

Peter Schöps

Institut für Massivbau

Ingenieurbauwerke & spezielle Bauten

BIW 3-02 Mauerwerksbau

31.01.2025

Gliederung der Vorlesungen

1. Einführung und Grundlagen (25.10.2024)
2. Bemessung – Vereinfachtes Verfahren (08.11.2024)
3. Bemessung – Genaues Verfahren (22.11.2024)
4. Bemessung – Horizontale Lasten und Aussteifung (06.12.2024)
5. Bemessung und Ausführung (20.12.2024)
6. Gebrauchstauglichkeit und Sanierung (17.01.2025)
- 7. Ingenieurbauwerke & spezielle Bauten (31.01.2025)**
8. Übung

Heutige Gliederung

7. Ingenieurbauwerke und Spezielle Bauwerke

1. Brücken
2. Staumauern
3. Kirchen

8. Übung

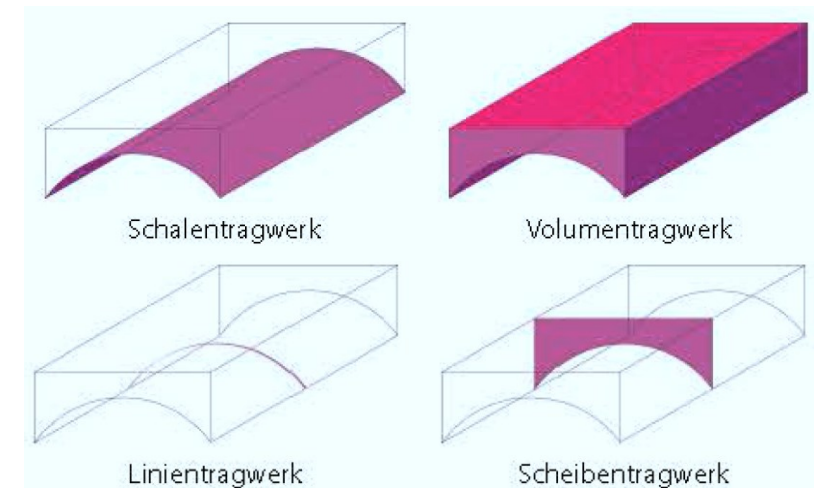
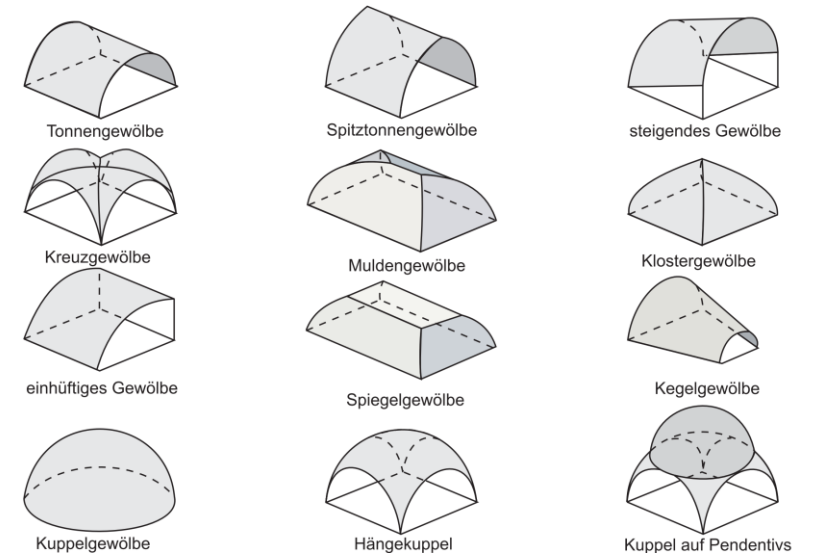
1. Brücken

Brücken

Wiederholung - Kap. 1.8 und Vorl. 5

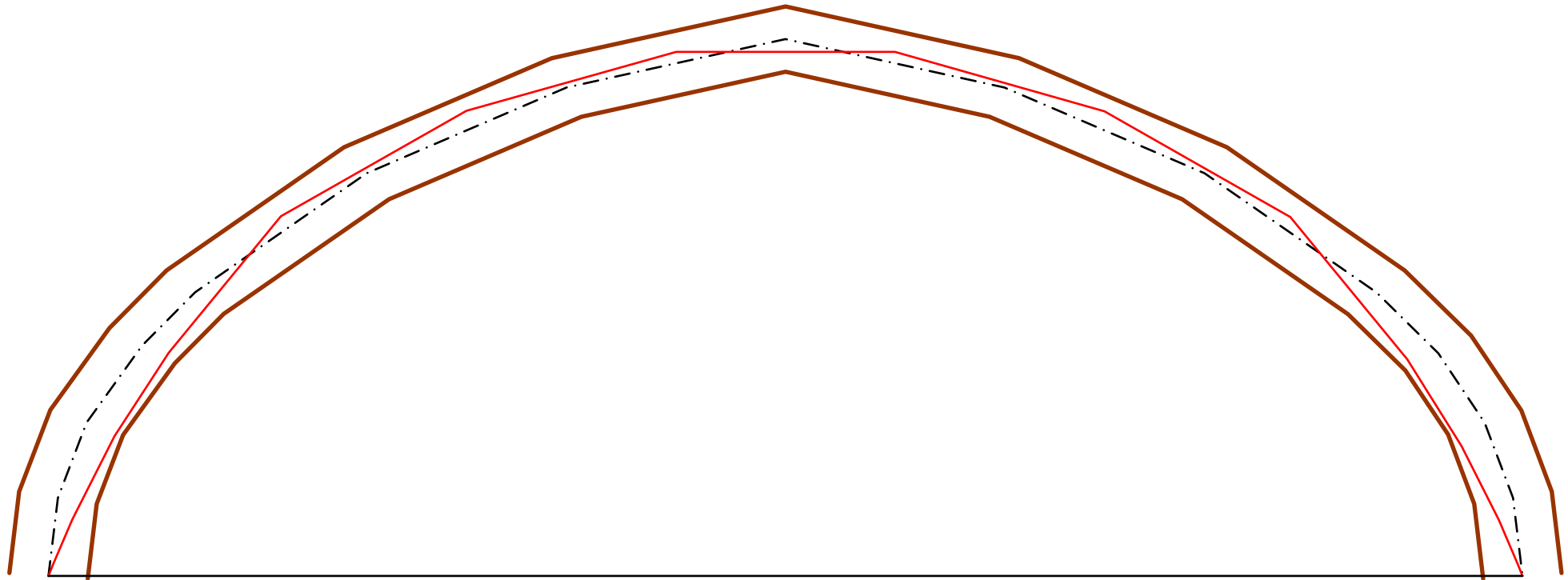
Aspekte von Bogentragwerken / steinernen Brücken

- Modell-Typologie
 - immer mit Krümmung gegen Lastrichtung
→ Tragwerk unter Druck
- Bautechnische Merkmale von gemauerten Bögen



Brücken

Stützzlinien

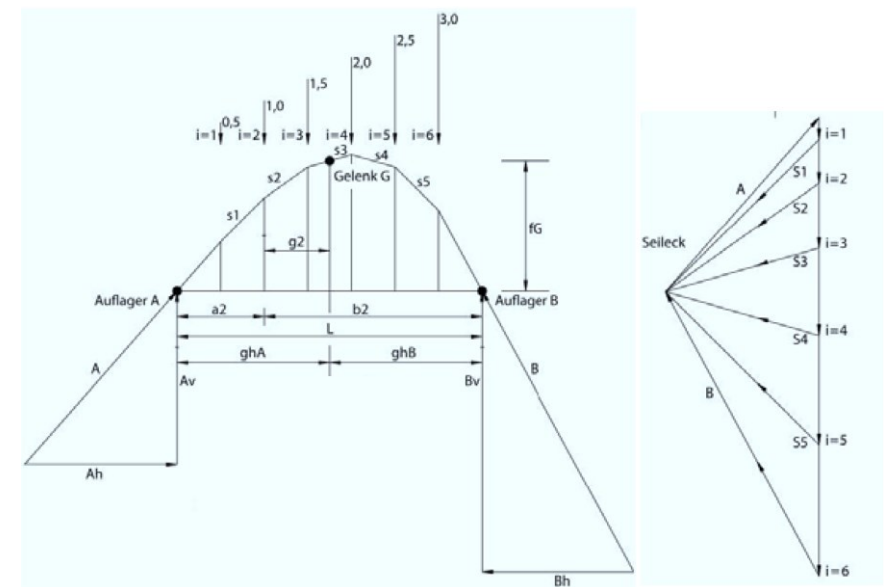
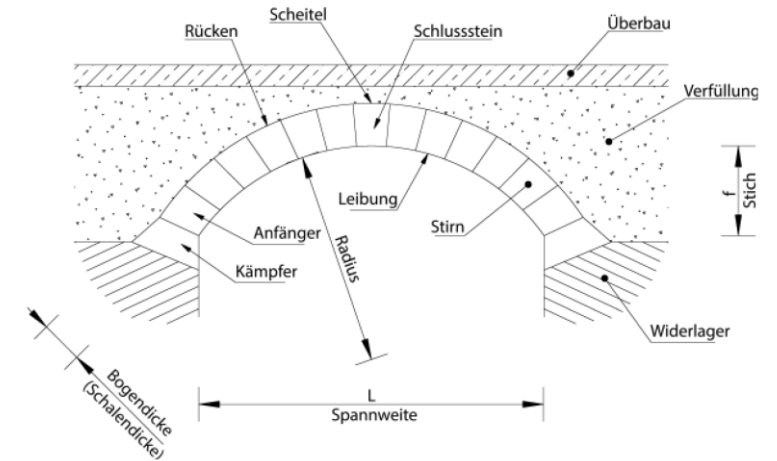


Brücken

Wiederholung - Kap. 1.8 und Vorl. 5

Aspekte von Bogentragwerken / steinernen Brücken

- Modell-Typologie
 - immer mit Krümmung gegen Lastrichtung → Tragwerk unter Druck
- Bautechnische Merkmale von gemauerten Bögen
 - Wichtigste Merkmale: Stich, Spannweite, Widerlager
- Stützlinienkonstruktion - Graphostatik
 - Stift und Lineal mit Maßstab reichen
 - so wurde Statik vor einem Jahrhundert gemacht



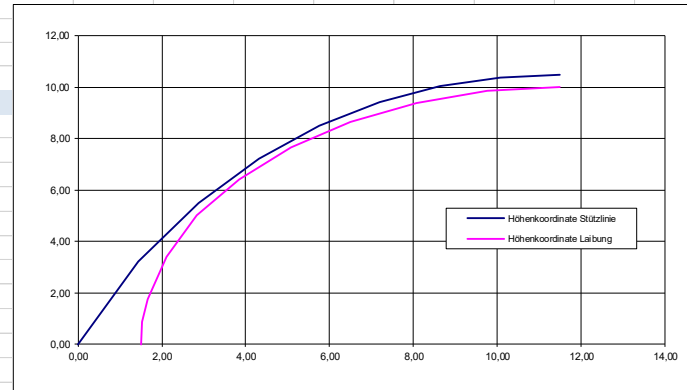
Brücken

Rechenbeispiel - Stützlinie

Konstruktion Stützlinie Viaduktbogen

Spanweite Stützlinie	L	m	23,00
Stich Stützlinie	f	m	10,50
Verhältnis Stich/Spanweite	f/L	-	0,46
Anzahl Abschnitte	n	-	8
Viaduktbreite	b	m	4,00
trag. Querschnittshöhe Stelle 0	h ₀	m	2,00
trag. Querschnittshöhe Stelle n	h _n	m	1,00

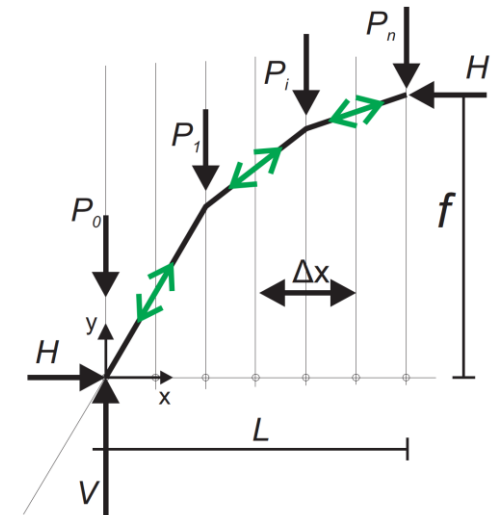
lichte Spannweite Kreisbogen	m	20,00
Eigengewicht	kN/m ³	27,00
Bauhöhe im Scheitelpunkt	m	2,50
Last Schotterbett	kN/m ²	14,50
Verkehrslast / Lokomotive	kN	400,00
Lokomotive verteilt auf halbe Spannweite	kN/m	35
Gleichstreckenlast	kN/m	363
Veränderliche Last Maximum	kN/m	1080



für Namen in Formeln siehe Namensman...

Stützpunkt	i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Koordinate	x _i	0,00	1,44	2,88	4,31	5,75	7,19	8,63	10,06	11,50
Last	P _i	1,81	2,07	1,29	0,99	0,80	0,67	0,59	0,54	0,26
Vertikalkraft	V _i	7,22	5,15	3,86	2,86	2,06	1,39	0,80	0,26	0,00
Horizontalkraft	H _i	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23
Neue Resultierende	R _i	7,91	6,07	5,03	4,32	3,83	3,51	3,33	3,24	3,23

Neue Neigung Stützlinie (tan)	-	2,24	1,59	1,19	0,89	0,64	0,43	0,25	0,08	0,00
Höhenordinate Stützlinie	y _i	0,00	3,21	5,50	7,22	8,50	9,41	10,03	10,38	10,50
Höhenordinate Laibung	l _i	0,00	0,00	5,06	6,95	8,18	9,02	9,58	9,90	10,00
Querschnittshöhe 1 (lin. interpoliert 10-11)	h _i	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,38	1,25	1,13	1,00
Normalen-Differenz Laibung-Stützlinie (Näherung)	m		1,71	0,28	0,20	0,26	0,36	0,44	0,49	0,50
Querschnittshöhe 2 (2*Zeile 33)	m		3,42	0,57	0,40	0,53	0,72	0,88	0,97	1,00
einwirkende Spannung	MN/m ²		0,81	2,21	2,68	1,81	1,23	0,95	0,83	0,81



y vorher + delta(x)*Neigung
aus Geometrie Viertelkreis

für obige Grafik Höhenordinate Laibung

0,00	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90 grad
0,00	0,09	0,17	0,35	0,52	0,70	0,87	1,05	1,22	1,40	1,57 rad
0,00	0,87	1,74	3,42	5,00	6,43	7,66	8,66	9,40	9,85	10,00 y-Koordinate Kreisbogen
1,50	1,54	1,65	2,10	2,84	3,84	5,07	6,50	8,08	9,76	11,50 zugeh. x-Koordinate + offse

Brücken

Beispiele

- Göltzschtalbrücke
- Himbächel-Viadukt
- Augustusbrücke
- Vöckelsbach-Viadukt



Von user:UlrichAAB - Eigenes Werk, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22255909>

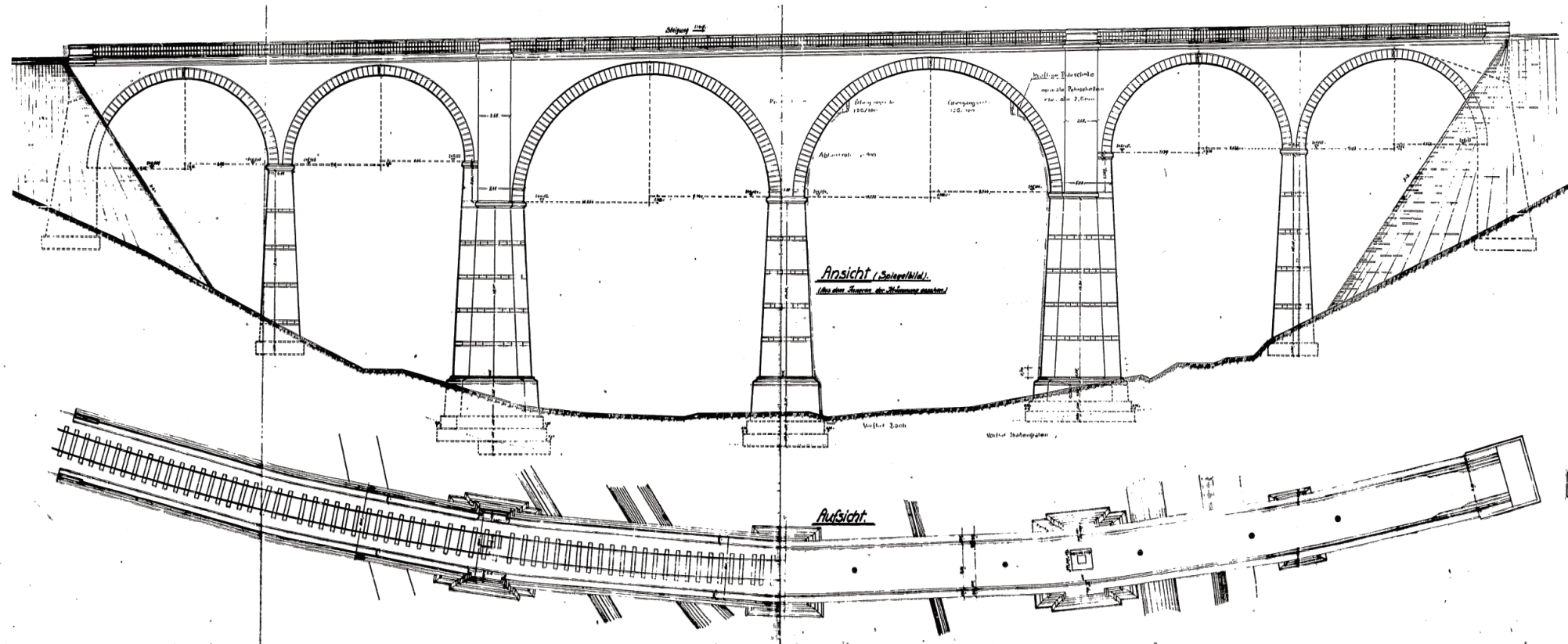
Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt



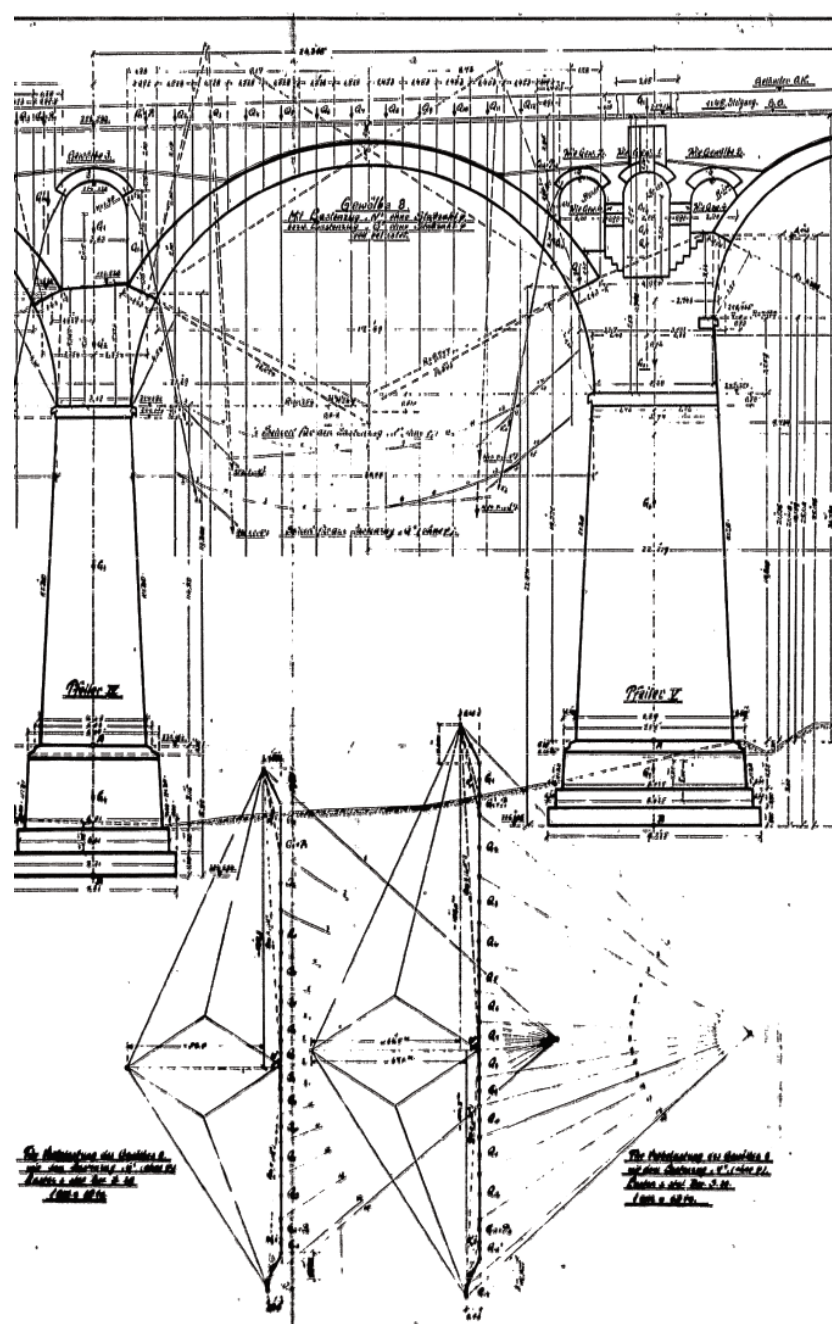
Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt



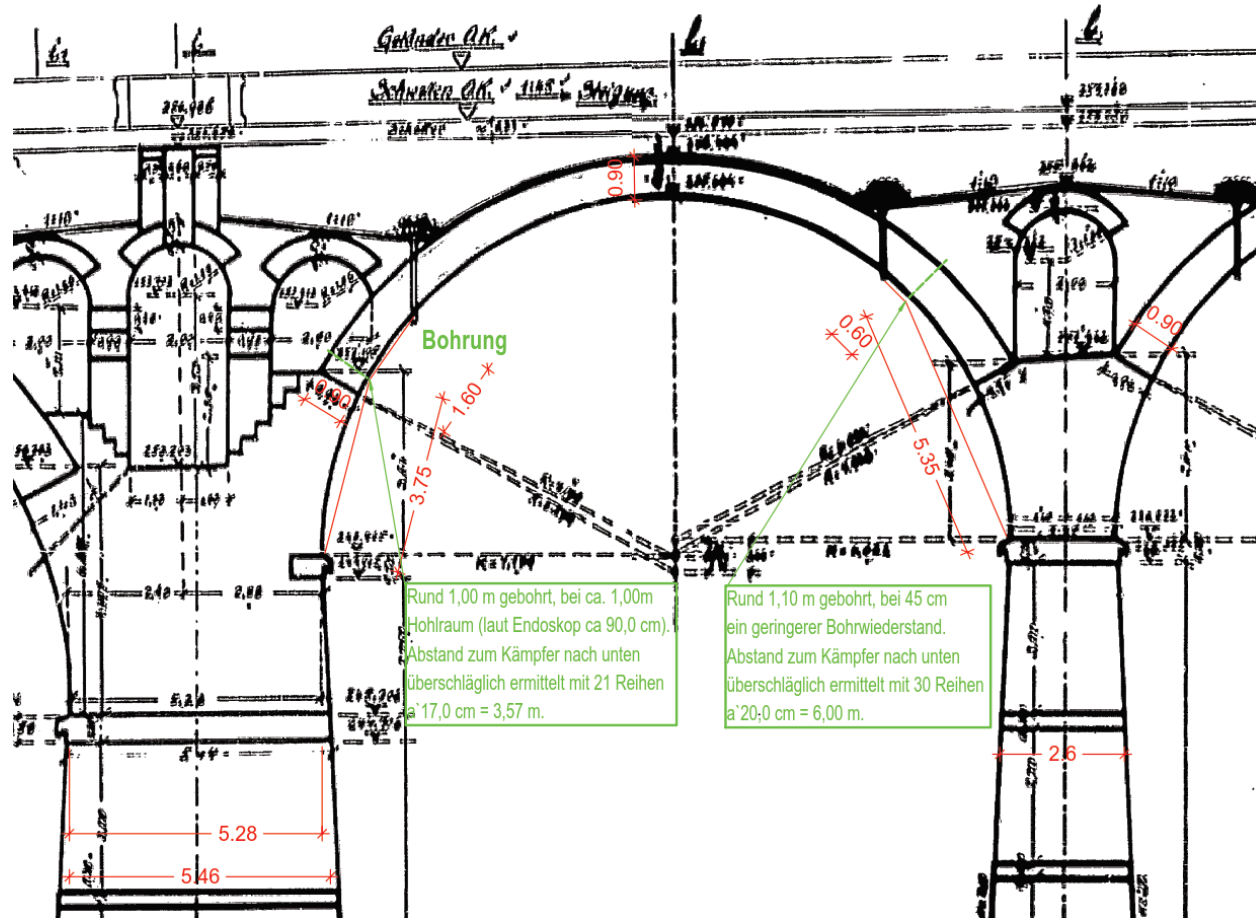
Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

In dem Untersuchungsbericht zum Sandsteinmauerwerk wurde das Gewölbemauerwerk nach DIN 1053-1 wie folgt eingeordnet:

- Sandstein Schichtenmauerwerk der Güteklasse N3,
- Mörtel der Mörtelgruppe IIIa.

Hieraus ergibt sich ein zulässiger Grundwert der Mauerwerksfestigkeit nach DIN 1053-1 von $\sigma_0 = 3,5 \text{ N/mm}^2$.

Nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang NA.L Tabelle NA.L.2 und einer analogen Einordnung in die Güteklasse N3 mit der Steindruckfestigkeit 50 N/mm^2 Mörtelgruppe NM III ergibt sich die charakteristischen Mauerwerksdruckfestigkeit zu:

$$f_k = 9,7 \text{ N/mm}^2$$

Der Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit ergibt sich somit zu:

$$\begin{aligned} \text{GZT: } f_d &= 9,7 \text{ N/mm}^2 / 1,5 * 0,85 * 0,8 \\ &= 4,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Neben dem Teilsicherheitsfaktor $\gamma_M = 1,5$, dem Dauerstandsfaktor 0,85, ist auch der Einfluss des Verbandsmauerwerks mit 0,8 berücksichtigt.

[PS1] Möglich wäre auch eine Einordnung als Quadermauerwerk in die Güteklasse N4 mit $f_k = 139 \text{ N/mm}^2$

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

6 Statische Nachweise

6.1 Anprall

Unter dem Viadukt führt eine Straße durch. Für den Verkehr ist ein Anprall nachzuweisen.

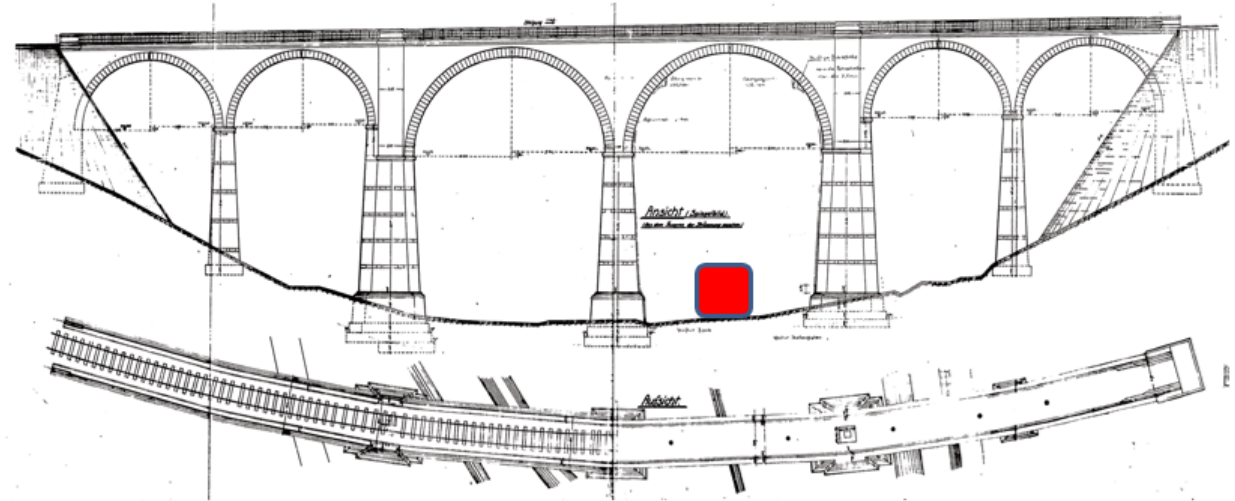


Bild 9 Lage der Straße

Gemäß DIN EN 1991-1-7/NA Tabelle NA.2-4.1 Zeile 1 (Straßen außerorts) ist in Fahrtrichtung eine Anprallkraft von $F_{dx} = 1,5 \text{ MN}$ anzusetzen.

Der maßgebende Pfeiler ist der mittlere Pfeiler mit einem Querschnitt von mind. $4,7 \text{ m} \times 5,95 \text{ m}$ (konservative Werte).

Der Nachweis erfolgt vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend ohne Auflast nur mit der Haftscherfestigkeit.

$$F_{Rd} = 4,7 \text{ m} \times 5,95 \text{ m} \times 0,26 \text{ N/mm}^2 = 7,27 \text{ MN}$$

$$\frac{1,5 \text{ MN}}{7,27 \text{ MN}} = 0,21 < 1,0$$

Der Nachweis ist erfüllt.

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

[14] UIC-Kodex 778-3 E: 1995-07: Empfehlungen für die Bewertung des Tragvermögens bestehender Gewölbebrücken. Internationaler Eisenbahnverband

Nachweis Hauptbögen

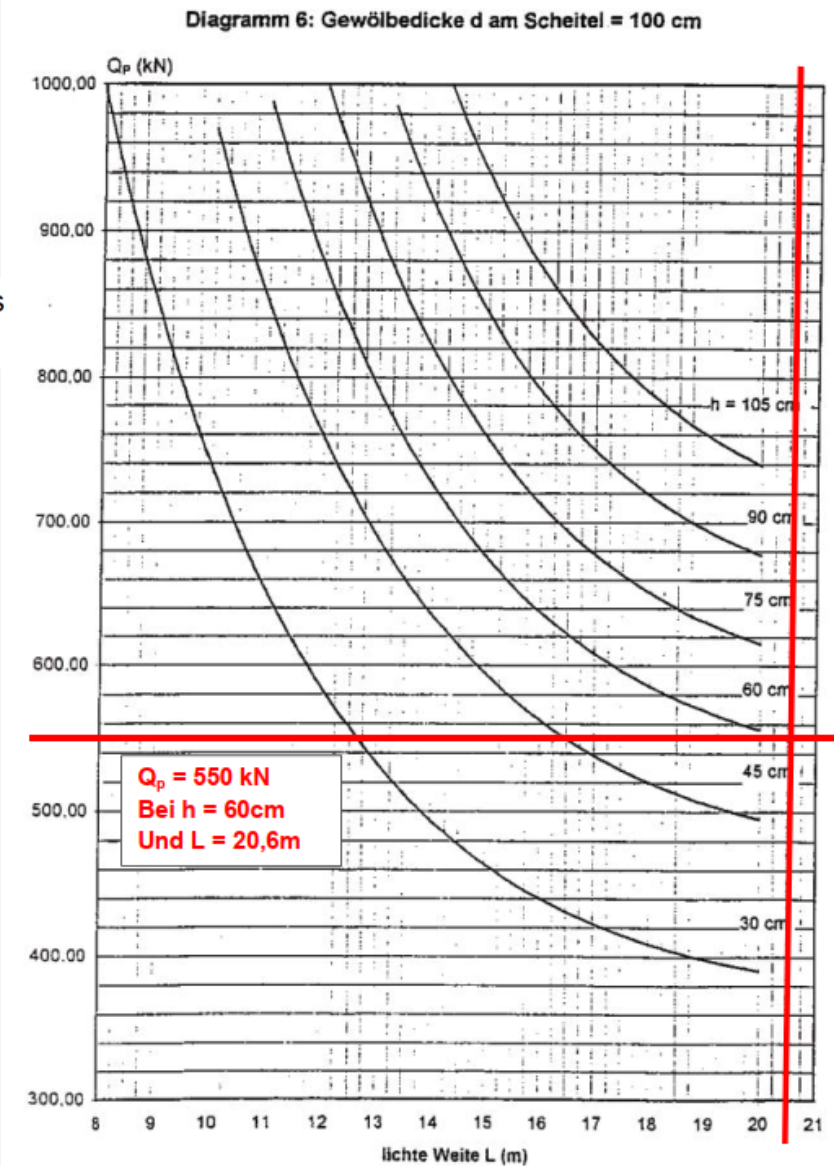


Bild 10 Diagramm 6 der Anlage 1 des UIC Kodex 778-3

MEXE-Näherungsverfahren

$r_q =$	9,3 m	
$r_c =$	10,2 m	
$f_s =$	0,2 = $2,3 \cdot (r_c - r_q)^{0,6} / r_c$	Bogenformfaktor
$f_M =$	1,0 = 1,0 ... 1,5	Materialfaktor
$f_w =$	0,8 = 0,8 ... 1,0	Fugenbreitenfaktor
$f_{m\ddot{o}} =$	1,0 = 0,9 ... 1,0	Mörtelfaktor
$f_J =$	0,8 = 1,0 ... 1,8	Fugenfaktor
$f_C =$	1,0 = 0,3 ... 1,0	Zustandsfaktor
$f_N =$	1,0 = 0,8 ... 1,0	Faktor für Brücken mit mehreren Bögen
$f_\phi =$	1,25	dynamischer Beiwert
$Q_p =$	550 kN	ideelle Achslast
$f =$	0,14	globaler Anpassungsfaktor
$Q_{adm} =$	74,51 kN	zulässige Achslast
$q_{adm} =$	49,67 kN/m	zulässige Meterlast
$Q_{vorh} =$	130 kN	vorhandene Achslast
$q_{vorh} =$	50,1 kN/m	vorhandene Meterlast = $16,7 \text{ kN/m}^2 \cdot 3 \text{ m}$

Nachweis

$\eta_Q =$	1,74 > 1,0	Nachweis nicht erfüllt
$\eta_q =$	1,01 > 1,0	Nachweis nicht erfüllt

Mit dem stark vereinfachten Verfahren gelingt der Nachweis **nicht**.

=> Nachweis am Stabwerksmodell



Nachweis Hauptbögen

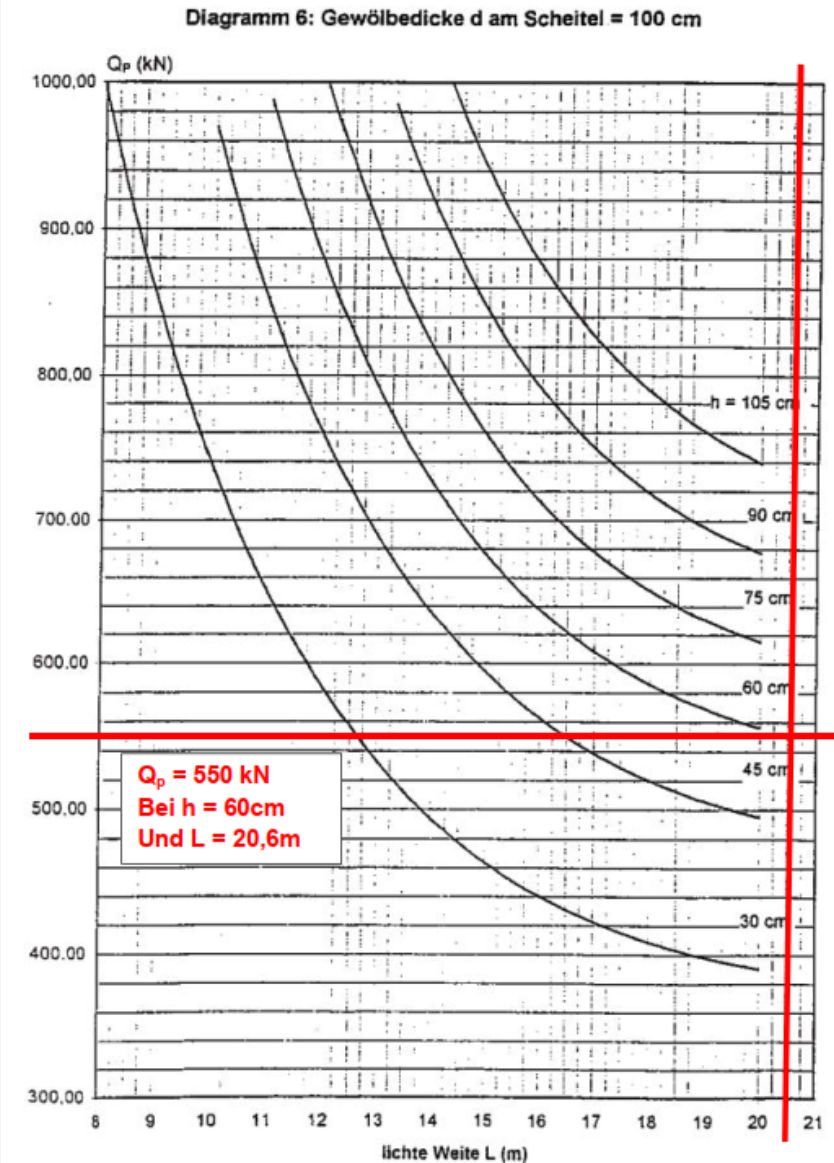
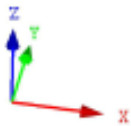
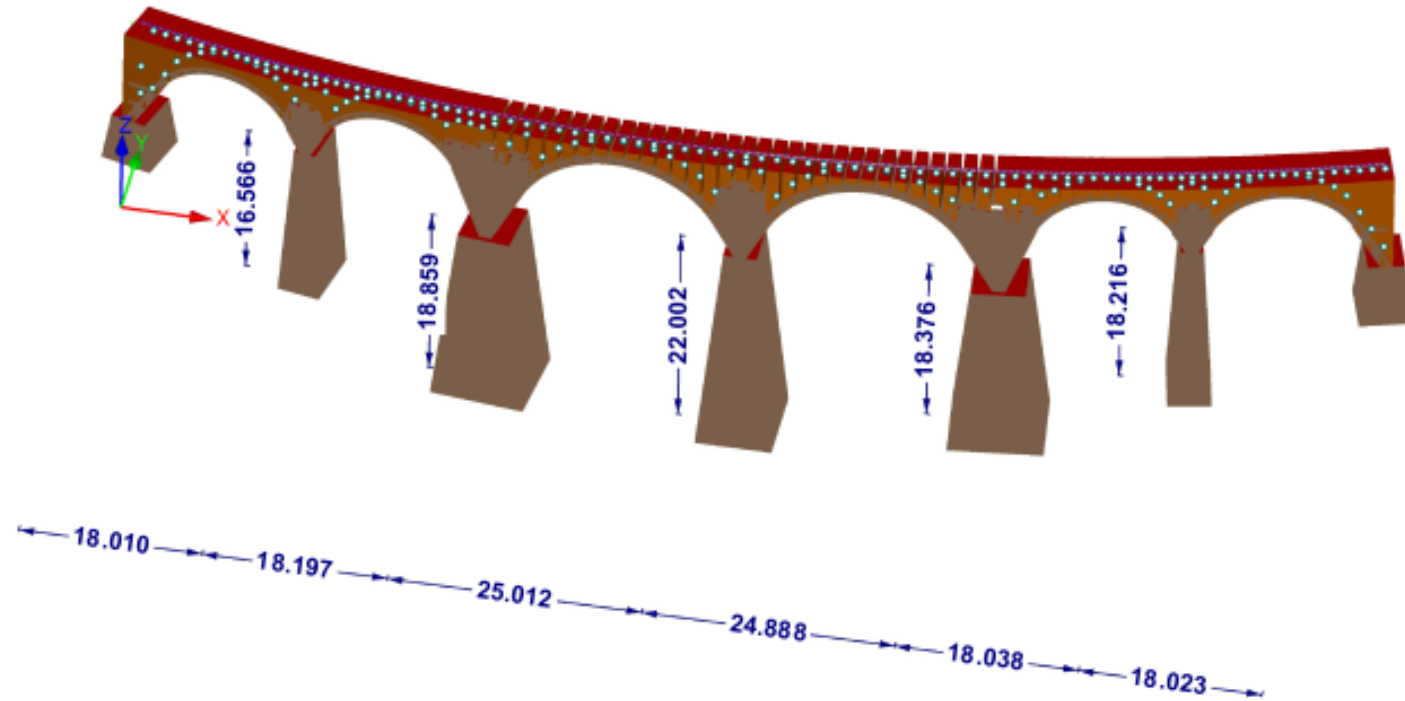


Bild 10 Diagramm 6 der Anlage 1 des UIC Kodex 778-3

Brücken

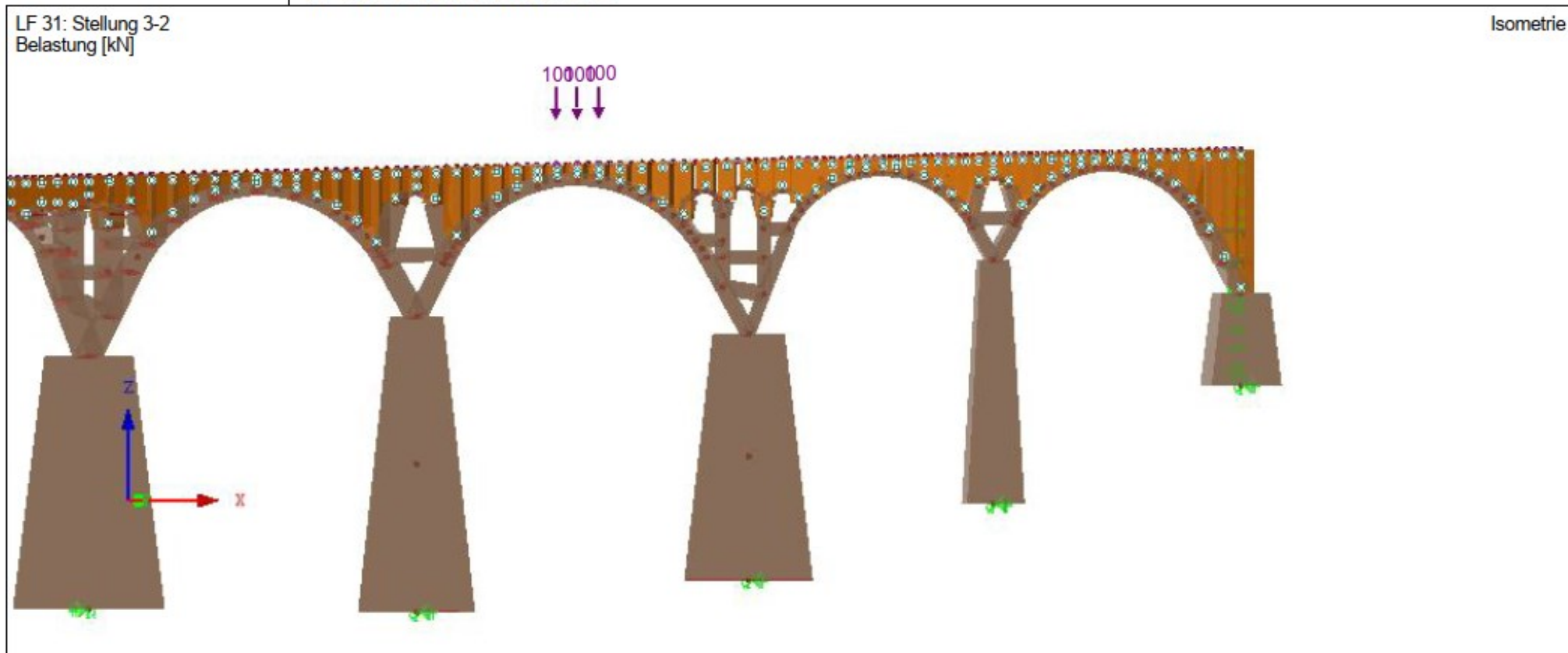
Beispiel Vöckelsbach-Viadukt



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

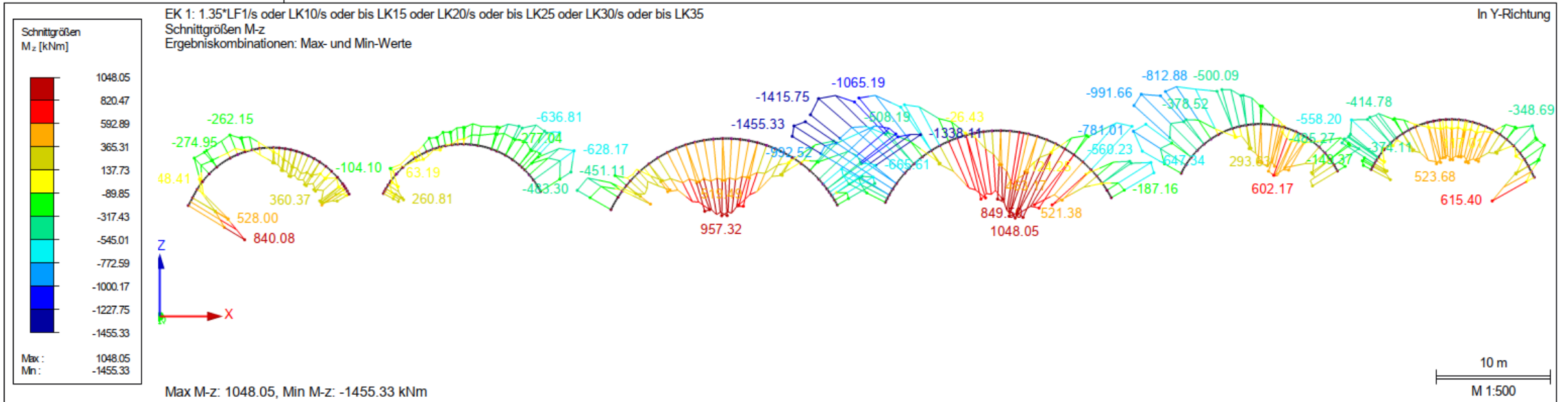
LF31: STELLUNG 3-2



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

■ SCHNITTGRÖSSEN M_z



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

Stab Nr.	Knoten Nr.	Lage x [m]		Kräfte [kN]			Momente [kNm]			Zugehörige Lastfälle	s [m]	e [m]	d [m]	e/d	σ [N/mm ²]	d [m]	Bogennummer	s [m] je Bogen	N _{Rd}	N _{ED} /N _{RD}	Q _{ED} /Q _{RD}
				N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z												
13	10	0,000	max M _z	-3858,20	376,00	170,33	-274,44	-1161,56	840,08	LK 34	0,00	-0,22	0,90	0,24	-2,21	0,90	5	0,00	10219	0,37753348	0,24363693
			min M _z	-2812,72	233,81	117,81	-185,39	-796,42	535,87	LK 22	0,00	-0,19	0,90	0,21	-1,45	0,90	5	0,00	11417	0,24635667	0,20781486
	12	0,770	max M _z	-3759,51	434,29	169,27	-274,91	-1030,78	528,00	LK 34	0,77	-0,14	0,89	0,16	-1,64	0,89	5	0,77	13437	0,27979248	0,28879428
			min M _z	-2739,63	276,86	117,04	-185,62	-705,98	339,21	LK 22	0,77	-0,12	0,89	0,14	-1,13	0,89	5	0,77	14168	0,19336192	0,25264361
15	12	0,000	max M _z	-3733,72	694,25	166,33	-340,72	-1013,42	526,12	LK 34	0,77	-0,14	0,89	0,16	-1,63	0,89	5	0,77	13416	0,27829832	0,46485141
			min M _z	-2723,58	466,17	114,85	-230,62	-694,26	337,92	LK 22	0,77	-0,12	0,89	0,14	-1,12	0,89	5	0,77	14157	0,19238207	0,42790188
	14	0,841	max M _z	-3683,97	342,03	165,26	-242,97	-900,22	92,49	LK 34	1,61	-0,03	0,88	0,03	-0,98	0,88	5	1,61	18313	0,20117217	0,23210694
			min M _z	-2682,05	210,25	114,13	-163,66	-615,68	55,00	LK 22	1,61	-0,02	0,88	0,02	-0,69	0,88	5	1,61	18515	0,14485904	0,19597882
	15	1,682	max M _z	-2644,91	-39,05	113,25	-96,51	-537,79	-15,36	LK 22	3,29	0,01	0,87	0,01	-0,64	0,87	5	3,29	18775	0,14087684	0,03691052
			min M _z	-3640,17	-1,40	163,91	-144,83	-788,09	-48,41	LK 34	3,29	0,01	0,87	0,02	-0,92	0,87	5	3,29	18445	0,19735264	0,00096149
17	15	0,000	max M _z	-2278,15	255,80	95,98	-96,37	-536,74	-15,34	LK 22	3,29	0,01	0,87	0,01	-0,55	0,87	5	3,29	18734	0,12160591	0,28071023
			min M _z	-3145,20	396,42	139,92	-144,58	-786,26	-48,26	LK 34	3,29	0,02	0,87	0,02	-0,80	0,87	5	3,29	18355	0,17135372	0,3150992
	17	0,907	max M _z	-2224,10	47,61	106,52	-44,20	-450,35	-151,98	LK 22	4,20	0,07	0,86	0,08	-0,77	0,86	5	4,20	15825	0,14054687	0,05351603
			min M _z	-3077,15	106,47	154,47	-68,29	-661,22	-274,95	LK 34	4,20	0,09	0,86	0,10	-1,17	0,86	5	4,20	14900	0,20652314	0,0865005
	19	1,814	max M _z	-2176,75	-154,04	116,63	8,08	-354,62	-102,62	LK 22	6,01	0,05	0,84	0,06	-0,69	0,84	5	6,01	16389	0,13281613	0,17691513
			min M _z	-3018,12	-174,70	168,39	8,23	-523,34	-242,41	LK 34	6,01	0,08	0,84	0,10	-1,13	0,84	5	6,01	14930	0,20215787	0,14470929
21	19	0,000	max M _z	-1975,83	-74,53	98,38	34,17	-350,56	-102,42	LK 22	6,01	0,05	0,84	0,06	-0,65	0,84	5	6,01	16183	0,12209507	0,09430214

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

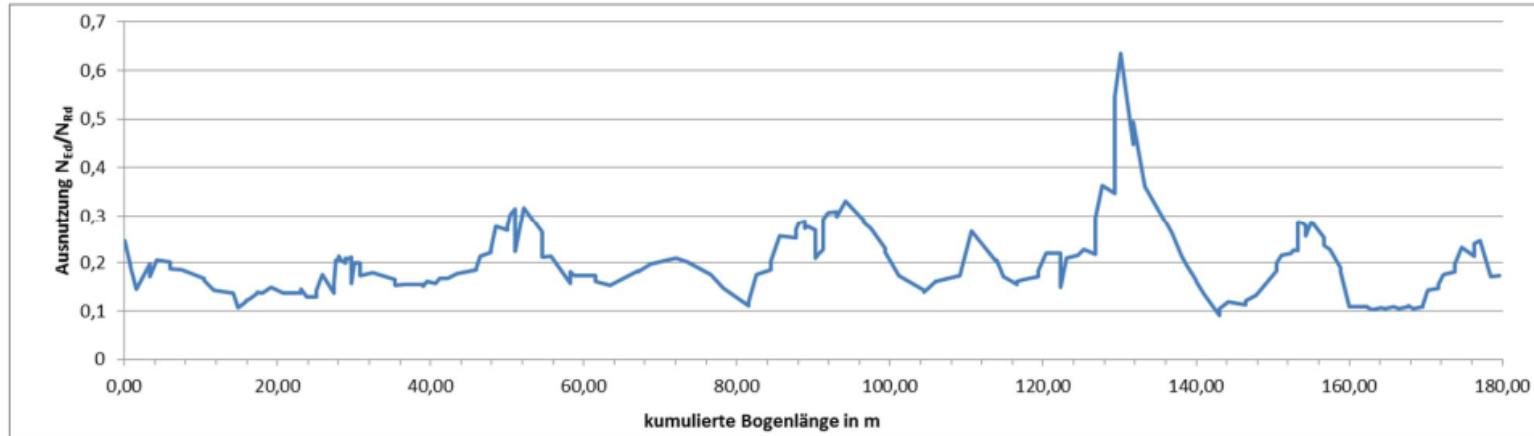


Bild 15 Ausnutzungsgrad gemäß EC 6 bei minimalem Moment (Spannungsblock)

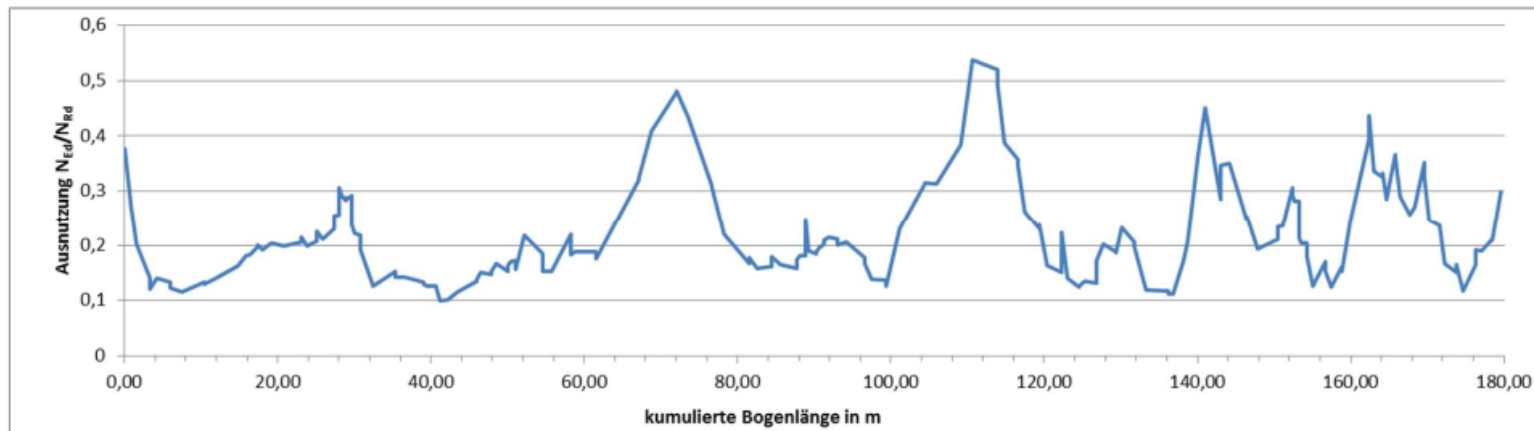


Bild 16 Ausnutzungsgrad gemäß EC 6 bei maximalem Moment (Spannungsblock)

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

Zusammenfassung der Nachweise:

größte Randspannung $\frac{3,73 \frac{N}{mm^2}}{4,4 \frac{N}{mm^2}} = 0,85 < 1,0$

Ausnutzungsgrad gemäß EC 6 $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{3107kN}{4895kN} = 0,63 < 1,0$

Maßgebend ist Stab 263 am Knoten 319 bei min $M_z \Rightarrow$ Bogen 9

Für den Querkraftnachweis nach EC 6 wird vereinfachend der Haftscherfestigkeitsanteil vernachlässigt. Diese Annahme liegt deutlich auf der sicheren Seite.

Querkraft Ausnutzungsgrad gemäß EC 6 $\frac{Q_{Ed}}{Q_{Rd}} = \frac{Q_{Ed}}{\min N_{Ed} \cdot 0,4} = \frac{324kN}{1664kN \cdot 0,4} = 0,49 < 1,0$

Stab 270 am Knoten 330 \Rightarrow Bogen 9

Frostabplatzungen

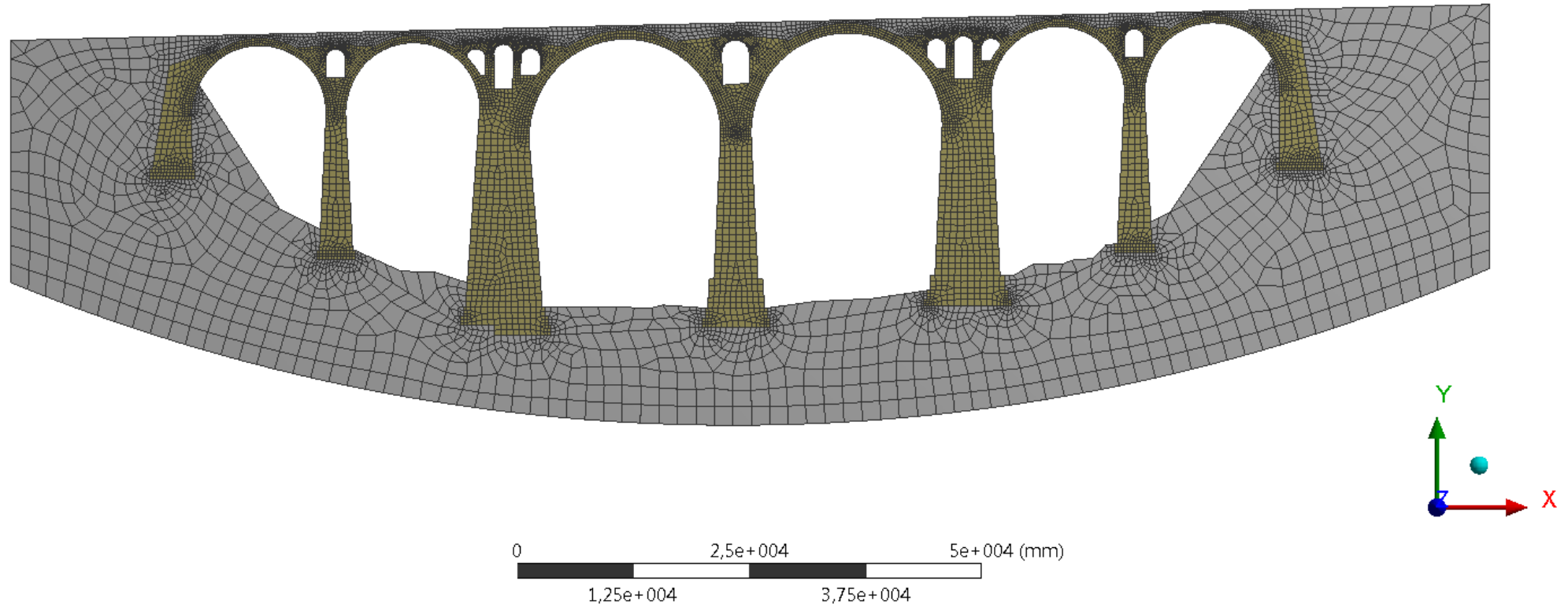
Die maßgebende Stelle im Bogen 9 liegt etwas oberhalb des Kämpfers. Wird der Ausnutzungsgrad nach EC 6 zu 1,0 gesetzt erhält man die minimale erforderliche Dicke des Bogens an dieser Stelle.

$$d_{erf} = \frac{N_{Ed}}{b * f_d} + 2 * e = \frac{3107kN}{500cm * 4,4 \frac{N}{mm^2}} + 2 * 31,9cm = \underline{77,9cm}$$

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

Abbildung
28.02.17 13:37

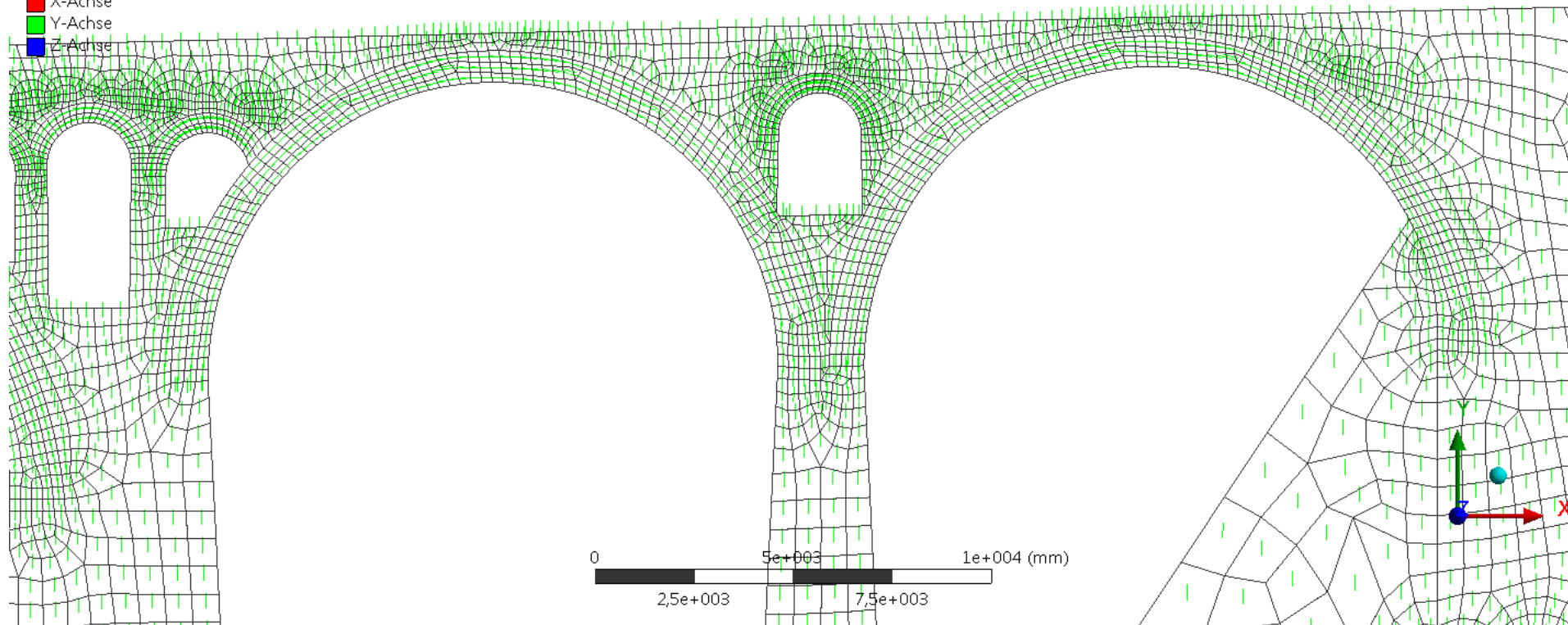


Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

A: Bogen 9
Abbildung
Typ: Elementkoordinatensysteme
Einheit: °
Zeit: 4
28.02.17 13:54

■ X-Achse
■ Y-Achse
■ Z-Achse



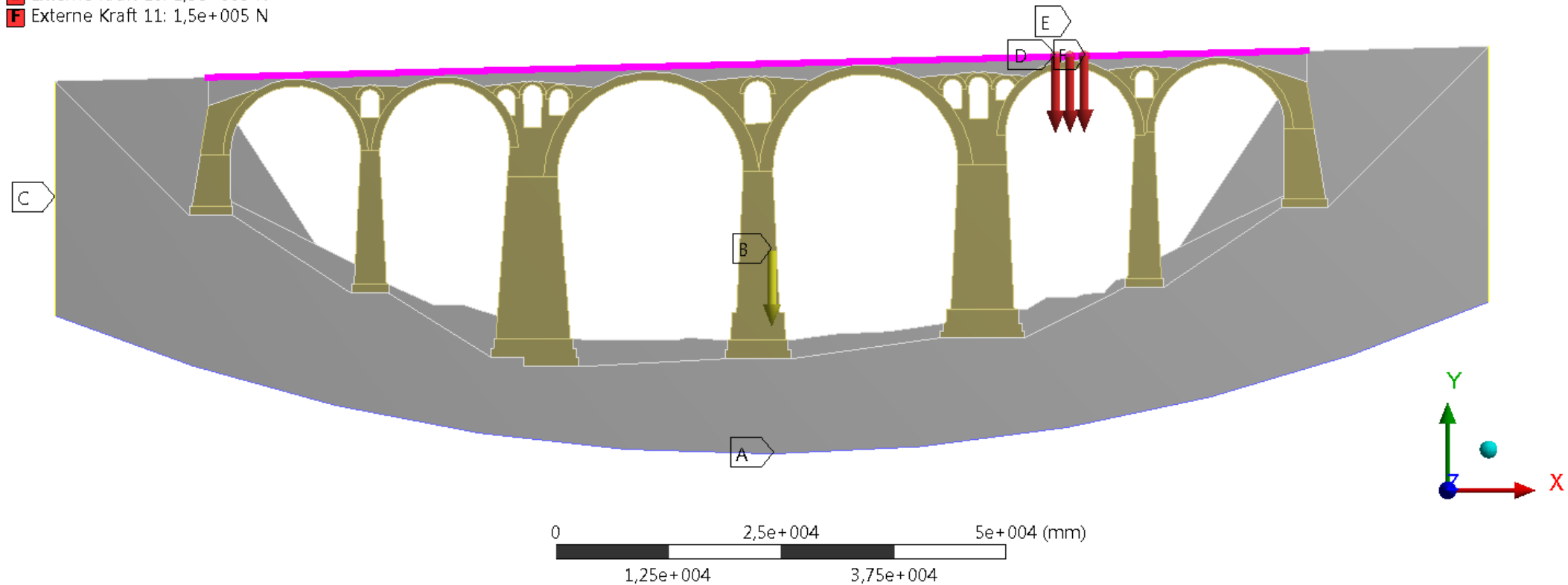
Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

A: Bogen 9

Abbildung
28.02.17 13:37

- A** Fixierte Lagerung
- B** Erdanziehungskraft: $9806,6 \text{ mm/s}^2$
- C** Verschiebung
- D** Externe Kraft 9: $1,5e+005 \text{ N}$
- E** Externe Kraft 10: $1,5e+005 \text{ N}$
- F** Externe Kraft 11: $1,5e+005 \text{ N}$



Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

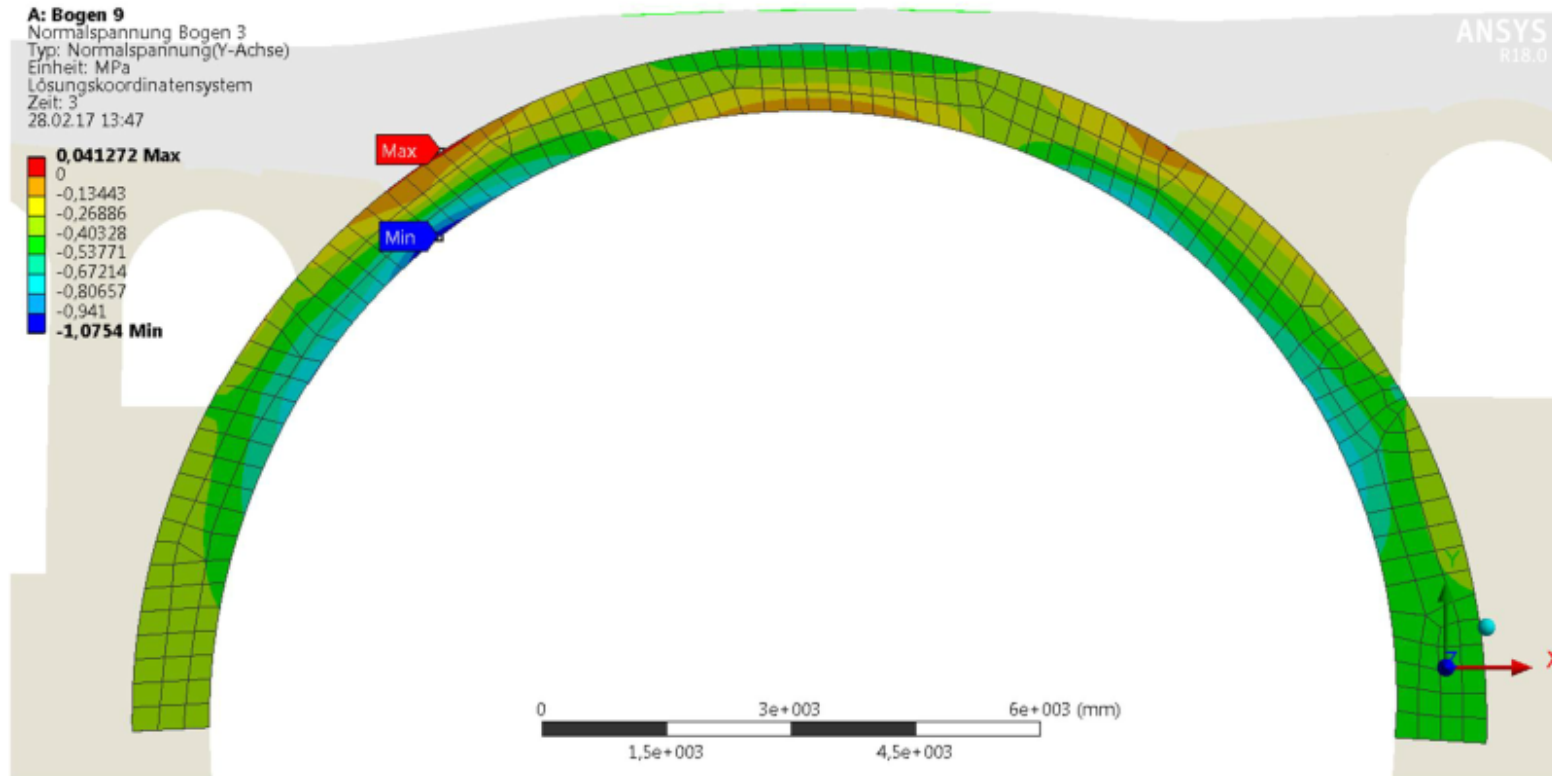


Bild 27 Normalspannungen (entlang der Bogenachse) im Bogen 9 bei einer Bemessungslast von 150kN je Achse

Brücken

Beispiel Vöckelsbach-Viadukt

Die Lasten der beiden untersuchten Laststellungen konnten bis zu einer Achslast von ca. 100 Tonnen ($\hat{=}$ 1000 kN) weiter gesteigert werden. Hierbei kam es aber zu deutlichen Verformungen und Plastizierungen. Auch die Druckfestigkeit wurde erreicht. Der Standsicherheitsnachweis ist somit ebenfalls erbracht.

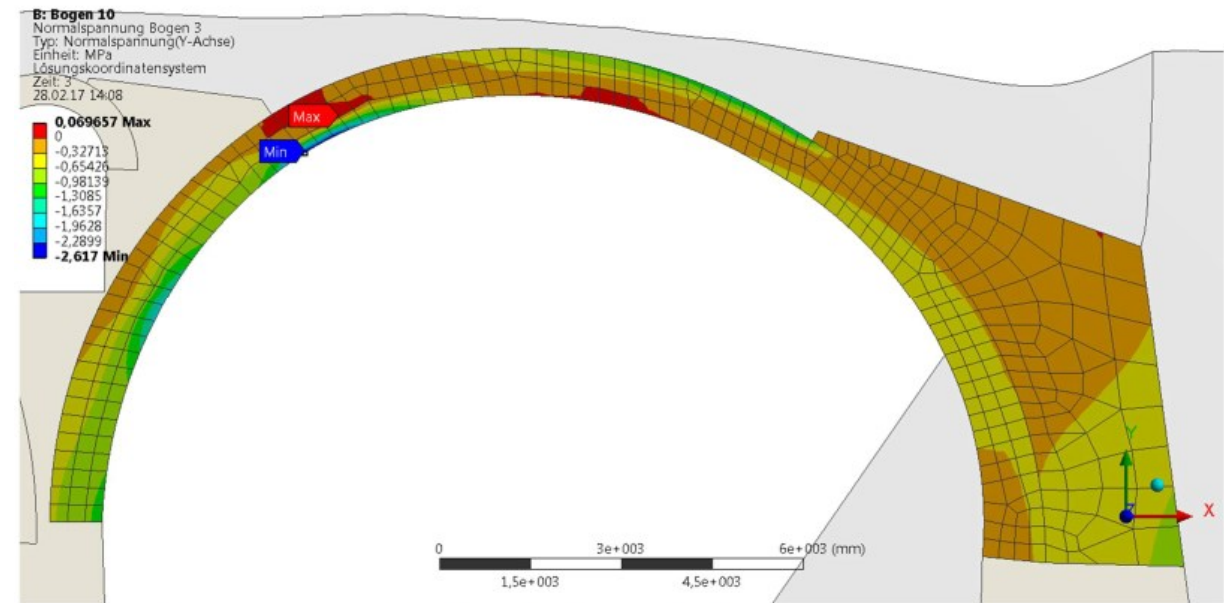


Bild 30 Normalspannungen (entlang der Bogenachse) im Bogen 10 bei einer Bemessungslast von 150kN je Achse

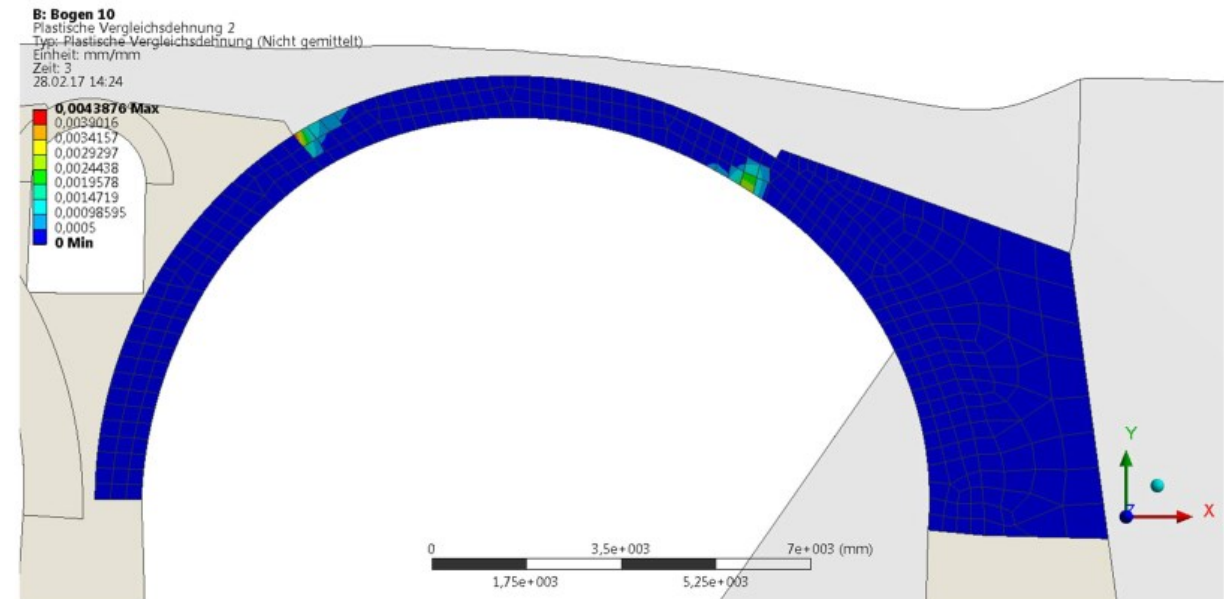


Bild 31 Plastische Vergleichsdehnungen im Bogen 10 bei einer Bemessungslast von 150kN je Achse

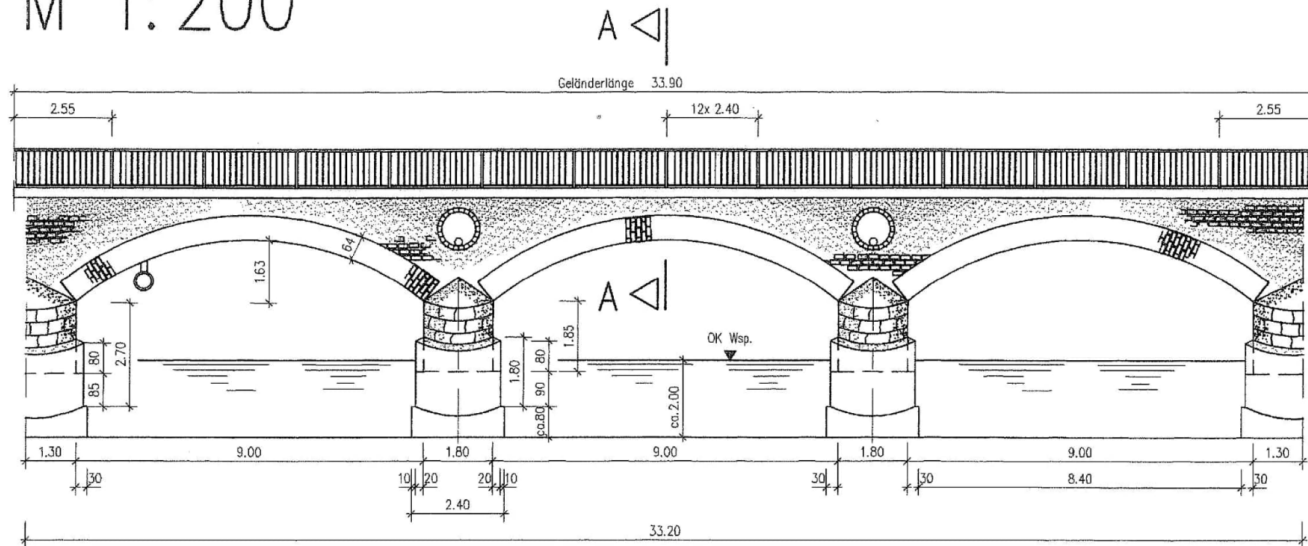
Brücken

Beispiel Karlbrücke Leipzig

Abriss einer Gewölbebrücke

Längsansicht von Südwesten

M 1:200

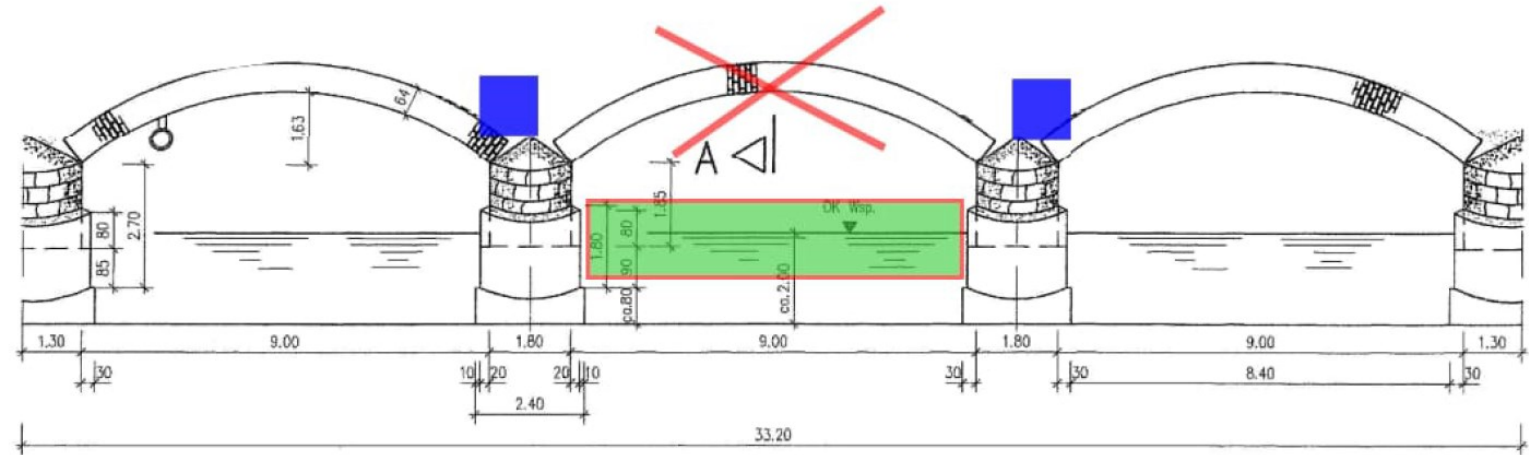
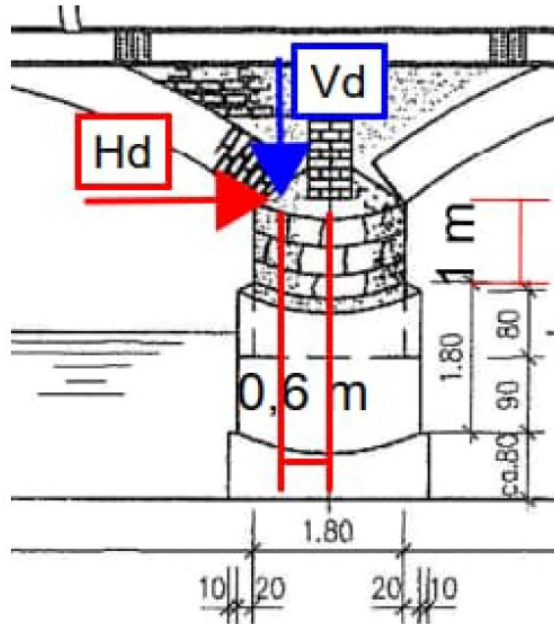


Quelle: Ib für Tragwerksanalyse Dresden GmbH

Brücken

Beispiel Karlbrücke Leipzig

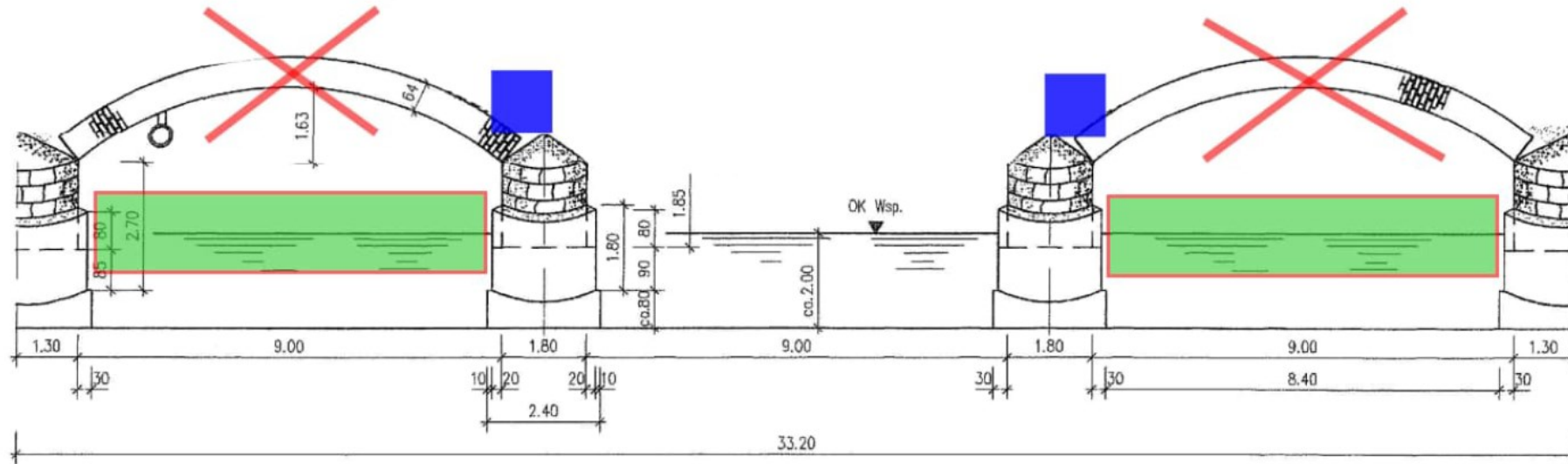
Abriss einer Gewölbebrücke



Brücken

Beispiel Karlbrücke Leipzig

Abriss einer Gewölbebrücke



Bögen und Gewölbe

Stützzlinie



Bögen und Gewölbe

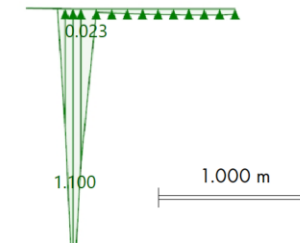
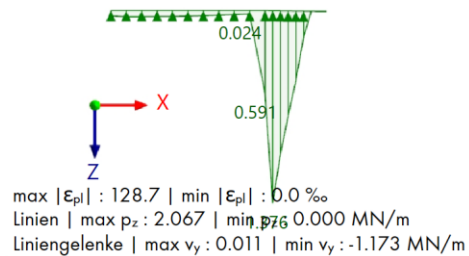
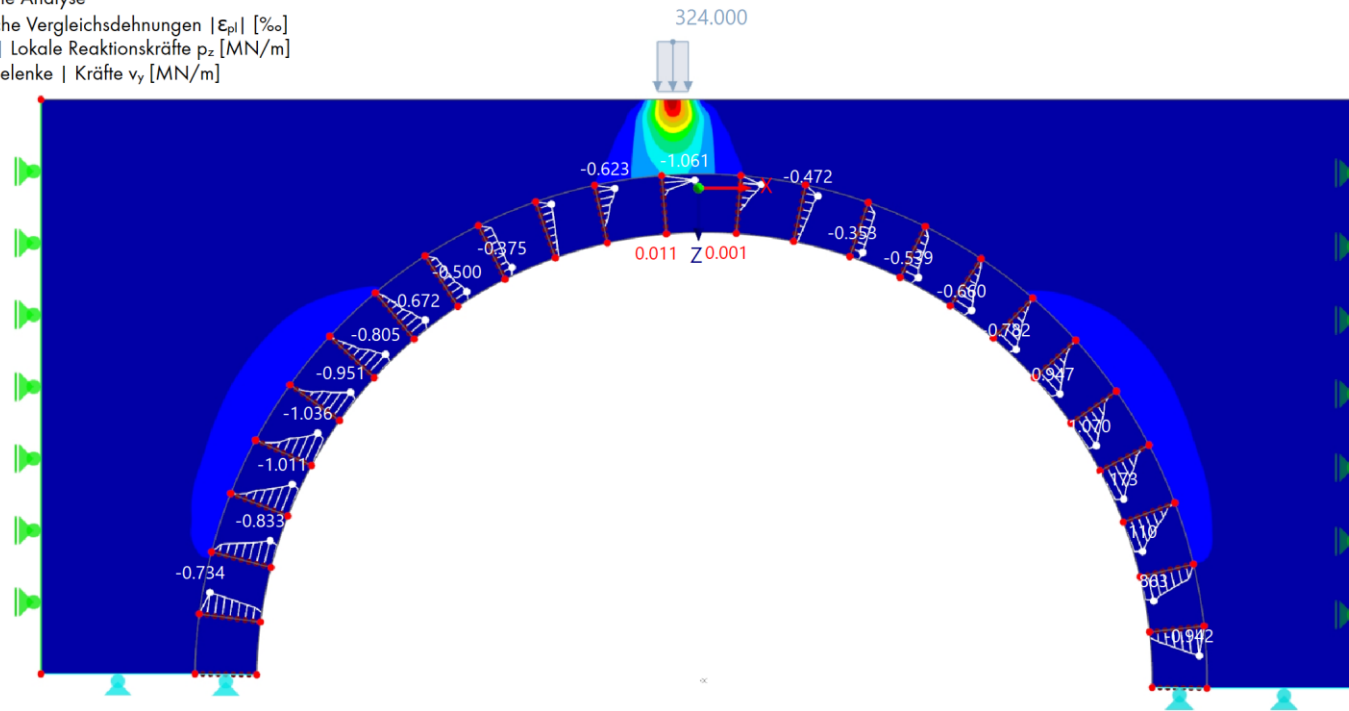
Stützlinie

A LK4: KRITERIEN $|\epsilon_{pl}|$, LINIENLAGER p_z , KRÄFTE V_y , BELASTUNG, IN RICHTUNG -Y

Statische Analyse

In Richtung -Y

LK4 - 1.35 * LF1 + 1.50 * LF4
 Lasten [kN/m]
 Statische Analyse
 Plastische Vergleichsdehnungen $|\epsilon_{pl}|$ [‰]
 Linien | Lokale Reaktionskräfte p_z [MN/m]
 Liniengelenke | Kräfte v_y [MN/m]



2. Staumauern

Staumauern

DEUTSCHE NORM

Juli 2004

	DIN 19700-10	DIN
ICS 93.160		Mit DIN 19700-11:2004-07 Ersatz für DIN 19700-10:1986-01
Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen		
Dam plants – Part 10: General specifications		
Ouvrages de prise d'eau – Partie 10: Spécifications générales		

Staumauern

9.3 Baustoffe und Bauteile für Staumauern und Wehre

9.3.1 Beton und Stahlbeton

Für Beton und Stahlbeton gelten die einschlägigen Normen, insbesondere DIN 1045-1 bis DIN 1045-3.

9.3.2 Massenbeton

Als Massenbeton im Sinne der Norm gilt Beton für jene Bauwerke und Bauteile, deren Abmessungen so groß sind, dass die Hydratationswärme betontechnologisch besonders berücksichtigt werden muss. Er gilt als Beton mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1045-2. Massenbeton ist in der Regel in die Überwachungsklasse 2 einzuordnen. Auf weitere Empfehlungen zu Massenbeton (siehe [13] und [14]) wird hingewiesen.

9.3.3 Walzbeton

Walzbeton (en: Roller Compacted Concrete (RCC)) ist ein bindemittelarmer Beton außerhalb des Regelungsbereiches der DIN 1045-2 und DIN 1045-3 (Zementgehalt etwa zwischen 80 kg und 150 kg je m³ Frischbeton). Er wird mit den Verfahren des Erdbaus eingebracht und verdichtet. Die Eigenschaften des Walzbetons sind durch Versuche zu bestimmen und auf die jeweiligen Anforderungen abzustimmen. Walzbeton hat in der Regel eine höhere Durchlässigkeit und eine geringere Frostbeständigkeit als ein Beton nach DIN 1045-2. Durch den relativ geringen Zement- und Wassergehalt werden das Schwindmaß und die Hydratationswärmeentwicklung des Betons herabgesetzt. Als Bindemittel werden dem Zement häufig Puzzolane beigemischt.

Staumauern

9.3.4 Mauerwerk

Absperrbauwerke werden in der Regel nicht mehr aus Mauerwerk erbaut. Andererseits sind früher in großer Zahl Staumauern zumeist aus Natursteinmauerwerk (Bruchsteinmauerwerk) (siehe DIN 1053-1) errichtet worden.

Das vermauerte Gestein stammt in der Regel aus der Baustelle benachbarten Steinbrüchen. Es kann sich hinsichtlich Gesteinsart, Verwitterungsanfälligkeit, Festigkeit und Verformbarkeit auch innerhalb eines Bauwerkes unterscheiden. Die Festigkeit des Mauerwerks wird nicht so sehr vom Steinmaterial als vielmehr vom Mauerwerksgefüge bestimmt.

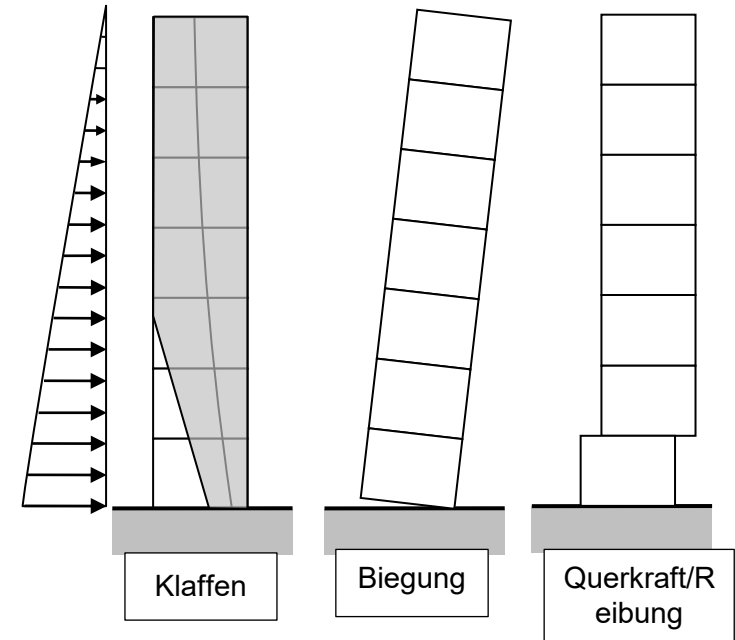
Für die Beurteilung der Verformbarkeit des Mauerwerks ergeben Laboruntersuchungen an kleinen Proben gewöhnlich keine realistischen Ergebnisse, da die Prüfkörper durch Zufälligkeiten der Verteilung von Stein und Mörtel beeinflusst sind. Besser geeignet sind In-situ-Versuche, bei denen Mauerwerksbereiche zumindest in Kubikmetergröße untersucht werden können. Bei geeigneter und ausreichender messtechnischer Ausstattung der Staumauer lässt sich die Verformbarkeit auch durch die Rückrechnung von gemessenen Bauwerksverformungen bestimmen.

Bei Absperrbauwerken ist die Durchlässigkeit des Mauerwerks von besonderer Bedeutung. Die Durchlässigkeit des Gesteins ist im Regelfall sehr gering und ändert sich auch nicht mit der Zeit. Die Durchlässigkeit des Mörtels kann sich jedoch im Laufe von Jahrzehnten verändern und ist daher von Zeit zu Zeit zu prüfen.

Staumauern

- Begriff Stau-**Mauer**
- Gewichtsstaumauern
- Bogenstaumauern
- Pfeilerstaumauern

Staumauern



$$e = \frac{M}{N}$$

Normal		
Wichte:	18 kN/m ³	
Querkraft	Biegung	Klaffen
d	d	d
m	m	m
0,941	1,148	1,137

Staumauern

- Talsperre Janov
- Möhnestaumauer
- Talsperre Malter (Bruchsteinmauerwerk Biotitgneis)
- Talsperre Klingenberg

Staumauern

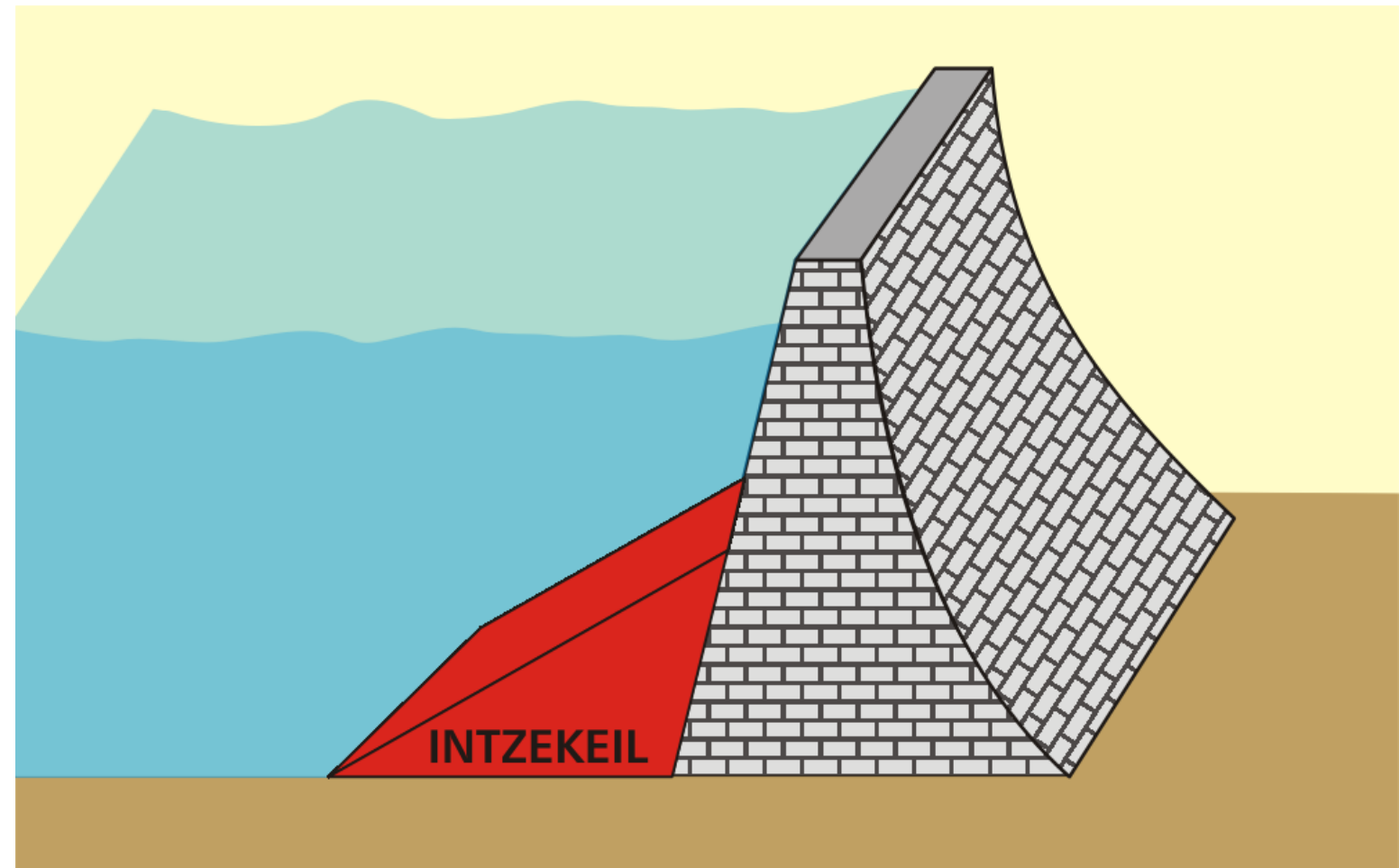
Möhnestaumauer



Quelle: momentum-magazin.de

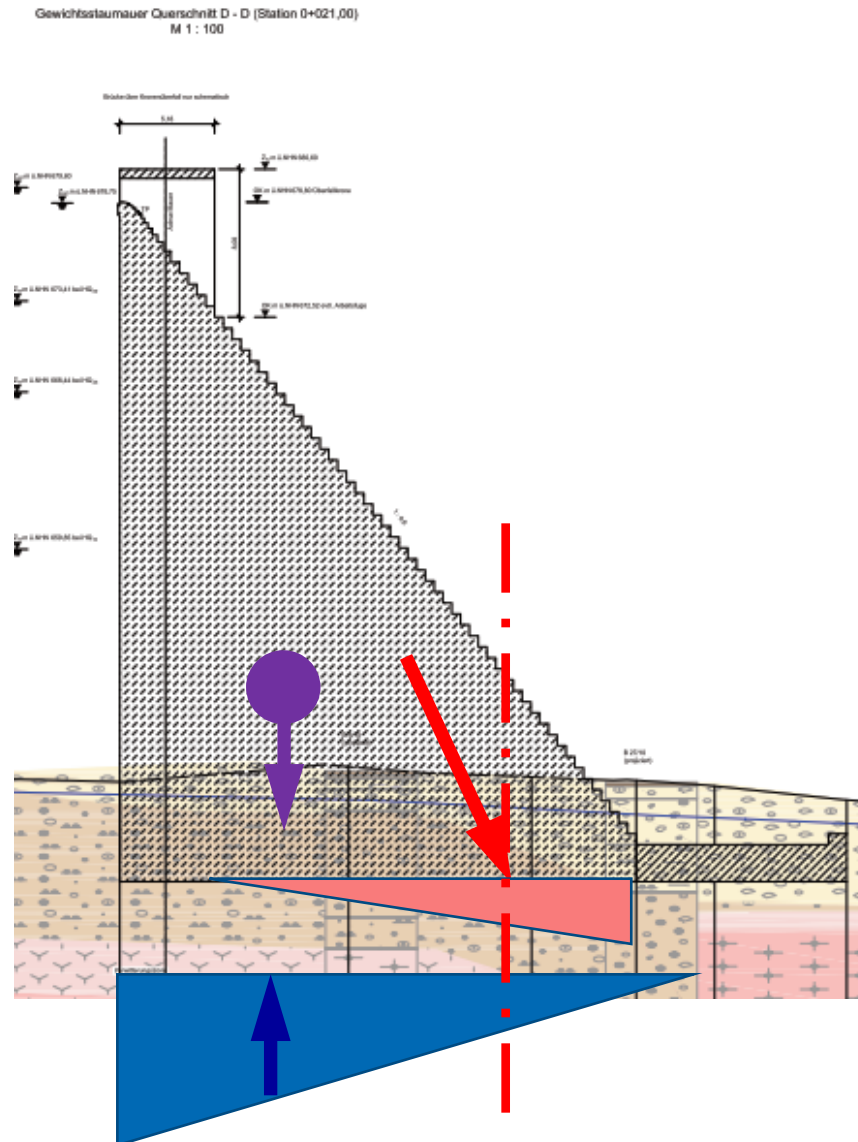
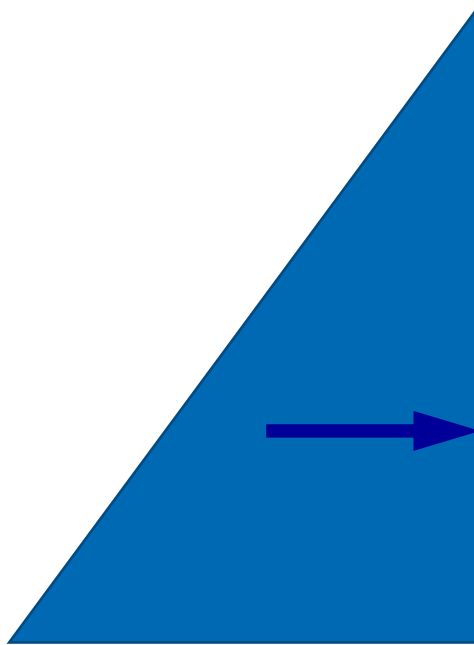
Staumauern

- Begriff Stau-**Mauer**
- **Gewichtstaumauer**



Von Helfmann auf Wikipedia auf Deutsch, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18361751>

Staumauern



$$e = \frac{M}{N}$$

3. Kirchen

Kirchen

Frauenkirche
18. Jahrhundert

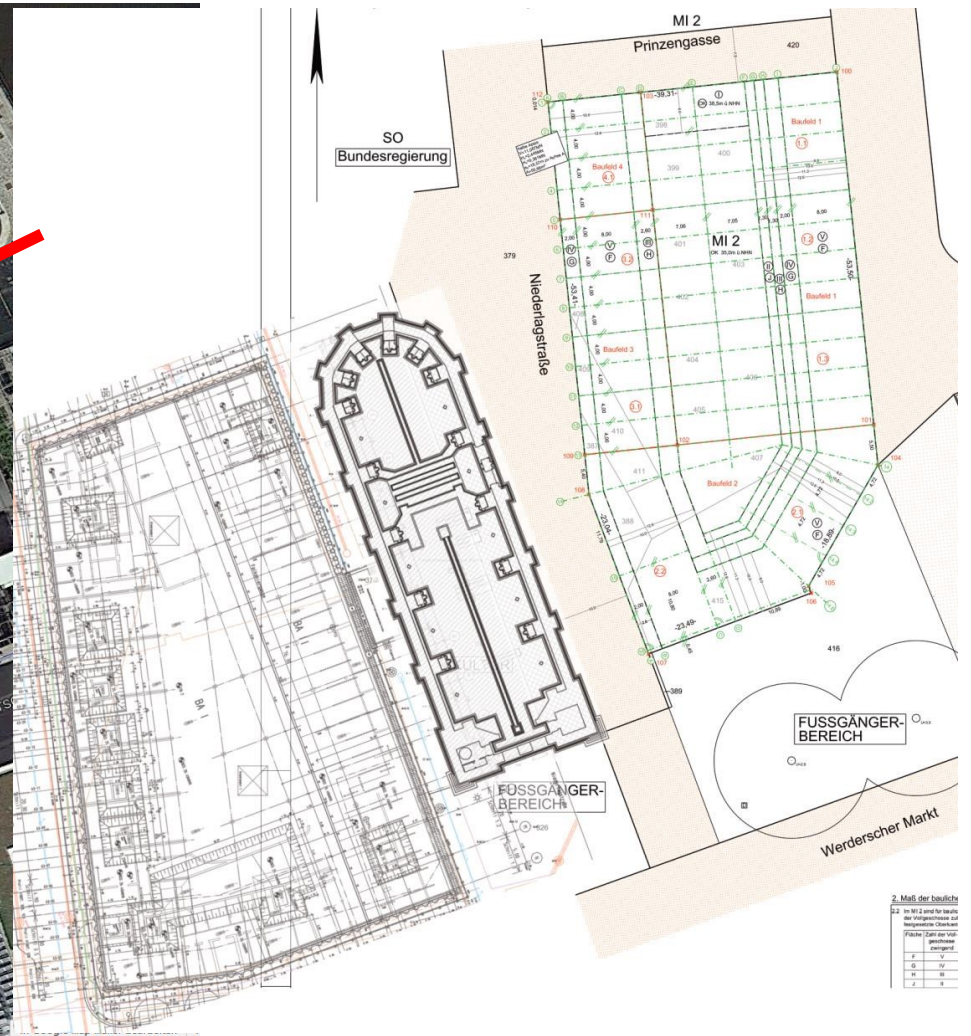
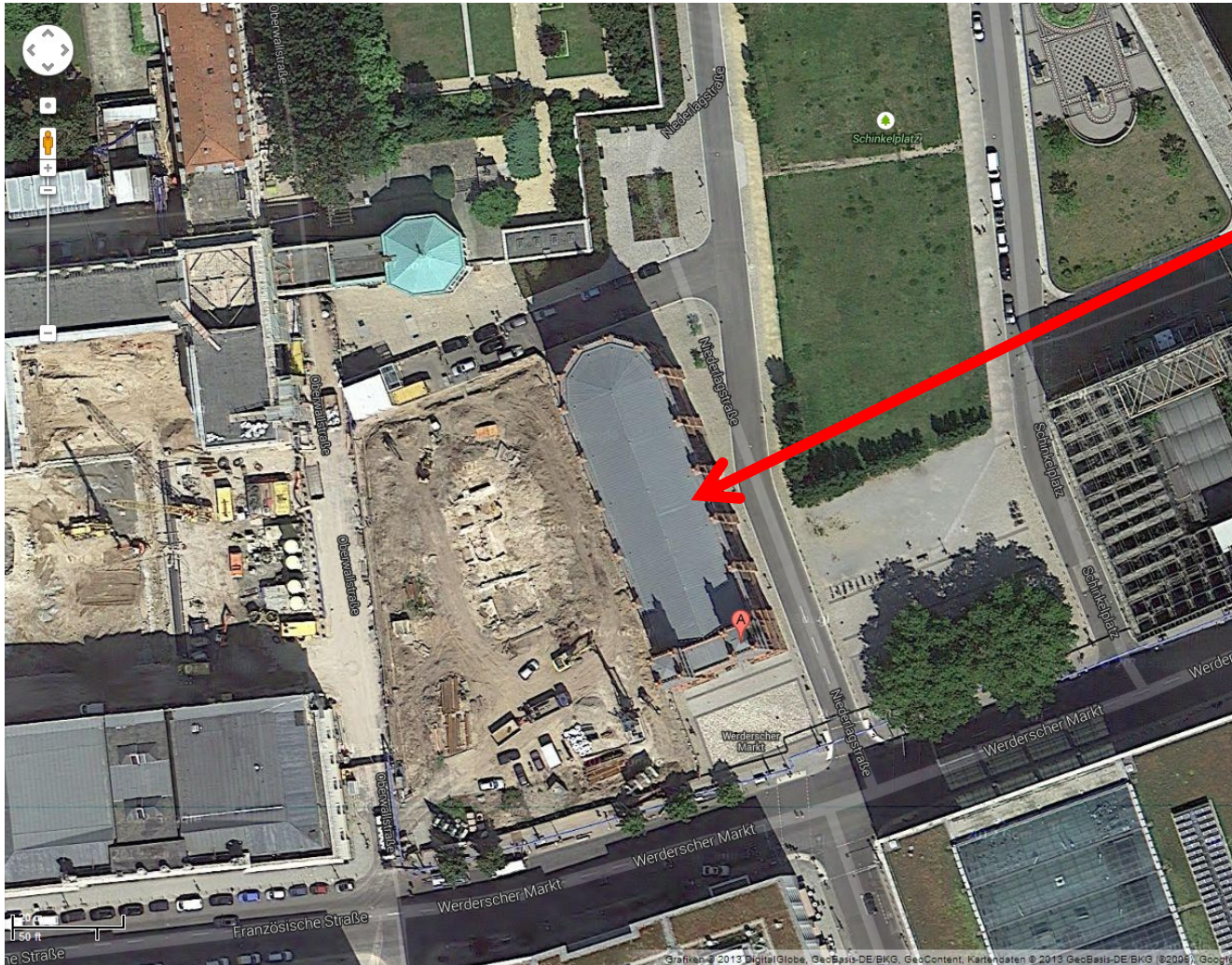


Friedrichswerdersche Kirche Berlin
19. Jahrhundert



Kirchen

Bezug Kirche Baugruben



Kirchen

Setzungsmechanismen



Kirchen

Baustopp - Wege zur Konfliktlösung

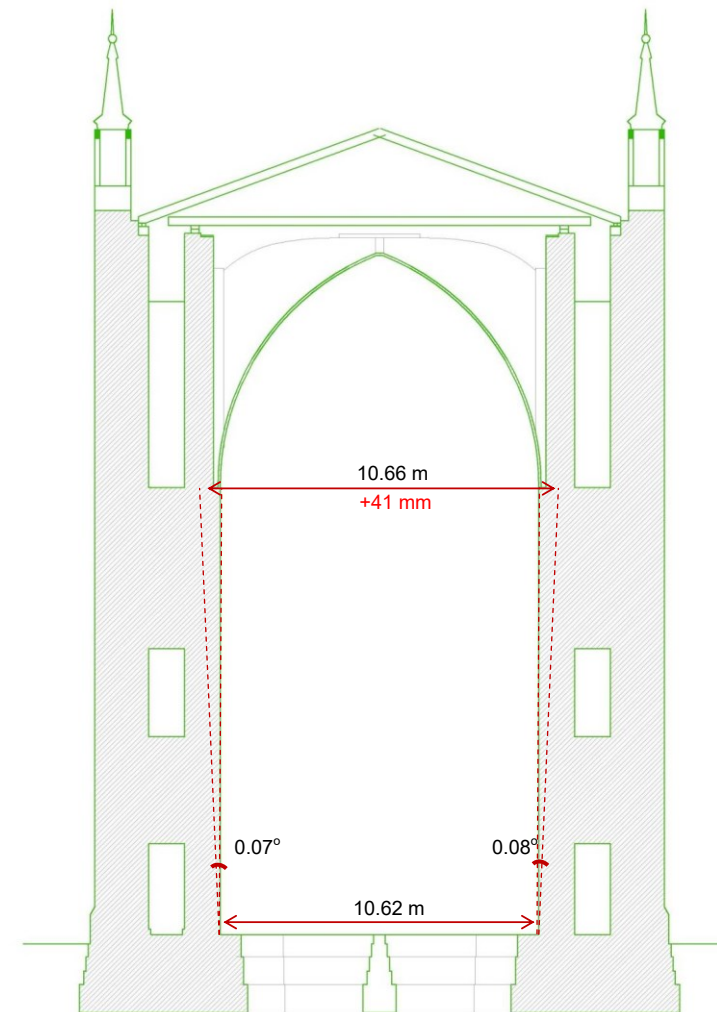
- Was hält die Kirche an Verformungen noch aus, ohne ihre dauerhafte Standsicherheit zu verlieren?
- Ist eine sichere Prognose möglich?
- Festlegung von Grenzreaktionen und entsprechenden Maßnahmen?



Kirchen

Vorgehensweise

- Ermittlung der bisherigen Verformungen:
 1. vor Baubeginn
 2. seit Baubeginn
 3. bei Fortsetzung
- Mit Hilfe von:
 - Risskartierungen
 - Laserscan
 - Setzungsmessungen
 - Baugrundsimulationen GuD
- Modellierung
- Eigenlastzustand
- Aufprägen der Verformungen

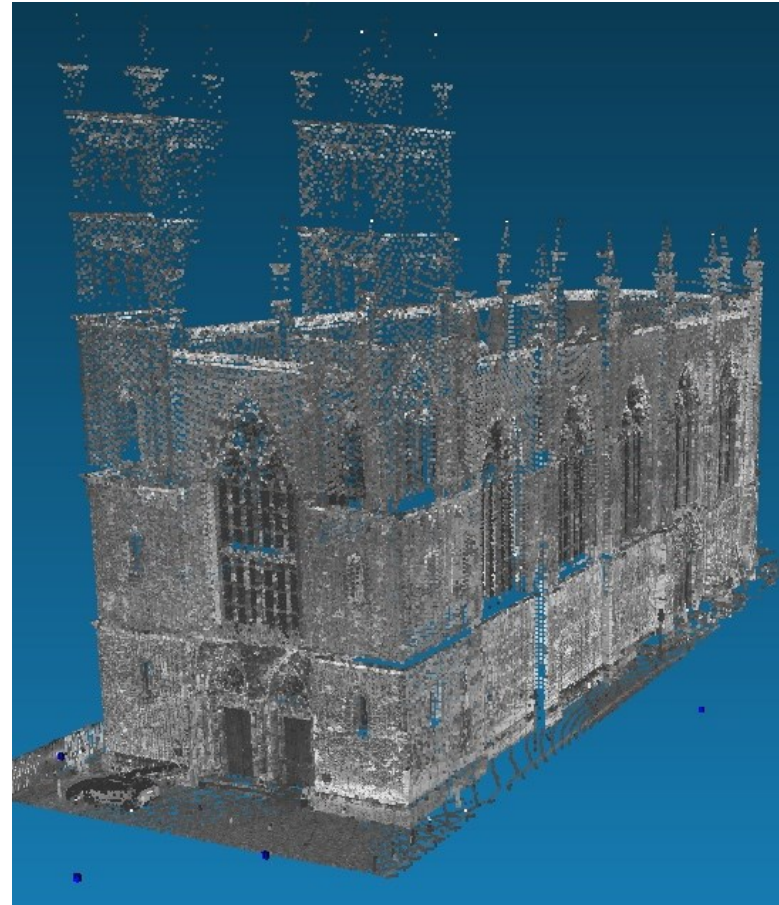


Kirchen

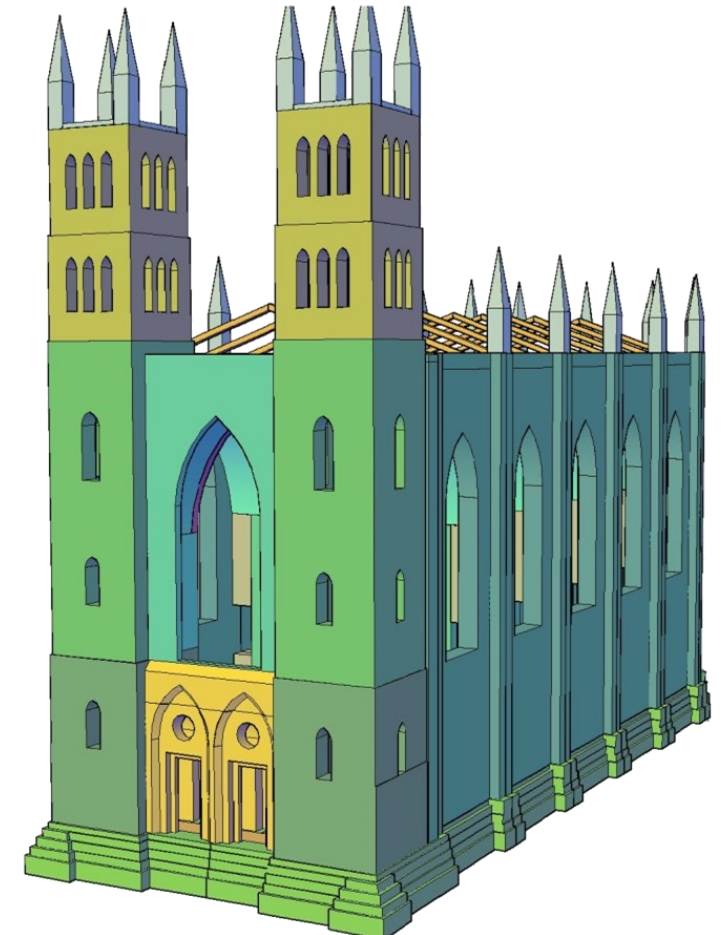
Modellierungsgrundlagen



Aufmaßpläne



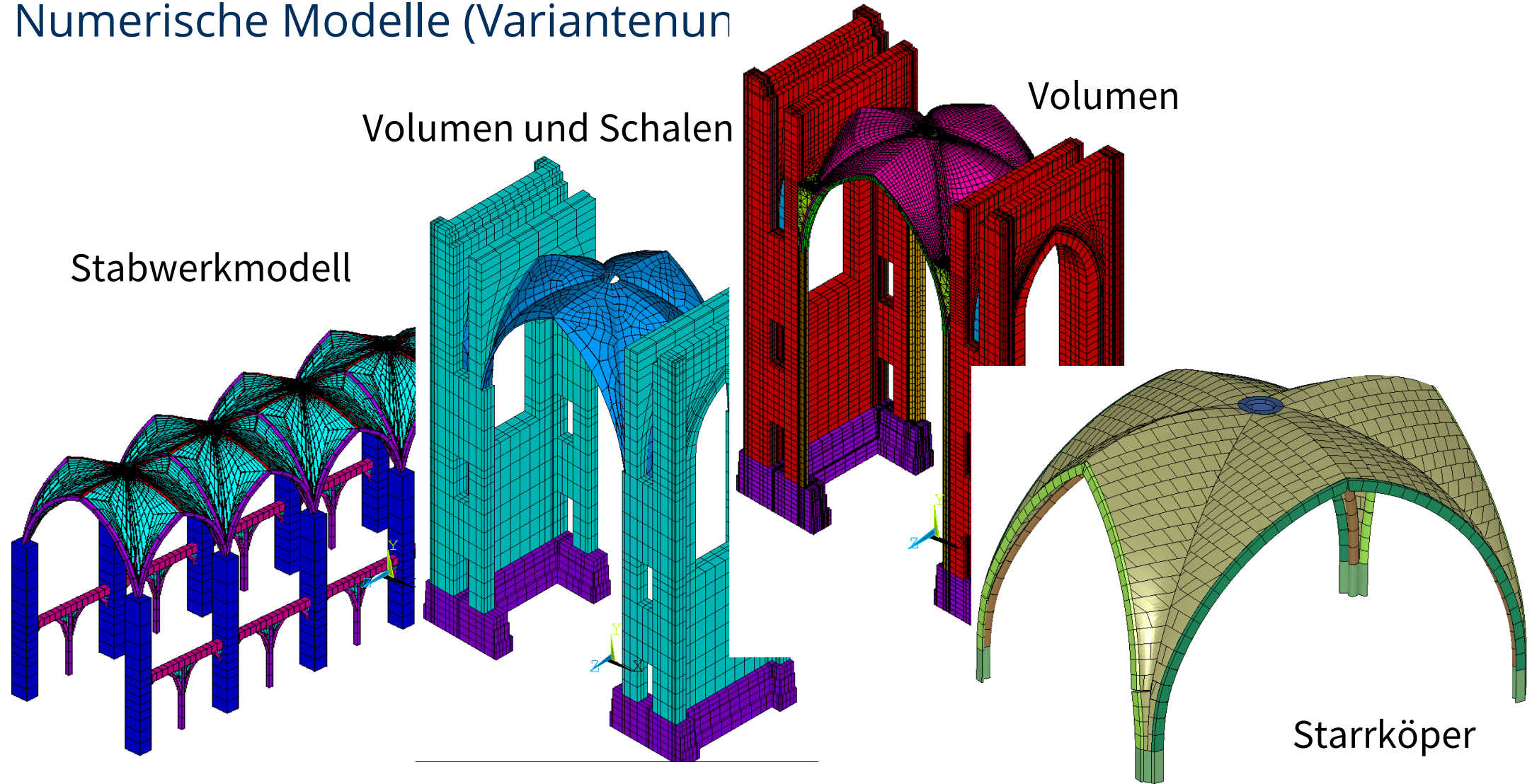
Laserscan



CAD-Modell

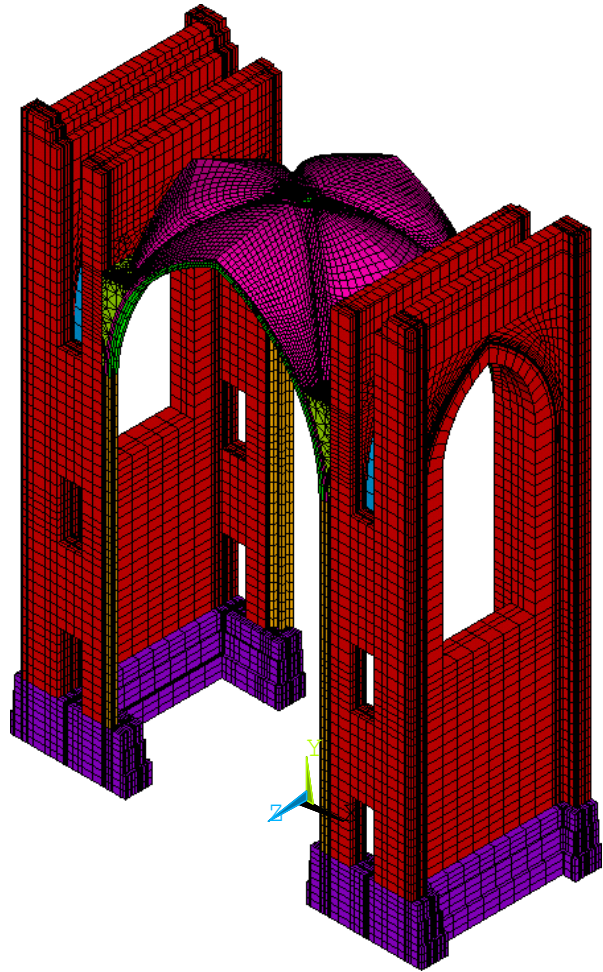
Kirchen

Numerische Modelle (Variantenun

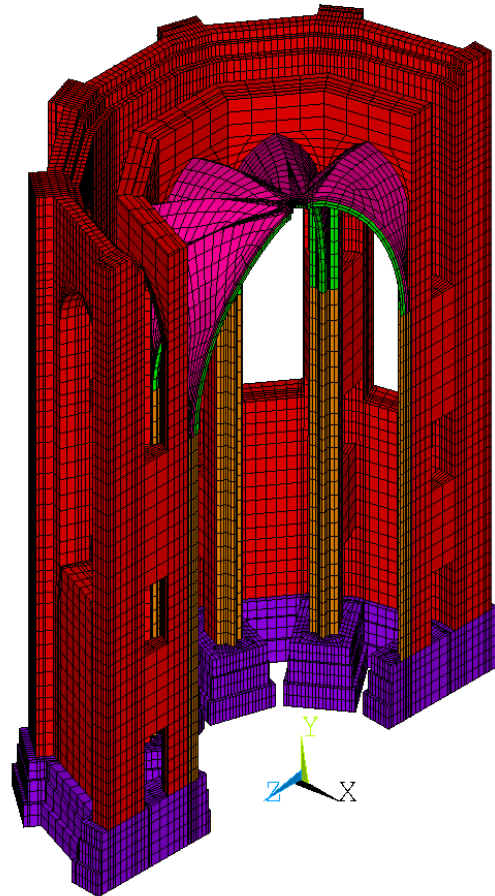


Kirchen

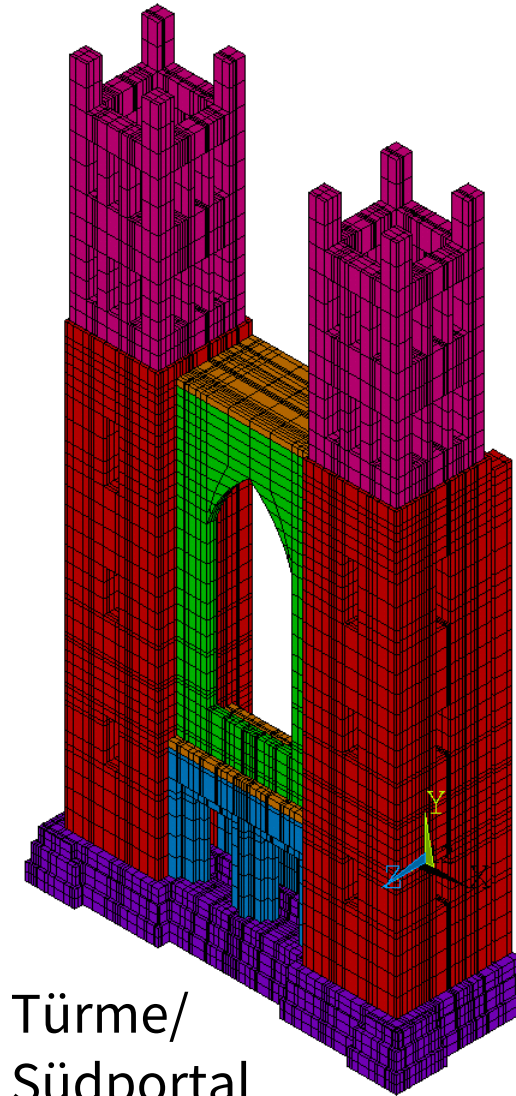
Numerische Modelle



Jochbereich



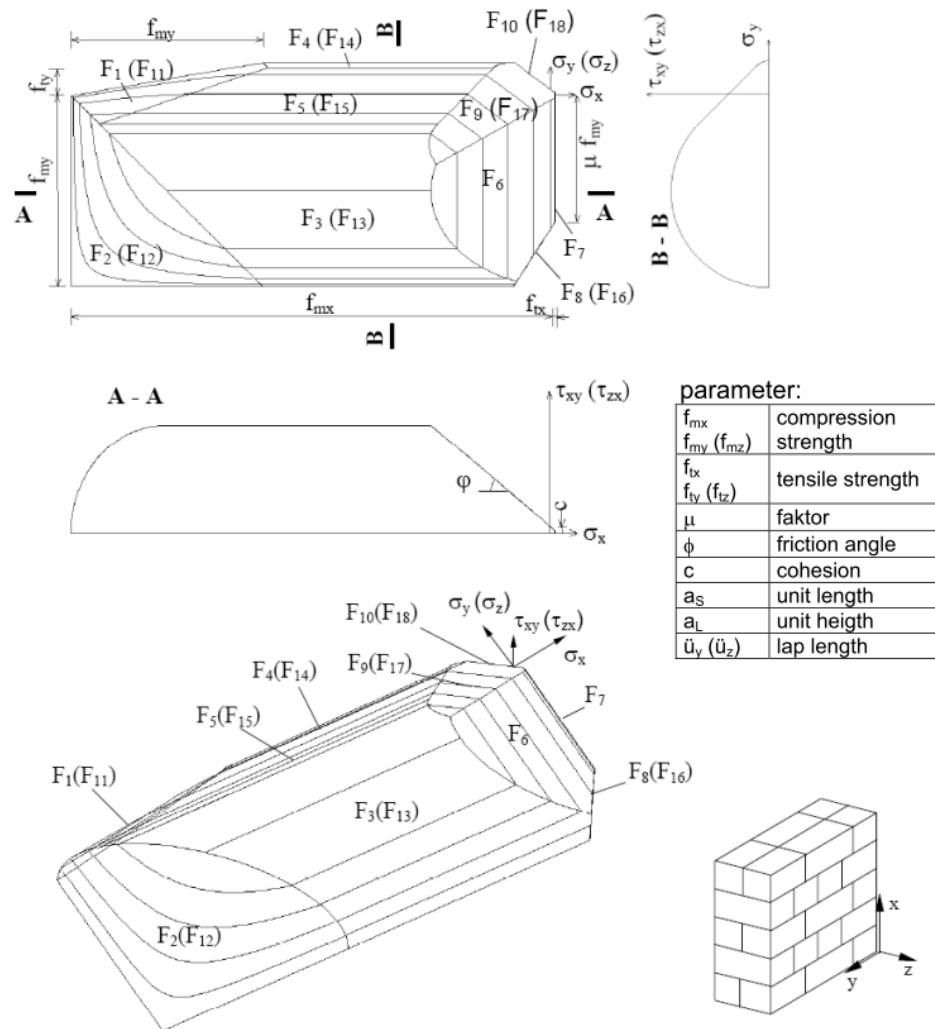
Apsis/Chor



Türme/
Südportal

Kirchen

Materialmodell (Anisotropie des Mauerwerks)



F1 (F11)	Zugversagen der Steine
F2 (F12)	Druckversagen des Mauerwerks
F3 (F13)	Steinzugversagen infolge Schubbelastung
F4 (F14)	Zugversagen parallel zu den Lagerfugen infolge Steinversagens
F5 (F15)	Schubversagen
F6	Reibungsversagen Lagerfugen
F7	Zugversagen senkrecht zu den Lagerfugen
F8 (F16)	Zugversagen senkrecht zu den Lagerfugen infolge horizontalen Drucks
F9 (F17)	Reibungsversagen Lagerfugen (Mann/Müller)
F10 (F18)	Zugversagen parallel zu den Lagerfugen infolge Reibungsversagens

Quelle Ganz/Mojsilović
Dynardo (MultiPlas)

Kirchen

Verband (Ausrichtung der Lagerfugen)

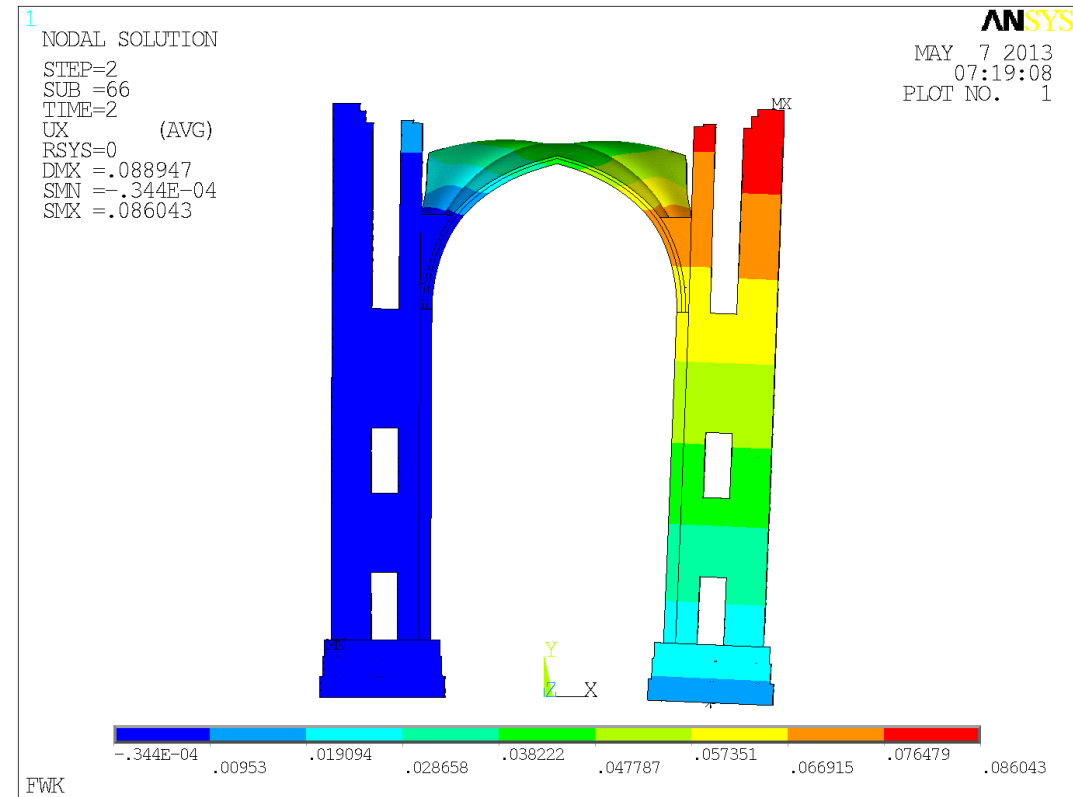
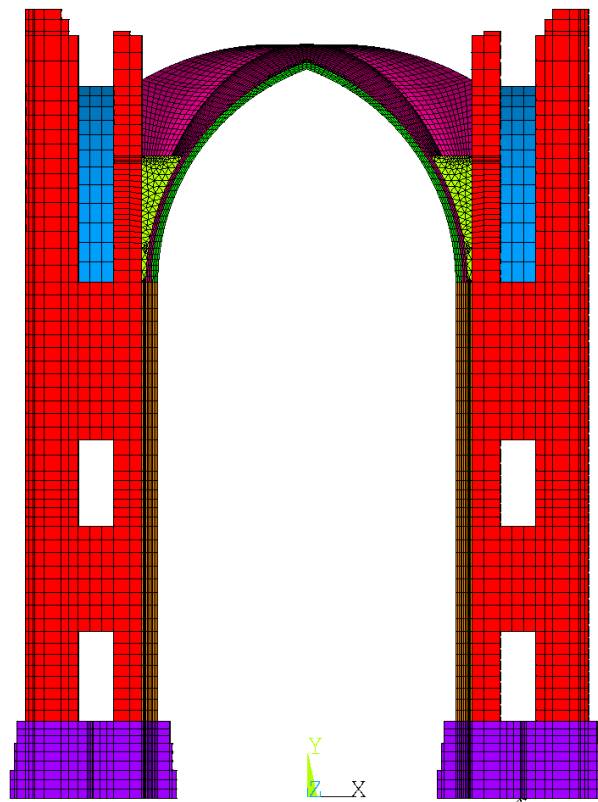


- Steinformate
- Sondersteine (Rippen etc.)
- Ausrichtung der Lagerfugen



Kirchen

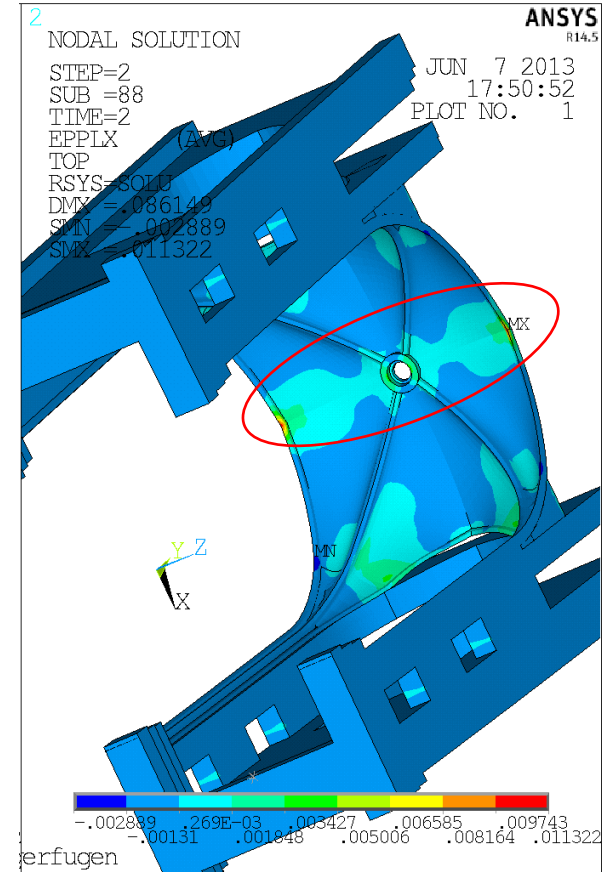
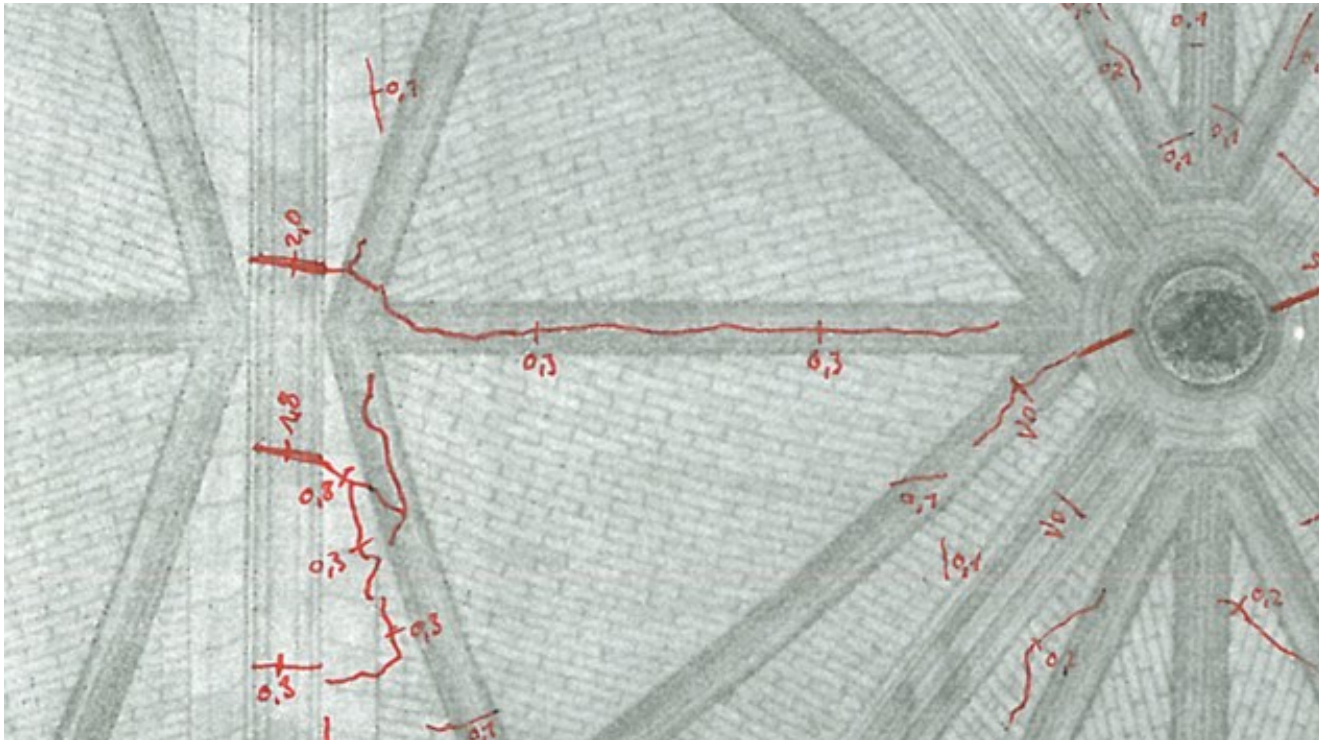
Jochbereich (horizontale Verformung (GZG))



Eigengewicht und einseitige Auflagerverformung
(Zustand nach Baustopp)

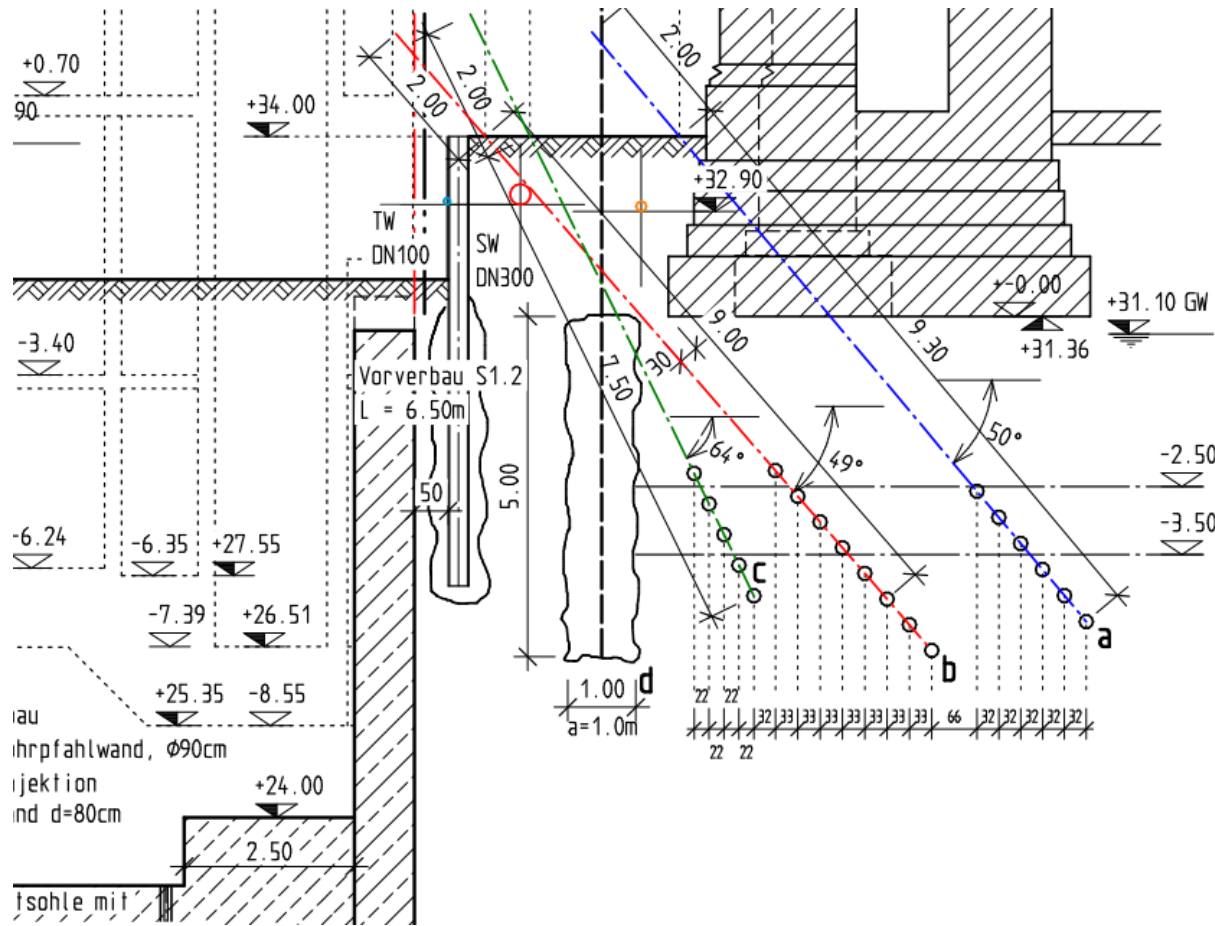
Kirchen

Jochbereich (Rissweite nach Baustopp)

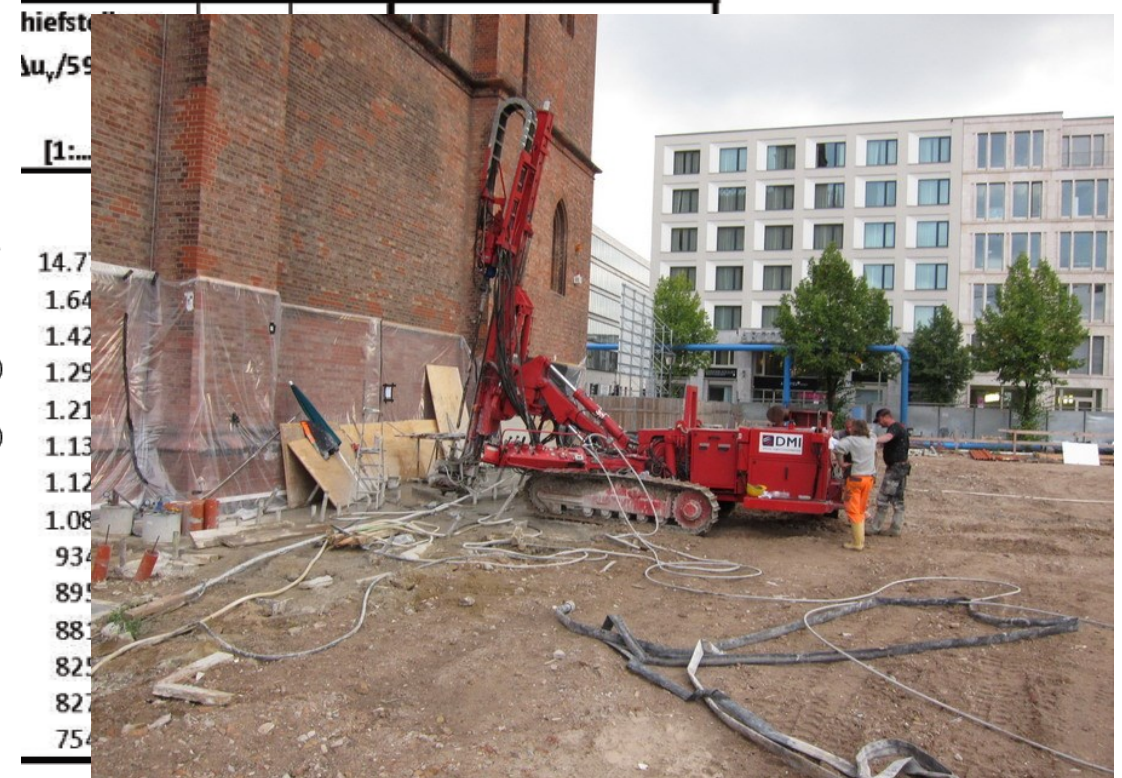


Kirchen

Kompensation der Setzungen (Hebungsinjektionen)

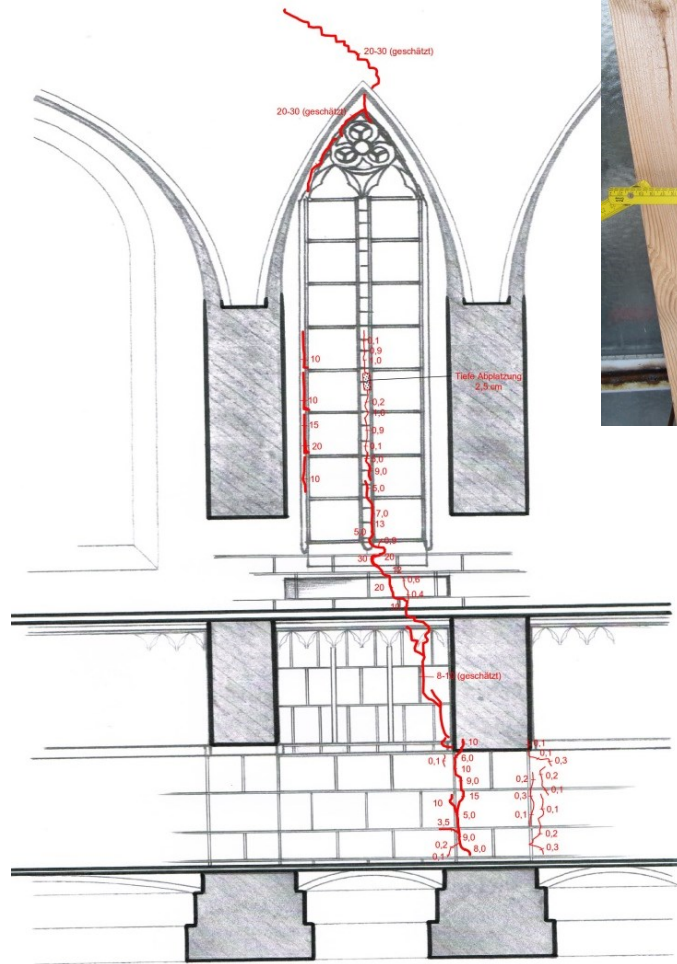


Kirchenfundament	Verformung Schlitzwand
------------------	------------------------



Kirchen

Risskartierung - APSIS



Bsp. Zwickauer Dom

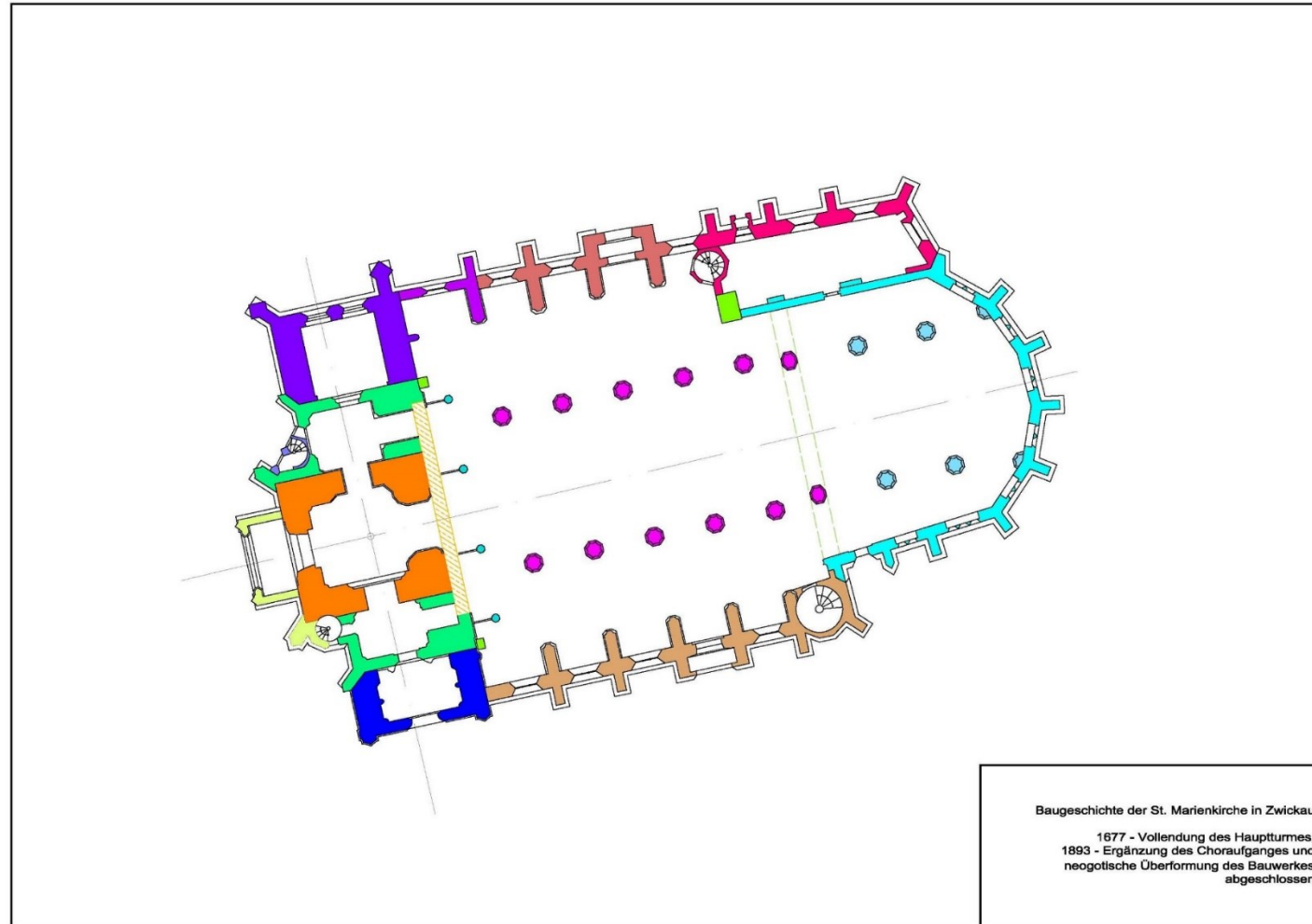
Überblick

- Historischer Abriss
- Untersuchungen
- Erfolgte und geplante Maßnahmen
- Statischen Berechnungen und Simulationen
- Ausblick



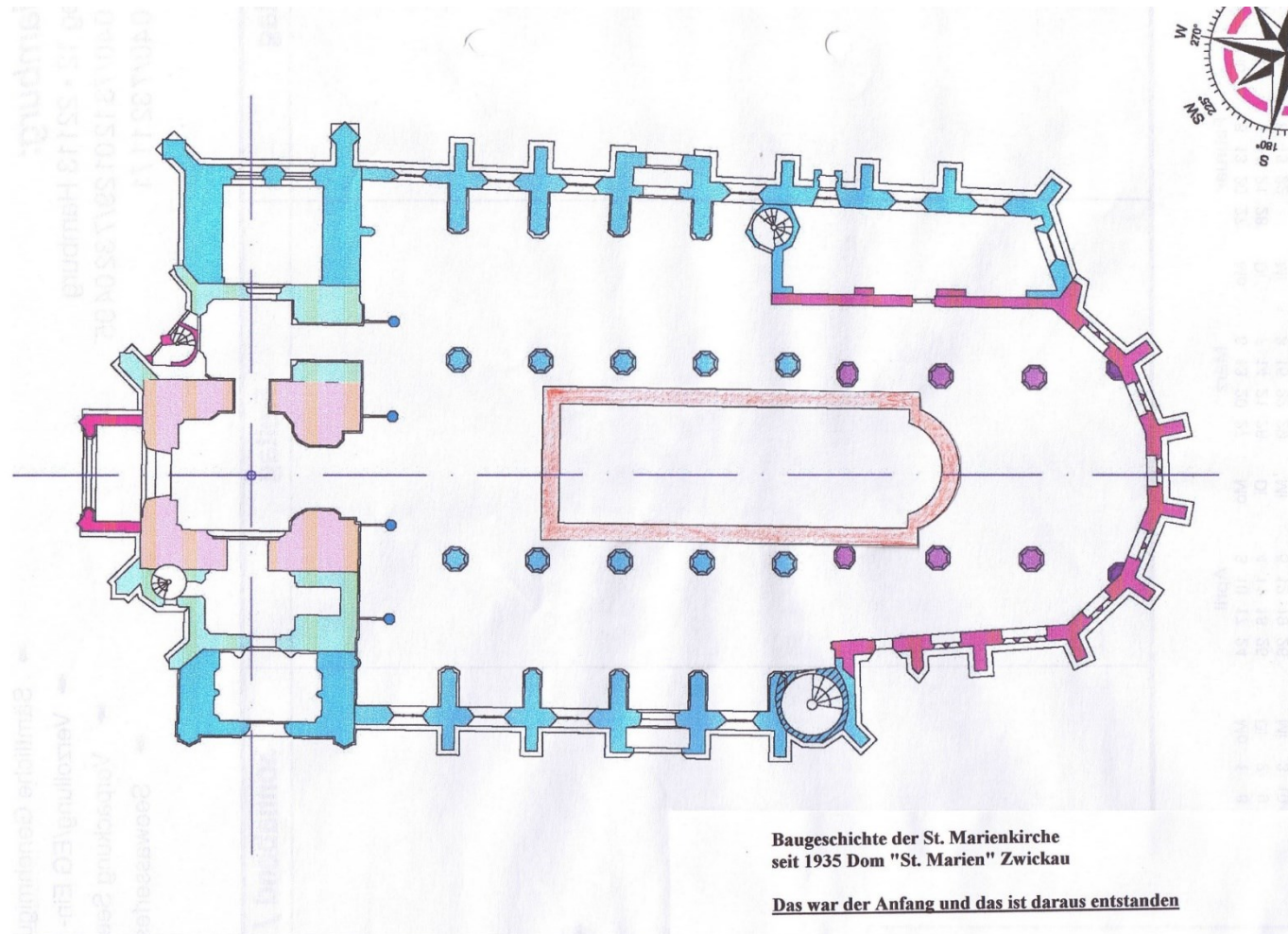
Bsp. Zwickauer Dom

Historischer Abriss



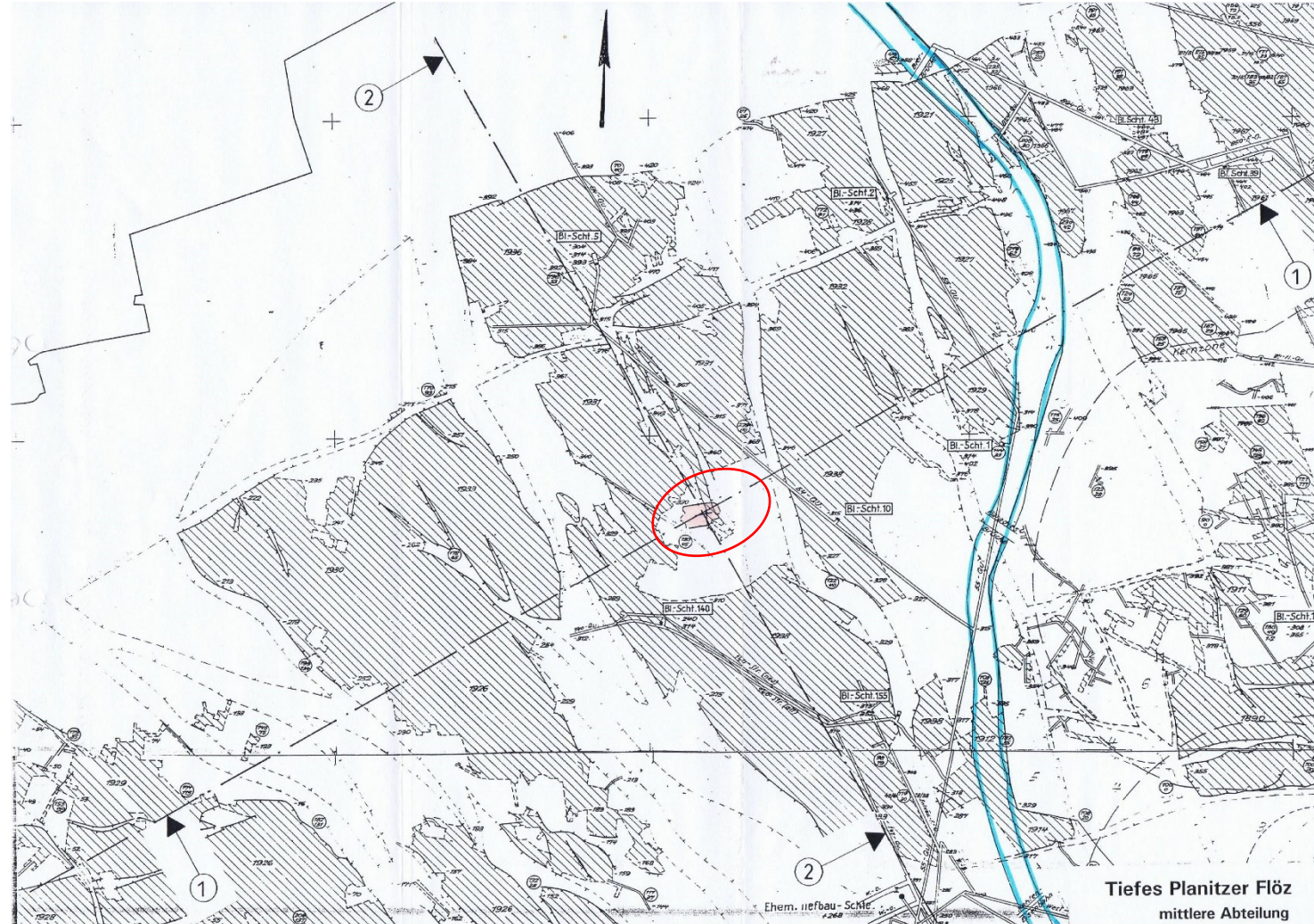
Bsp. Zwickauer Dom

Historischer Abriss



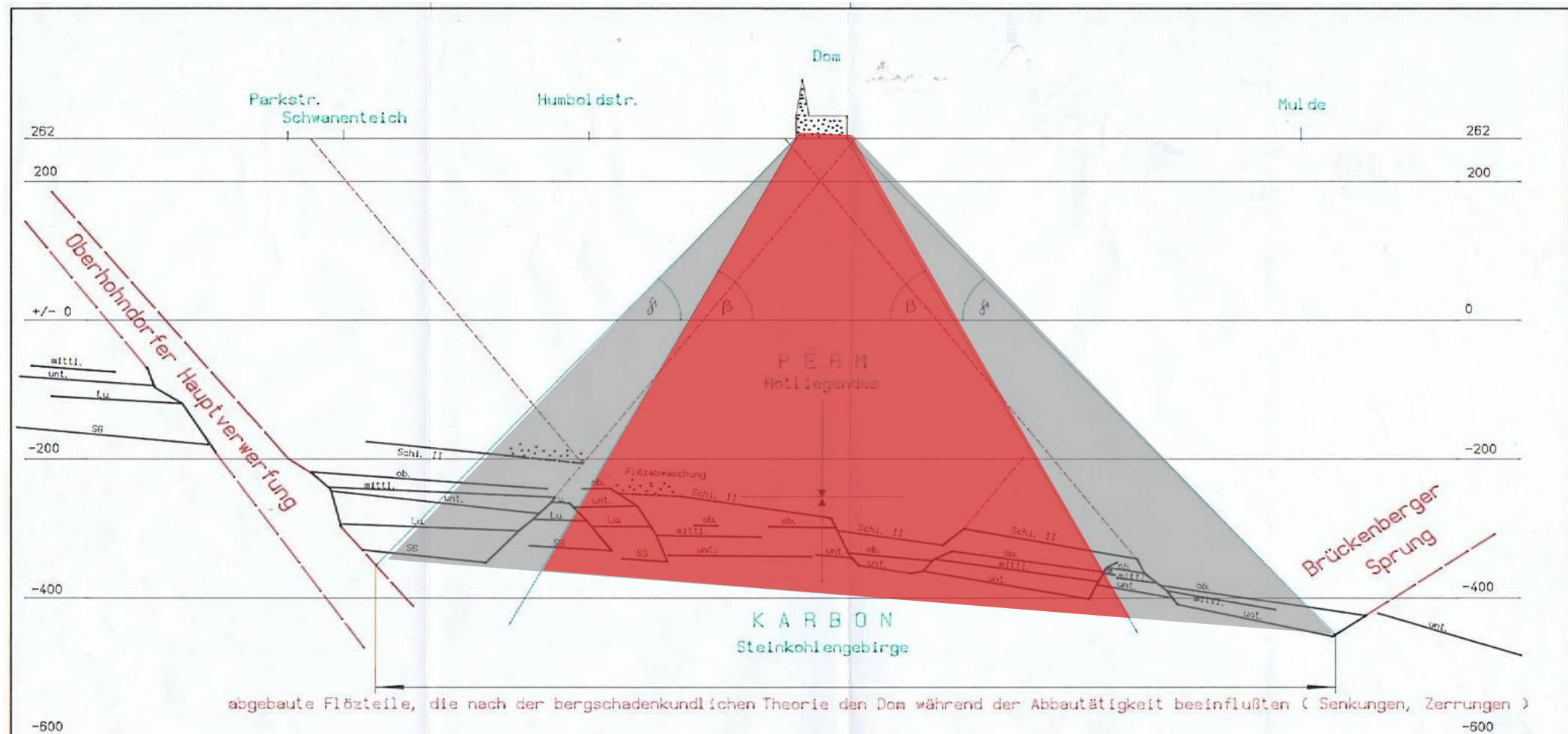
Bsp. Zwickauer Dom

Historischer Abriss



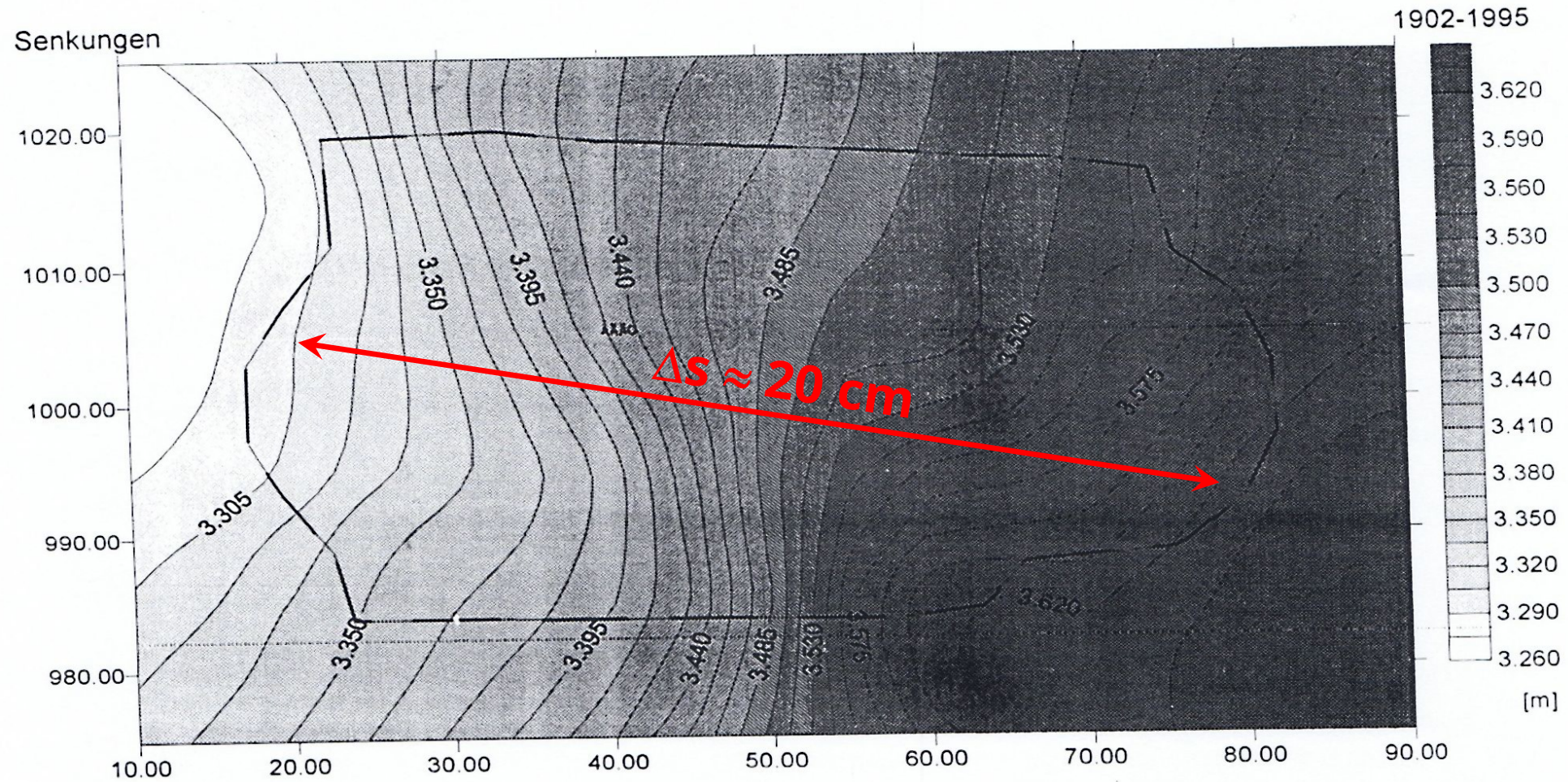
Bsp. Zwickauer Dom

Historischer Abriss



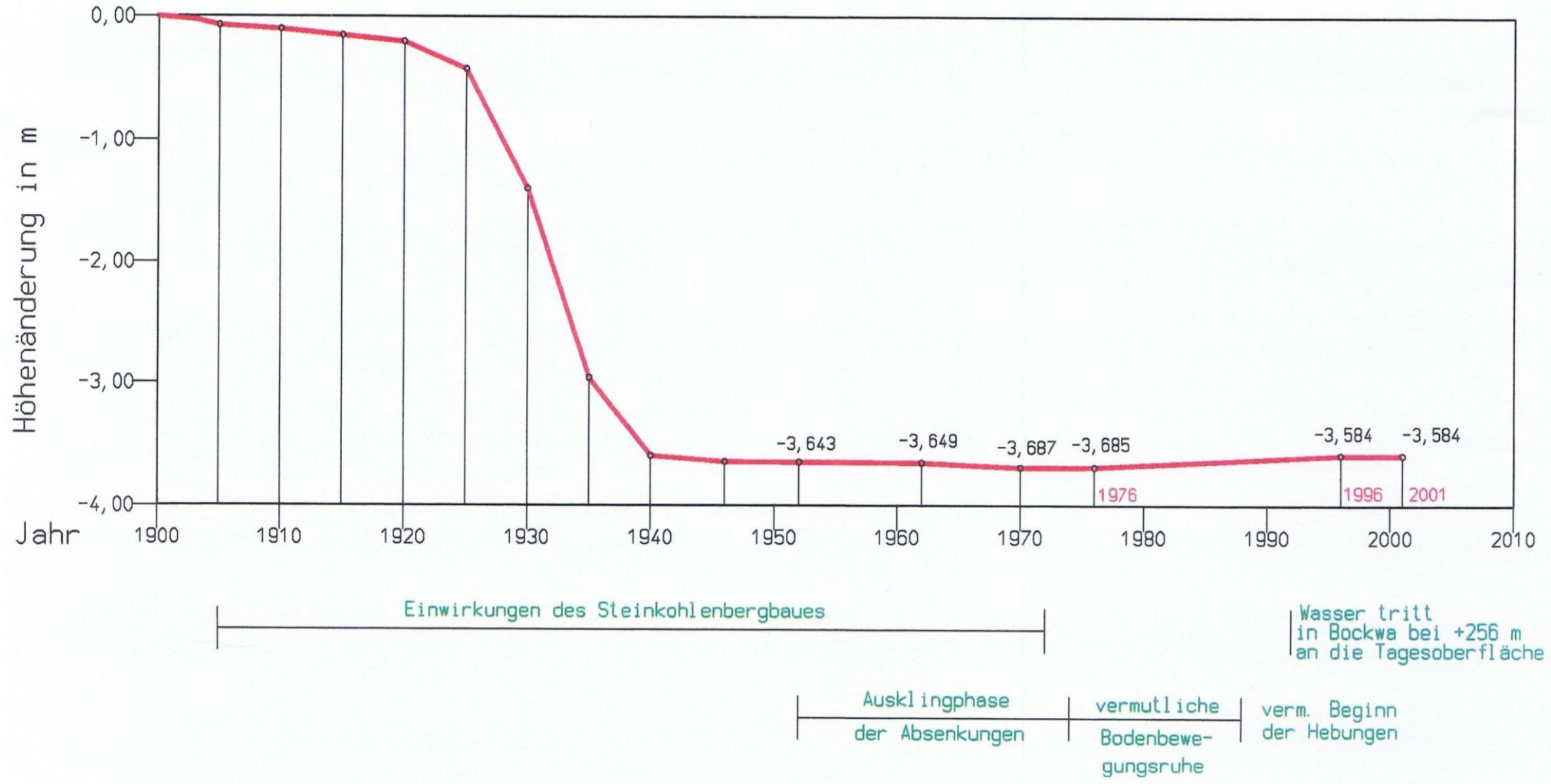
Bsp. Zwickauer Dom

Messungen



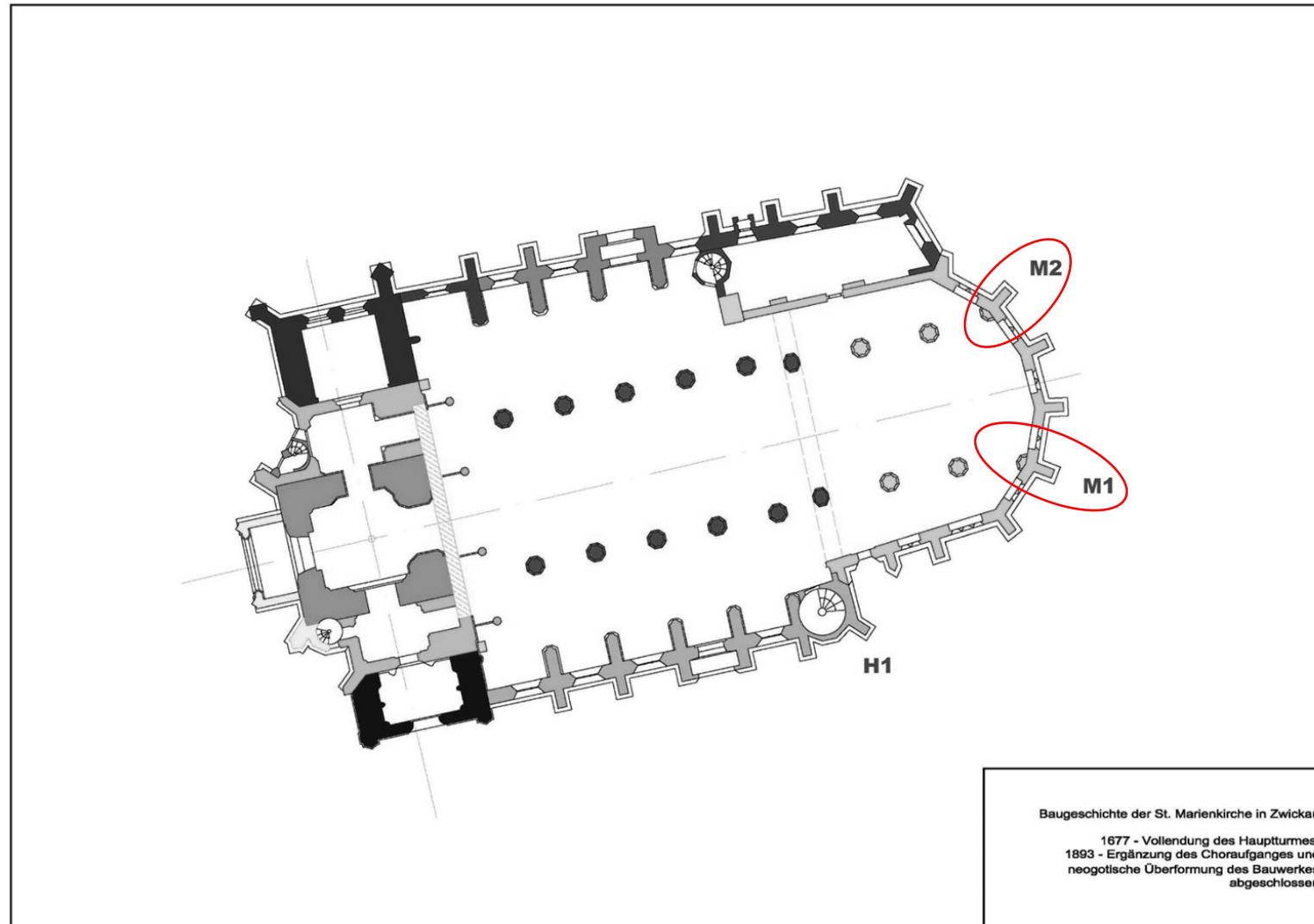
Bsp. Zwickauer Dom

Messungen



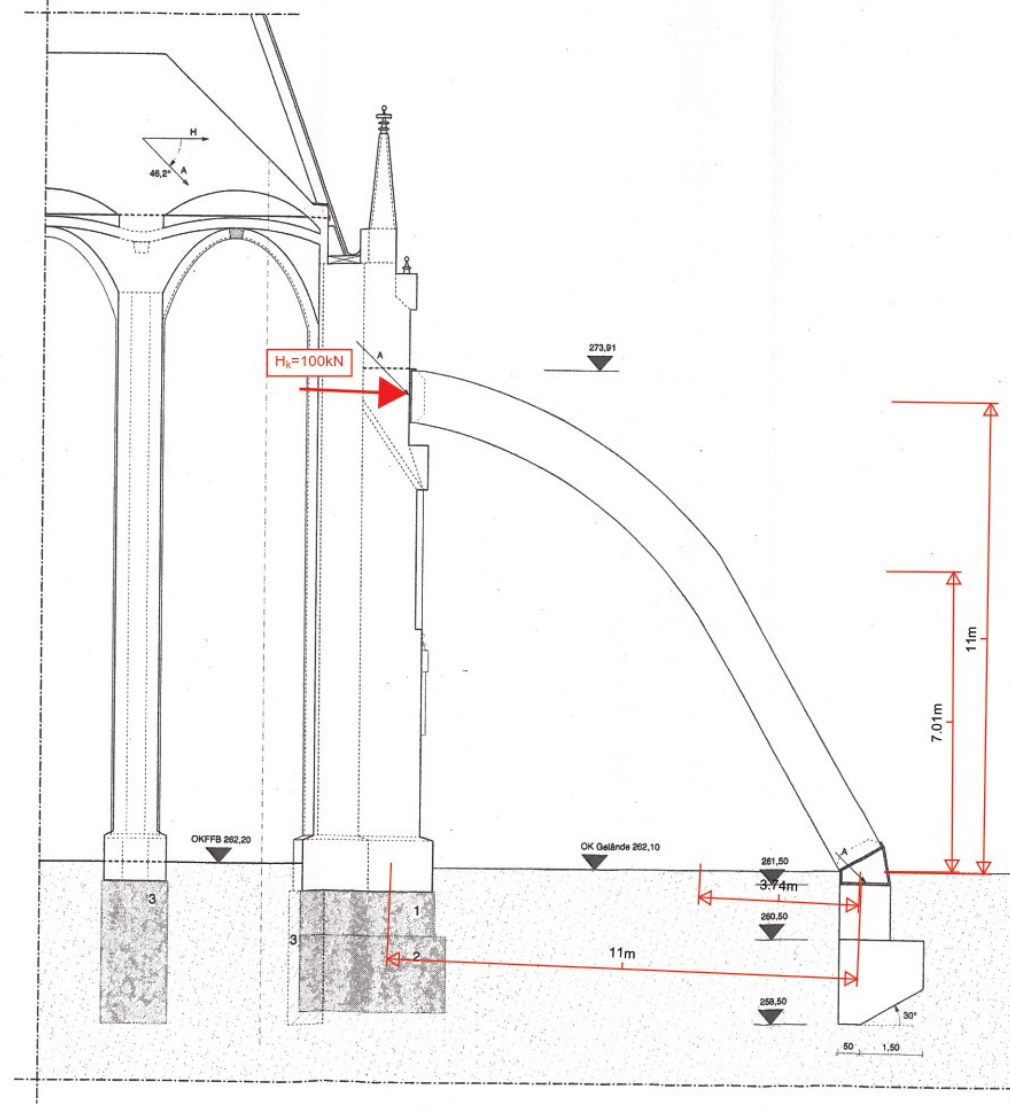
Bsp. Zwickauer Dom

Geplante Maßnahmen



Bsp. Zwickauer Dom

Maßnahmen



Tellschnitt A - A, M: 1 / 50
(im unverformten Zustand dargestellt)

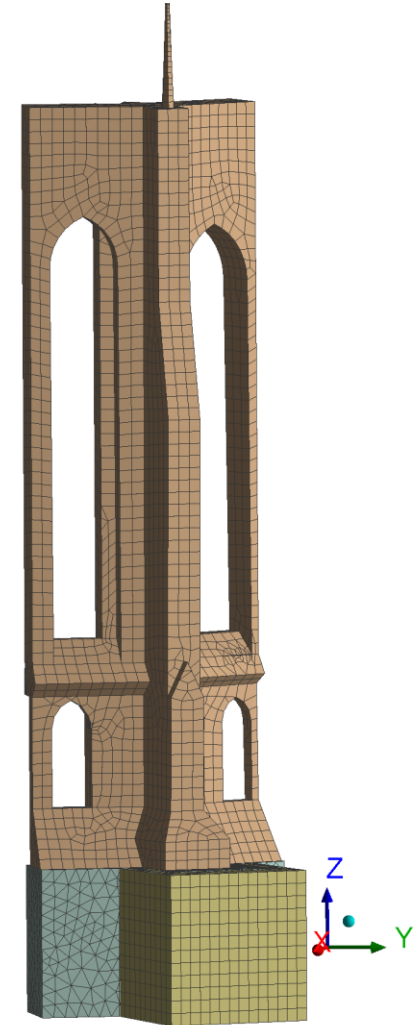
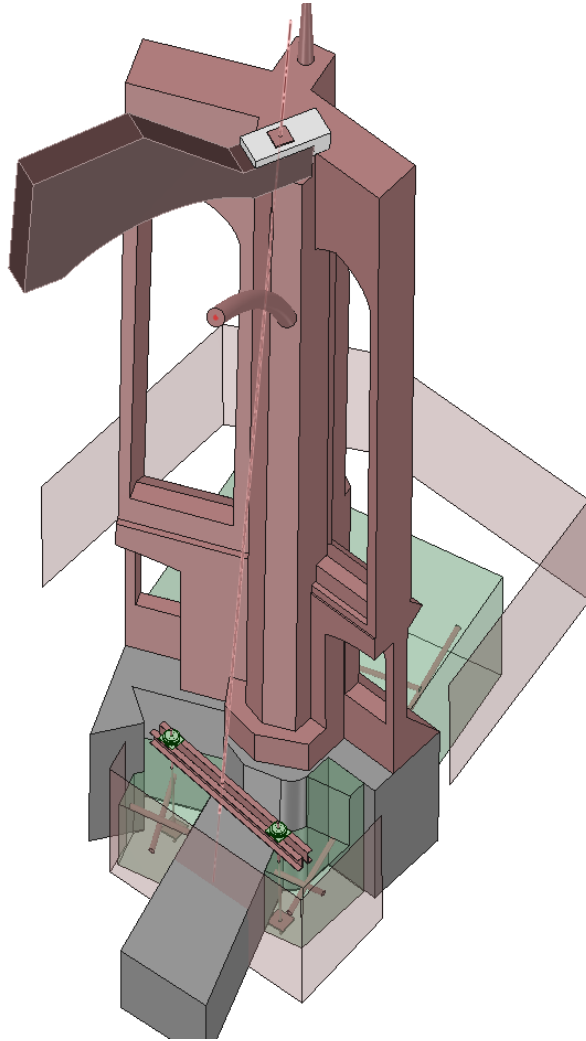
Bsp. Zwickauer Dom

Geplante Maßnahmen



Bsp. Zwickauer Dom

Statischen Berechnungen und Simulationen



Bsp. Zwickauer Dom

Statischen Berechnungen und Simulationen

A: Statisch-mechanische Analyse

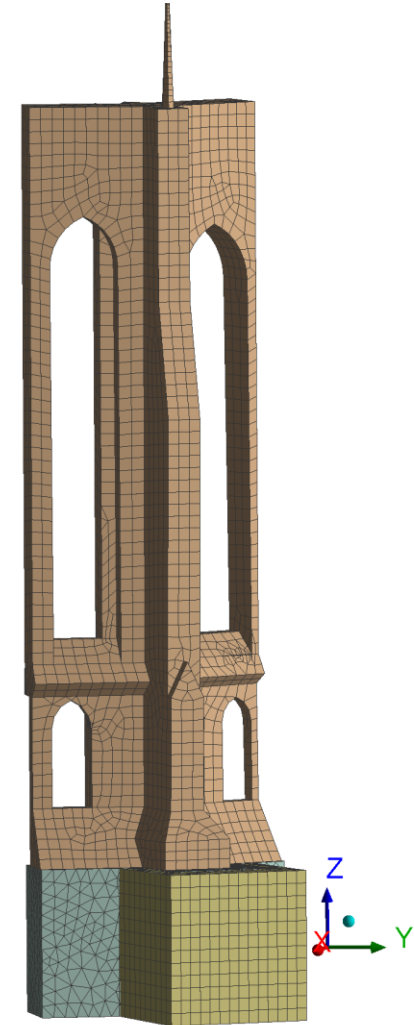
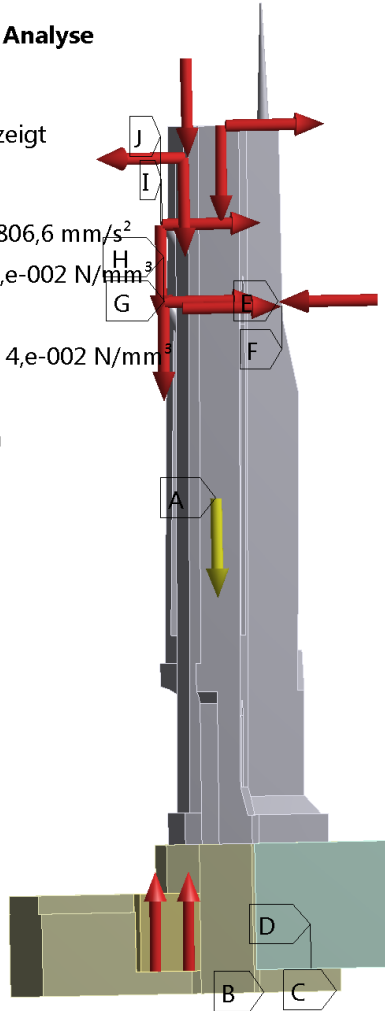
Statisch-mechanisch

Zeit: 4, s

Elemente: 10 von 17 angezeigt

19.05.17 09:12

- A** Erdanziehungskraft: $9806,6 \text{ mm/s}^2$
- B** Elastische Lagerung: $4, \text{e-}002 \text{ N/mm}^3$
- C** Linienlagerung
- D** Elastische Lagerung 2: $4, \text{e-}002 \text{ N/mm}^3$
- E** Stützung: 0, MPa
- F** Wind: $-3,86 \text{e-}003 \text{ MPa}$
- G** SRippeH: 5000, N
- H** SRippeV: 15000 N
- I** RippeH: 50000 N
- J** RippeV: 70000 N



Bsp. Zwickauer Dom

Statischen Berechnungen und Simulationen

A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

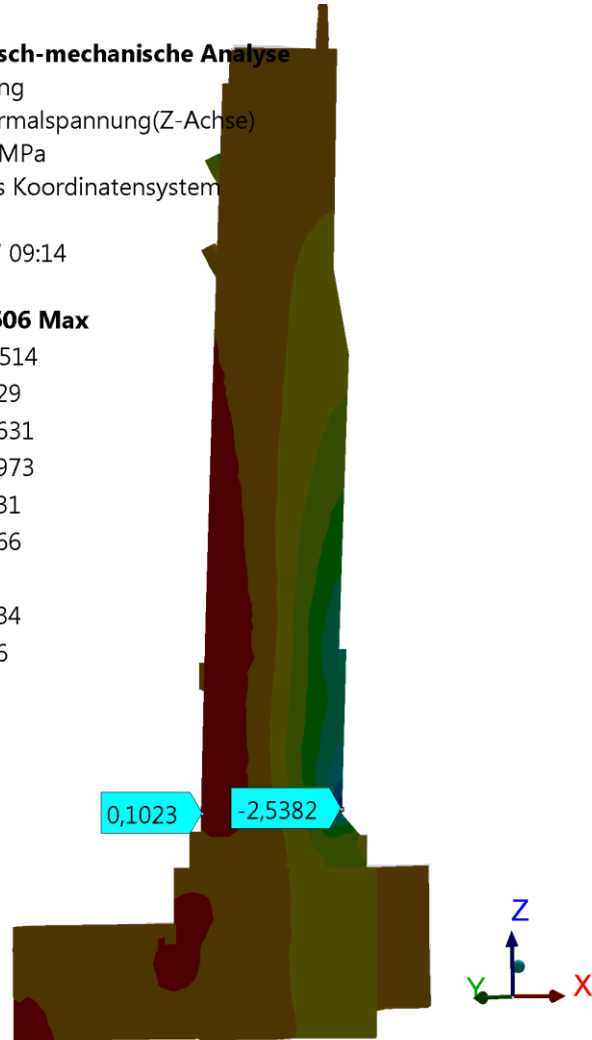
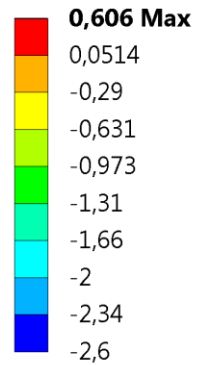
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

Zeit: 1

19.05.17 09:14



A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

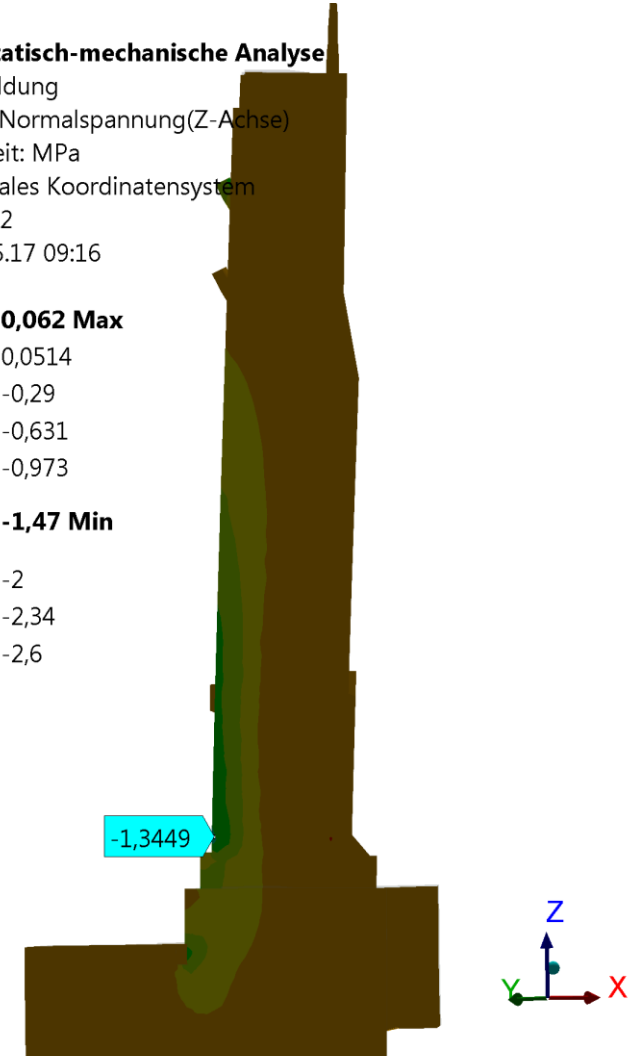
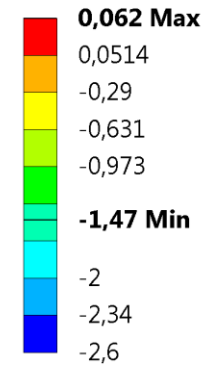
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

Zeit: 2

19.05.17 09:16



Bsp. Zwickauer Dom

Statischen Berechnungen und Simulationen

A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

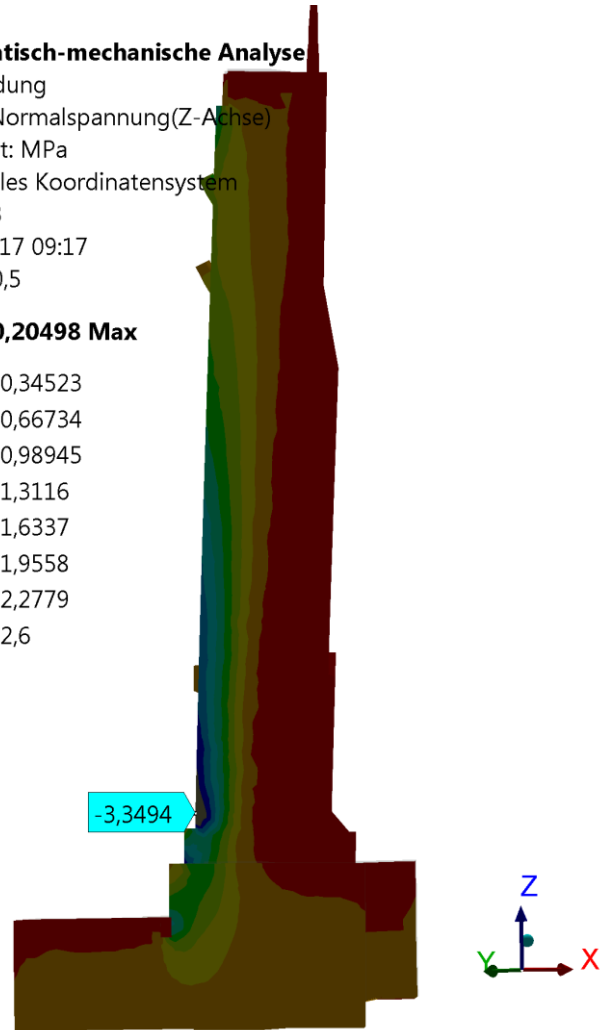
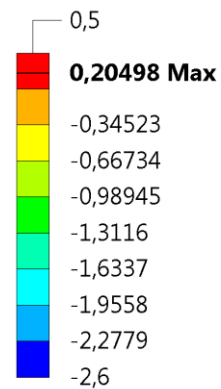
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

Zeit: 3

19.05.17 09:17



A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

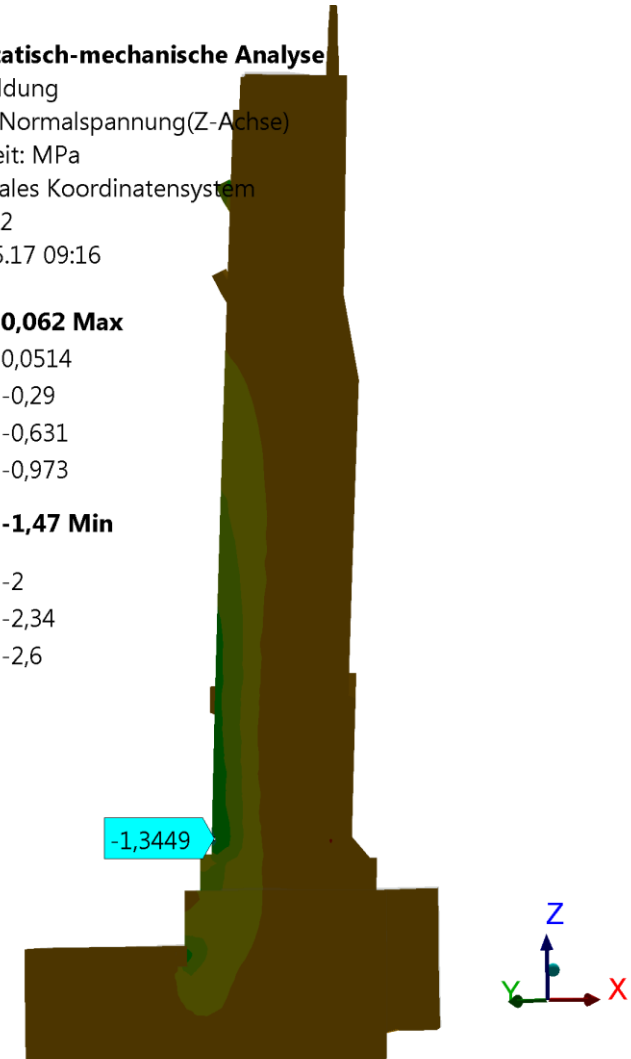
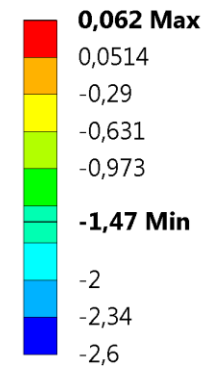
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

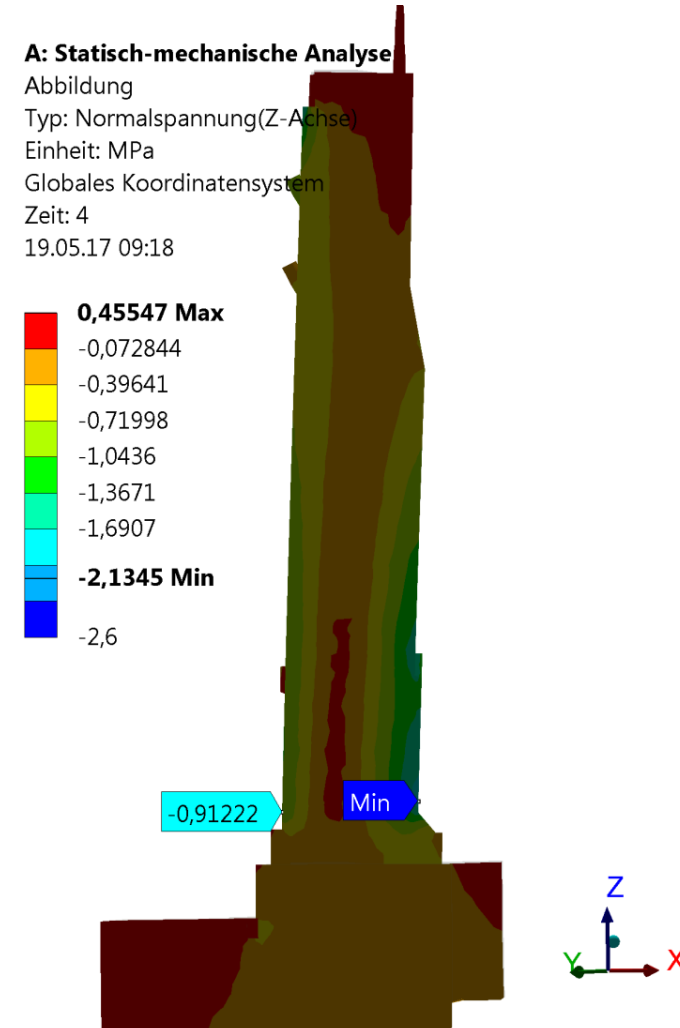
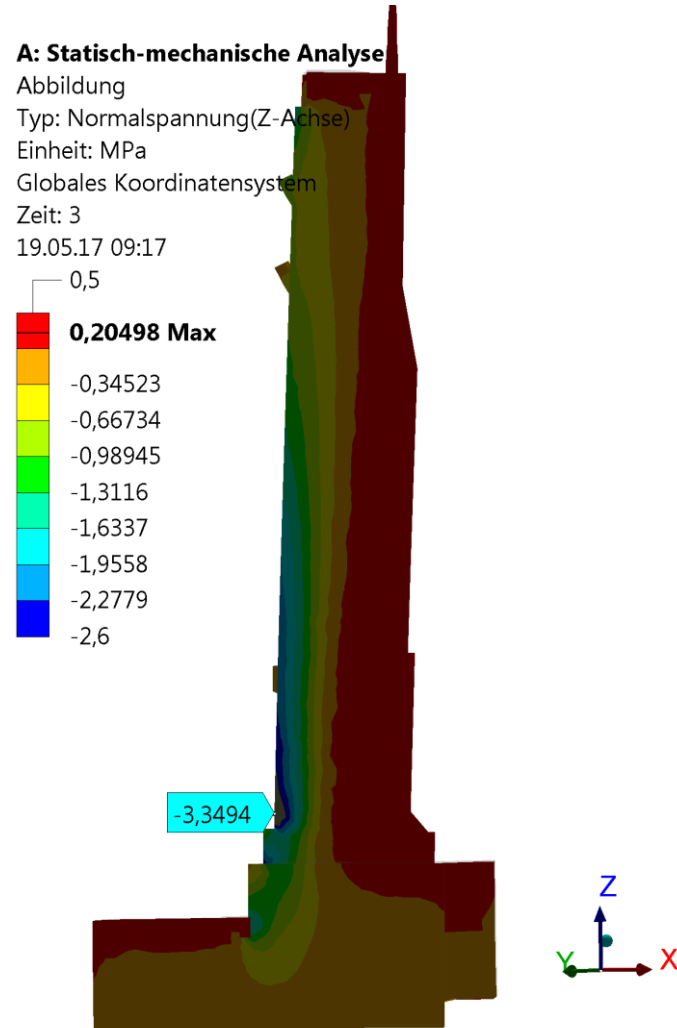
Zeit: 2

19.05.17 09:16



Bsp. Zwickauer Dom

Statischen Berechnungen und Simulationen



Bsp. Zwickauer Dom

A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

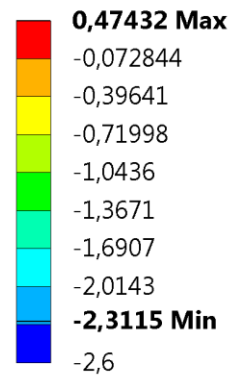
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

Zeit: 4

19.05.17 11:33



A: Statisch-mechanische Analyse

Abbildung

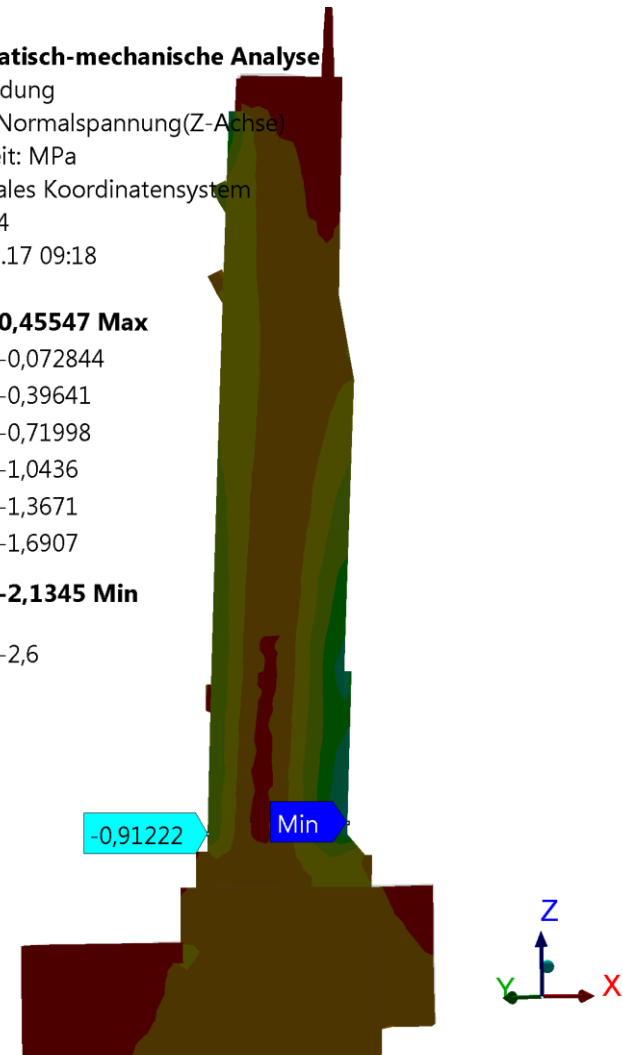
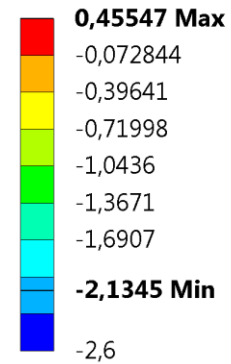
Typ: Normalspannung(Z-Achse)

Einheit: MPa

Globales Koordinatensystem

Zeit: 4

19.05.17 09:18



Maßwerk



Zusammenfassung der MW-Vorlesung

1. Ohne Normalkraft geht fast nichts
2. Vielfalt der Material- und Geometriekombinationen (1. Vorl.)
3. Relativ einfache Bemessung für die Standardfälle (2 - 4. Vorl.)
4. Sehr häufiger Bestandteil historischer Bauwerke (1., 6., 7. Vorl.)
5. Tragfähigkeit ist nicht alles (6. Vorl.)
6. Gestaltungsmöglichkeiten

$$e = \frac{M}{N}$$

Übungsaufgaben Mauerwerksbau

Einführung

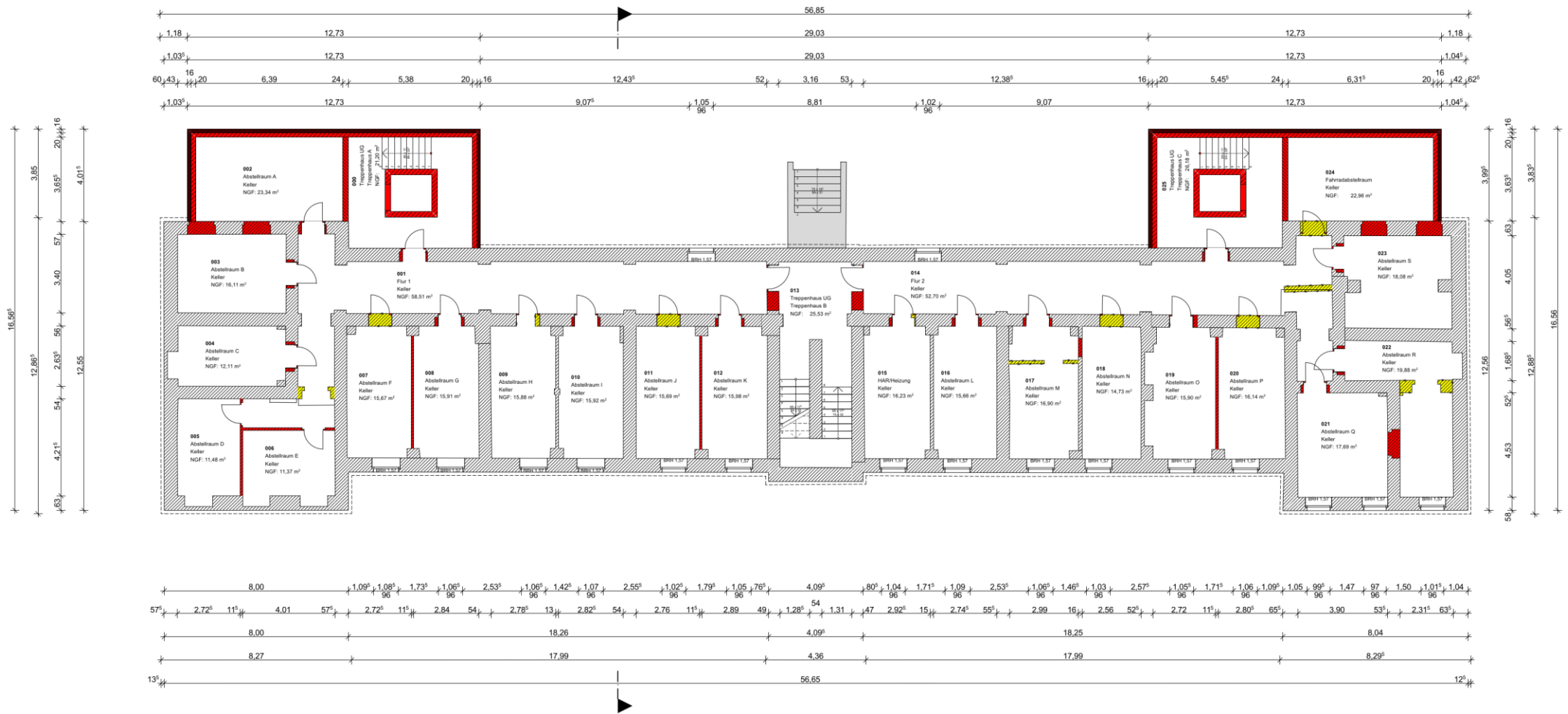
1. Übungsaufgaben Mauerwerksbau

1. Bestand
2. Kellerwand
3. Aussteifung
4. Außenwand

Allgemeine Hinweise

Neben den Vorlesungsunterlagen können die Angaben zur Lösung der Aufgaben auch aus Schneider Bautabellen entnommen werden. Die Lastannahmen sind bspw. in Kapitel 3 und die Gleichungen und Werte für das Mauerwerk sind in Kapitel 7 enthalten. Die für die Bemessung des Bestandsmauerwerks in der ersten Aufgabe notwendigen Angaben sind in Kapitel 6 C Abschnitt 3 zu finden. Als Auszug aus dem EC 6 sind diese Angaben auch im Skript als Anlage beigefügt. Die Last- und Schnittgrößenermittlung kann vereinfacht erfolgen. Die Auflagerkräfte können z. B. über Lasteinzugsflächen abgeschätzt werden.

Bestand



Bestand

Annahmen

Nutzung:	Wohnräume
Fußbodenaufbau:	$g_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$
Dach:	Erzeugt keine Last auf die Mittelwand
Decke 2.OG:	Stahlbetondecke $h = 22 \text{ cm}$
Decken EG und 1. OG:	Holzbalkendecken mit Auflager auf der Innenlängswand
Kellerdecke:	Gewölbe $h = 11,5 \text{ cm}$ und ca. 20 cm Füllung
Mauerwerk:	gemäß Abbildung 3

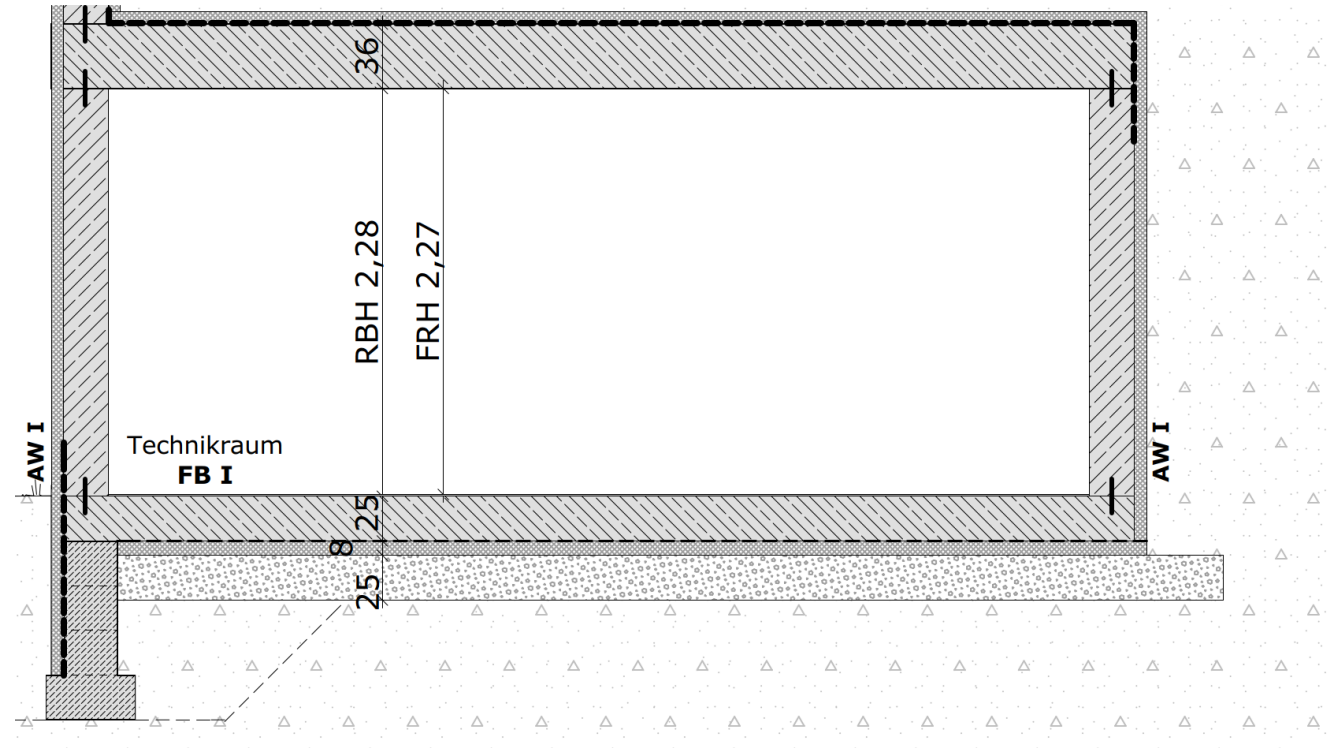
Teilaufgaben

1. Bestimmen Sie die Mauerwerksdruckfestigkeit nach DIN EN 1996-1-1/NA Anhang NA.L
2. Ermitteln Sie die maßgebende Normalkraft.
3. Führen Sie den Nachweis unter der vereinfachten Annahme einer zentrischen Lasteinleitung.

Kellerwand

Aufgabe

Der Keller eines Gebäudes ist nur einseitig angeschüttet (siehe Abbildungen). Die Kellerwände sollen entgegen der ursprünglichen Planung (Stahlbeton) in Mauerwerk aus Kalksandsteinen hergestellt werden. Während der Bauphase soll so früh wie möglich die Baugrube verfüllt werden. Hierfür ist die Mindestauflast zu bestimmen ($\gamma_E = 1,0$).



Kellerwand

Annahmen

Querwände:	Der Abstand ist größer als $2 \cdot h$.
Höhe der Erdanschüttung:	$h_e = h$
Nutzlast:	$q_k = 0,4 \cdot g_k$ ($g_k =$ Mindestauflast) Achten Sie auf die Teilsicherheitsfaktoren.
Material:	KS P 20 - 1,8 und Dünnbettmörtel
Wandstärke:	$t = 24 \text{ cm}$
Wichte der Anschüttung:	$\rho_e = 18 \text{ kN/m}^3$ (kein Anstieg des Geländes)
Nutzlast Gelände:	$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$
Erddruckansatz:	Dreieckig verteilter aktiver Erddruck $K_{aph} = K_{agh} = 0,33$
Abdichtung:	R500 Bitumenbahn in der ersten Lagerfuge

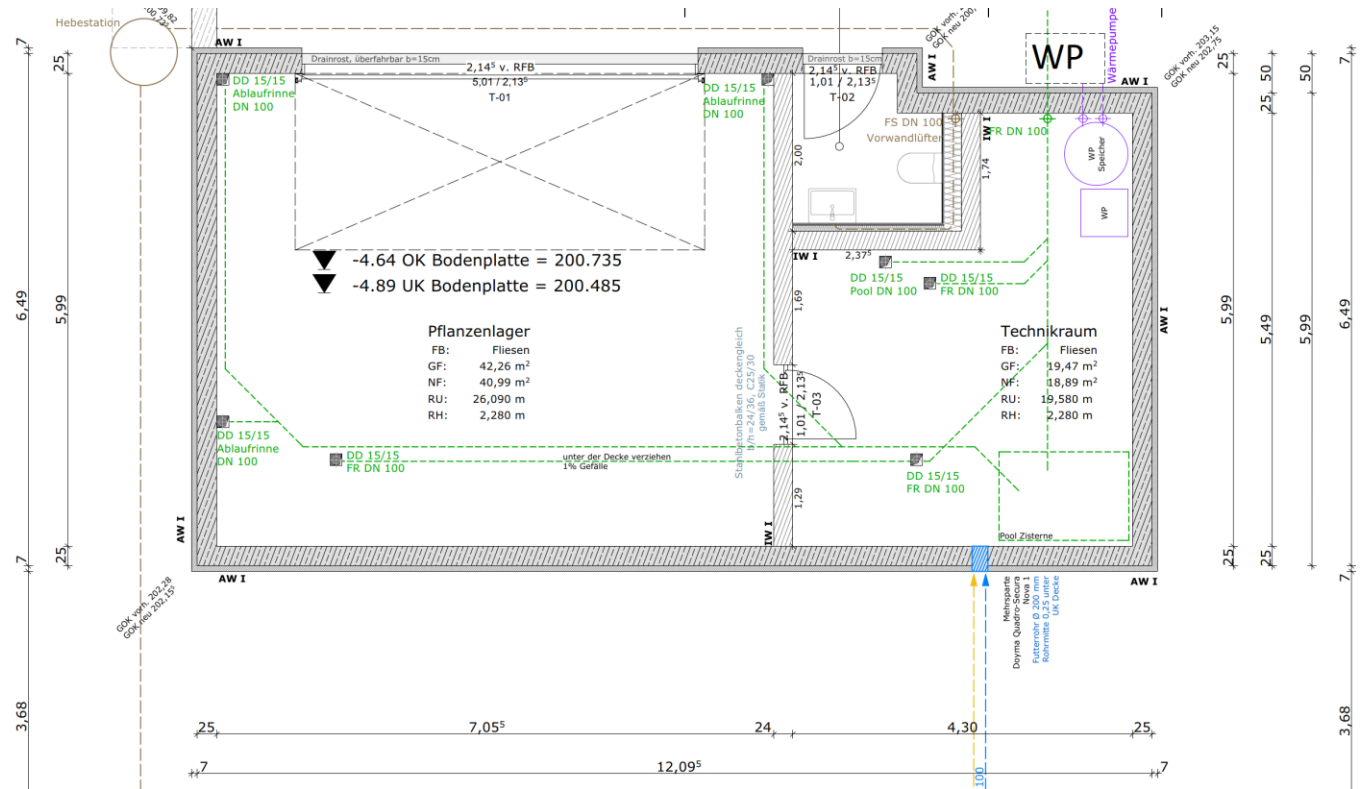
Kellerwand

Teilaufgaben

1. Prüfen Sie die Anwendungsbedingungen für das vereinfachte Verfahren.
2. Bestimmen Sie die Mindestauflast unter Verwendung der Nachweisgleichungen für das vereinfachte Verfahren.
3. Leiten Sie vereinfacht die maximale Last aus der Mindestauflast ab und führen den zweiten Nachweis.
4. Berechnen Sie die Aussteifungslast aus dem Erddruck für eine Gebäudelänge von 12 m.

Aussteifung Aufgabe

Die im vorangegangenen Abschnitt berechnete Aussteifungslast soll über zwei Wände in die Bodenplatte abgeleitet werden. Die Wände sind in der Abbildung dargestellt. Die dritte Wand trägt nicht mit. Vereinfacht soll hier von einer gleichmäßigen Aufteilung auf die Wände (1/2) und gleichen Wandlängen ausgegangen werden. Außerdem wirkt die vertikale Last in Wandmitte sowohl in Längs- als auch in Querrichtung



Aussteifung

Annahmen

Material: KS P 20 - 1,8 und Dünnbettmörtel

Wandstärke: $t = 24 \text{ cm}$

Wandlänge: $l = 5,0 \text{ m}$

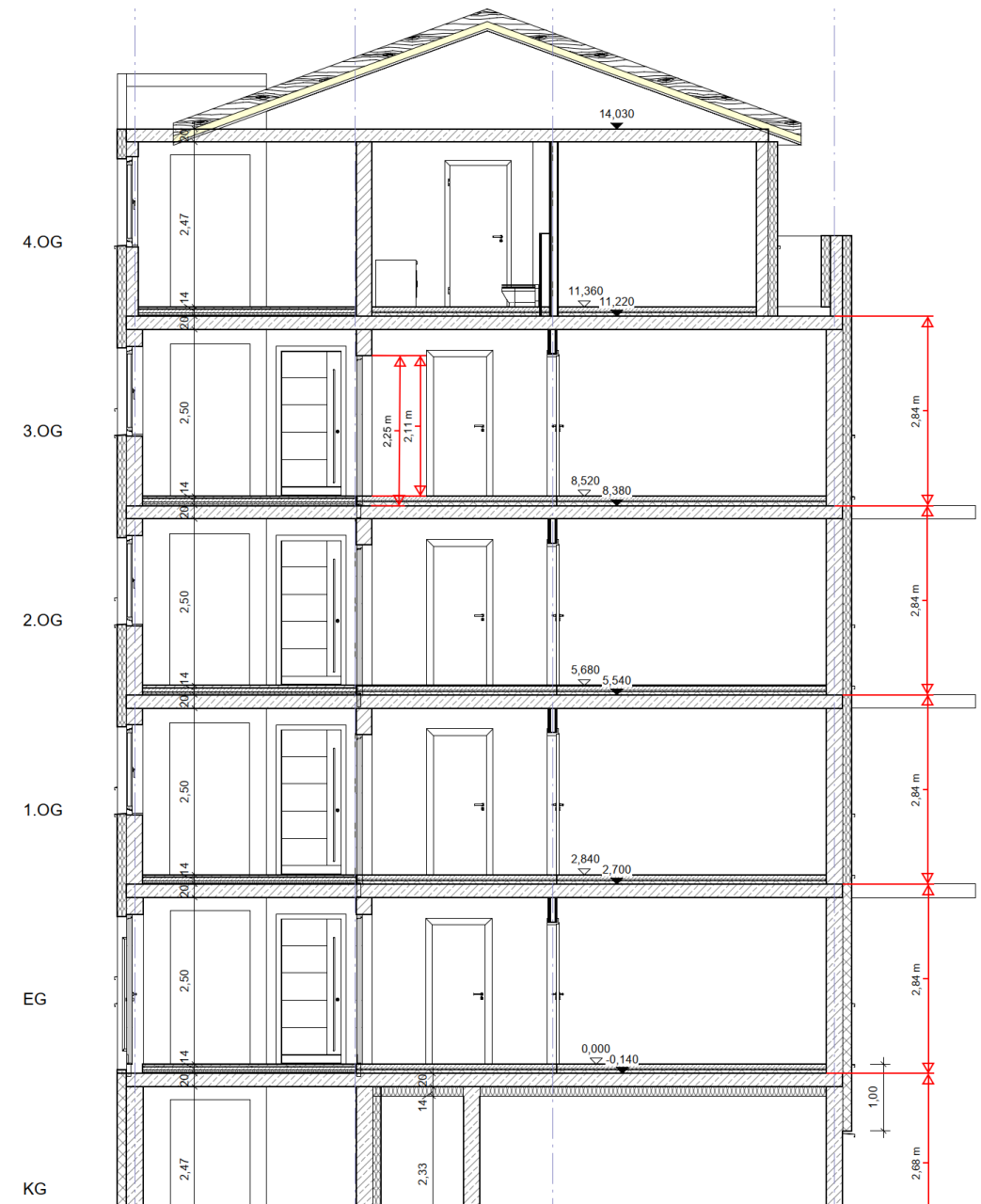
Auflast: $G_k = 100 \text{ kN}$, $Q_k = 50 \text{ kN}$

Teilaufgaben

1. Weisen Sie die Wandscheiben unter der Querkraftbeanspruchung nach dem genaueren Verfahren nach.
2. Führen Sie den Randdehnungsnachweis

Außenwand Aufgabe

Es soll eine Neubau mit 5 Etage errichtet werden. Die letzte Etage wird als Staffelgeschoss ausgebildet. Der Nachweis für die Außenwände soll beispielhaft an zwei Abschnitten geführt werden. Zum einen ist der Nachweis für eine gering belastete Wand im Staffelgeschoß zu führen und zum anderen für eine hochbelastete Wand im Erdgeschoss.



Außenwand

Annahmen

Nutzlast:	Kategorie A (Wohnungen)
Schneezone:	SZ 2, $h_{NN} = 120\text{m}$
Windzone:	WZ 2, Binnenland, Bereich B und D ($c_{pe} = \pm 0,8$)
Material:	KS P 20 - 1,8 und Dünnbettmörtel
Wandstärke:	$t = 17,5\text{ cm}$ im Staffelg., $t = 24\text{ cm}$ im EG
Dachaufbau (Holz):	$g_k = 1,50\text{ kN/m}^2$
Wandlänge:	$l = 5,0\text{ m}$
Auflagertiefe:	$a = t$ voll aufliegende Decke

Teilaufgaben

1. Führen Sie den Nachweis nach dem genauen Verfahren für die Wand des Staffelgeschosses in Wandmitte und mit der minimalen Auflast.
2. Weisen Sie die markierte Wand des Erdgeschosses an Wandkopf und Wandfuß nach dem vereinfachten Verfahren nach.