80
			Q2K-2 - Verkehr	0,80
			Q2K-3 - Verkehr	0,80
			WD-Y - Wind	1,00
			WDS-Y - Wind	1,00
			WSD-Y - Wind	1,00
			WS-Y - Wind	1,00
T+ - Temperaturänderung	0,60			
T- - Temperaturänderung	0,60			
GZG – char. (automatisch).4		GZG - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,50
			S2 - Schnee	0,50
			S3 - Schnee	0,50
			WD-X - Wind	0,60
			WS-X - Wind	0,60
			WDS-X - Wind	0,60
			WSD-X - Wind	0,60
			Q2K-1 - Verkehr	1,00
			Q2K-2 - Verkehr	1,00
			Q2K-3 - Verkehr	1,00
			WD-Y - Wind	0,60
			WDS-Y - Wind	0,60
			WSD-Y - Wind	0,60
			WS-Y - Wind	0,60
T+ - Temperaturänderung	0,60			
T- - Temperaturänderung	0,60			
GZG – char. (automatisch).5		GZG - Umhüllende	EG - Eigengewicht	1,00
			G1 - PV-Equipment	1,00
			G2 - Trapezblech	1,00
			S1 - Schnee	0,50
			S2 - Schnee	0,50
S3 - Schnee	0,50			

Name	Beschreibung	Typ	Lastfälle	Beiwert [-]
			WD-X - Wind	0,60
			WS-X - Wind	0,60
			WDS-X - Wind	0,60
			WSD-X - Wind	0,60
			Q2K-1 - Verkehr	0,80
			Q2K-2 - Verkehr	0,80
			Q2K-3 - Verkehr	0,80
			WD-Y - Wind	0,60
			WDS-Y - Wind	0,60
			WSD-Y - Wind	0,60
			WS-Y - Wind	0,60
			T+ - Temperaturänderung	1,00
			T- - Temperaturänderung	1,00

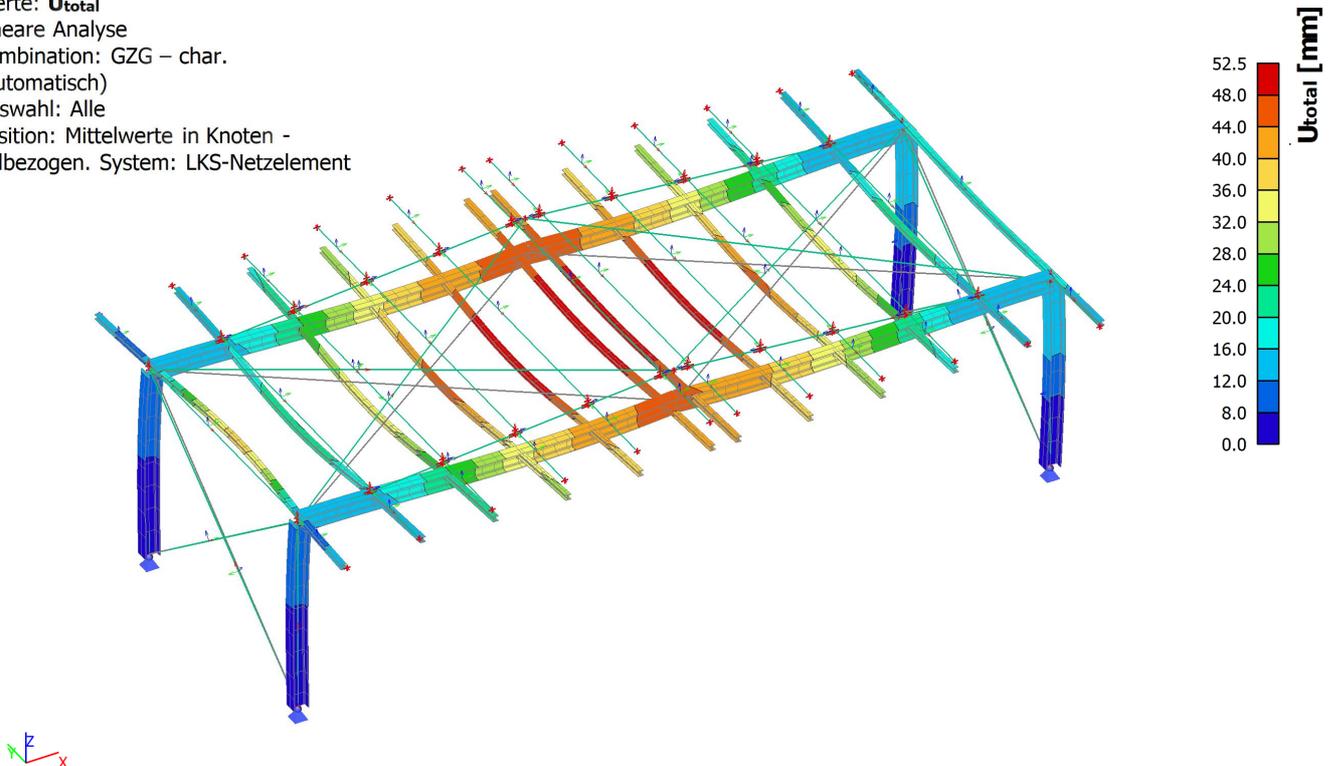
Reaktionen im GZT

Werte: R_x, R_y, R_z
Lineare Analyse
Kombination: GZT – Gruppe B
(automatisch)
System: Global
Extremwerte: Global
Auswahl: Alle



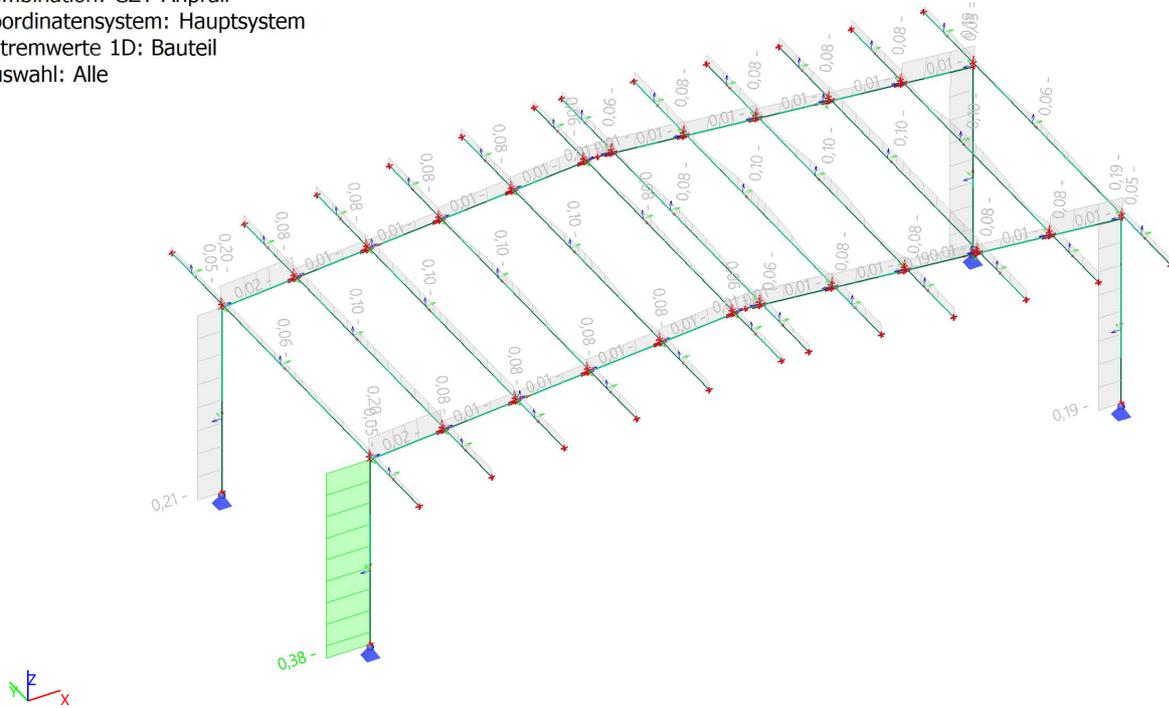
3D Verformung - U_{total} im GZG-char.

Werte: U_{total}
Lineare Analyse
Kombination: GZG – char.
(automatisch)
Auswahl: Alle
Position: Mittelwerte in Knoten -
teilbezogen. System: LKS-Netzelement



EC-EN 1993 Stahlnachweis im GZT-Anprall

Werte: **UC_{Overall}**
Lineare Analyse
Kombination: GZT-Anprall
Koordinatensystem: Hauptsystem
Extremwerte 1D: Bauteil
Auswahl: Alle



LASTANNAHMEN

Bauvorhaben Forschungsprojekt - PV-Stranßenüberdachung	Bearbeiter	Seitenanzahl
Bauteil	Vermerk/Notiz	Bearbeitungsdatum 01.12.2020

CHARAKTERISTISCHE WINDLAST ERMITTLUNG DER CHARAKTERISTISCHEN WINDLAST NACH DIN EN 1991-1-4

Parameter zur Ermittlung der charakteristischen Windlast

Standort:	LK Konstanz		
Grundwert der Basisgeschwindigkeit	v_{b0}	25,0	m/s
Richtungsfaktor	c_{dir}	1,0	
Jahreszeitenfaktor	c_{season}	1,0	
Basisgeschwindigkeit	v_b	25,0	m/s
Dichte Luft	ρ	1,25	kg/m ³
Basisgeschwindigkeitsdruck	q_b	0,39	kN/m ²
Geländekategorie	GK	II	
Höhe über Grund	z	7,50	m
Mindesthöhe	z_{min}	4,00	m <i>nach Ö-Norm B 1991-1-4; Tabelle 1</i>
Rechnerische Höhe	z_r	7,50	m
Geländefaktor	$c_e(z)$	1,96	<i>nach Ö-Norm B 1991-1-4; Tabelle 1</i>
Spitzengeschwindigkeitsdruck	q_p	0,77	kN/m ²

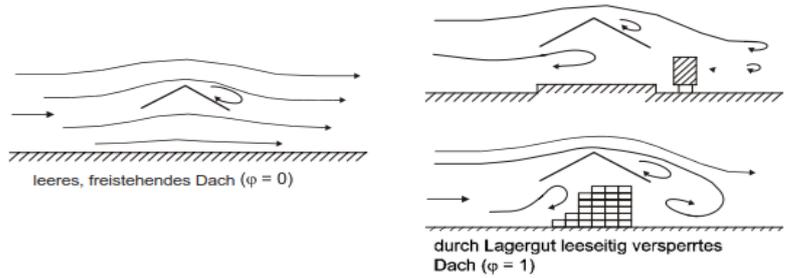
LASTANNAHMEN

Bauvorhaben Forschungsprojekt - PV-Stranßenüberdachung	Bearbeiter	Seitenanzahl
Bauteil	Vermerk/Notiz	Bearbeitungsdatum 01.12.2020

Ermittlung der charakteristischen Windlast für freistehende Sattel- und Trogdächer

Aerodynamische Kraftbeiwerte

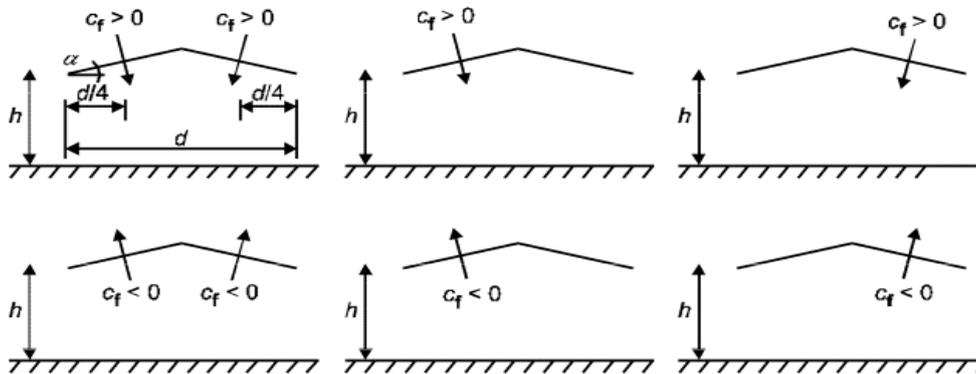
Dachneigung	α	5,0°
<i>nach Ö-Norm EN 1991-1-4; Tabelle 7.6:</i>		
Versperrungsgrad	φ	0,0
Kraftbeiwert max.	c_f	0,30
Kraftbeiwert min.	c_f	-0,60



Charakteristische Windlast

Strukturbeiwert	$c_s c_d$	1,0
Charakteristischer Winddruck	$q_{w,D}$	0,23 kN/m ²
Charakteristischer Windsog	$q_{w,S}$	-0,46 kN/m ²

Lastanordnung für Sattel- und Trogdächer



LASTANNAHMEN

Bauvorhaben Forschungsprojekt - PV-Stranßenüberdachung	Bearbeiter	Seitenanzahl
Bauteil	Vermerk/Notiz	Bearbeitungsdatum 01.12.2020

CHARAKTERISTISCHE WINDLAST

ERMITTLUNG DER CHARAKTERISTISCHEN WINDLAST NACH DIN EN 1991-1-4

Parameter zur Ermittlung der charakteristischen Windlast

Standort:	LK Konstanz		
Grundwert der Basisgeschwindigkeit	v_{b0}	25,0 m/s	
Richtungsfaktor	c_{dir}	1,0	
Jahreszeitenfaktor	c_{season}	1,0	
Basisgeschwindigkeit	v_b	25,0 m/s	
Dichte Luft	ρ	1,25 kg/m ³	
Basisgeschwindigkeitsdruck	q_b	0,39 kN/m ²	
Geländekategorie	GK	II	
Höhe über Grund	z	7,50 m	
Mindesthöhe	z_{min}	4,00 m	nach Ö-Norm B 1991-1-4; Tabelle 1
Rechnerische Höhe	z_r	7,50 m	
Geländefaktor	$c_e(z)$	1,96	nach Ö-Norm B 1991-1-4; Tabelle 1
Spitzengeschwindigkeitsdruck	q_p	0,77 kN/m ²	

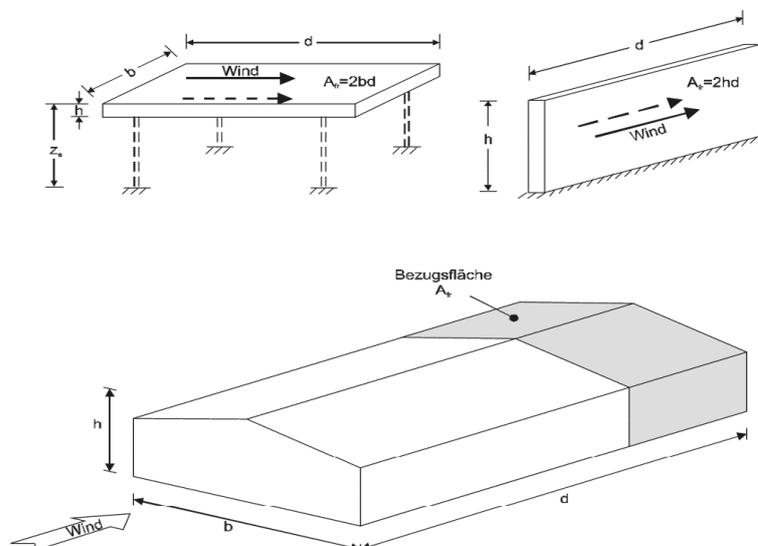
Ermittlung der charakteristischen Reibungskraft

Bezugsfläche	A_{fr}	680,00 m ²
Bauwerksbreite	b	17,00 m
Bauwerkshöhe	h	7,50 m
Bezugslänge für Reibung		30,00 m

Reibungsbeiwerte für Wände, Brüstungen und Dachflächen:

Oberfläche	sehr rau	
z.B. gewellt, gerippt, gefaltet		
Reibungsbeiwert	c_{fr}	0,04

Reibungskraft	$F_{fr} = c_{fr} * q_p(z) * A_{fr}$
	$F_{fr} = 20,82 \text{ kN}$



LASTANNAHMEN

Bauvorhaben Forschungsprojekt - PV-Straßenüberdachung	Bearbeiter	Seitenanzahl
Bauteil	Vermerk/Notiz	Bearbeitungsdatum 30.11.2020

CHARAKTERISTISCHE SCHNEELAST

ERMITTLUNG DER CHARAKTERISTISCHEN SCHNEELAST NACH DIN EN 1991-1-3

Ermittlung der charakteristischen Schneelast

Standort	Zone	Seehöhe	char. Schneelast	
1. PWC-Anlage Brandbühel; Radolfzell am Bodensee; LK Konstanz	1	450	0,74	kN/m ²
2. P+M Anlage Engen an der A81; LK Konstanz	1	550	0,94	kN/m ²
3. T+R Anlage Hegau/Engen an der A81; Konstanz	1	550	0,94	kN/m ²
max.	1	550	0,94	kN/m²

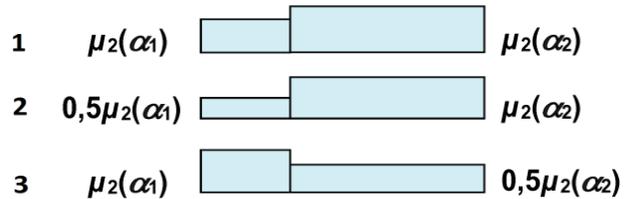
Charakteristische Schneelast wurde nach DIN EN 1991-1-3; Abschnitt 4 ermittelt.

Schneelast für Satteldächer

Linke Dachseite (α_1)	
Neigungswinkel linke Dachseite $\alpha_1 =$	5,0°
Schnee vom Abgleiten gehindert:	ja
Formbeiwert $\mu_{2,\alpha_1} =$	0,80

Rechte Dachseite (α_2)	
Neigungswinkel rechte Dachseite $\alpha_2 =$	5,0°
Schnee vom Abgleiten gehindert:	ja
Formbeiwert $\mu_{2,\alpha_2} =$	0,80

Fall 1	$s_{1,\alpha_1} = s_k * \mu_{2,\alpha_1} =$	0,75 kN/m²
	$s_{1,\alpha_2} = s_k * \mu_{2,\alpha_2} =$	0,75 kN/m²
Fall 3	$s_{2,\alpha_1} = s_k * \mu_{2,\alpha_1} =$	0,75 kN/m²
	$s_{2,\alpha_2} = s_k * 0,5 \mu_{2,\alpha_2} =$	0,38 kN/m²



Fall 2	$s_{2,\alpha_1} = s_k * 0,5 \mu_{2,\alpha_1} =$	0,38 kN/m²
	$s_{2,\alpha_2} = s_k * \mu_{2,\alpha_2} =$	0,75 kN/m²