ÖBB Infrastruktur

Austrian Experience using Eurocode 2, Concrete Bridge Design

Dr.techn. Markus Vill

Engineering Services, Bridge Departement, ÖBB

markus.vill@oebb.at

Current Situation in Austria

- For bridge design only the Eurocodes have been in use since Jan. 2009
- All national standards for structural engineering were withdrawn 2009
- From then on only the Eurocodes have been used for the design of all engineering structures in Austria
- So Austria is among the first country were **only** the Eurocodes are used because the national standards don`t exist anymore
- Big necessity for the further evolution of the Eurocodes because mistakes and non-conformity can only be discovered by practical use

ÖBB Infrastruktur

Concrete Bridge Design
Basis for the design of concrete bridges in Austria

Traffic Loads:

- ÖNORM EN 1991-2:2009 and national annex: **B1991-2:2010**

Material:

- ÖNORM EN 1992-1-1:2009 and national annex: **B1992-1-1:2011**
- ÖNORM EN 1992-2:2007 and national annex: **B1992-2:2008**

Geotechnic:

- ÖNORM EN 1997-1:2009 and national annex: **B1997-1-1:2010**
- ÖNORM EN 1997-2:2010 and national annex: **B1997-2:2008**

ÖBB Infrastruktur

Project 1: Composite Arch bridge

Composite Arch bridge:
Span aprox. 35 m
Arch: Steel tube dia. 559 x 59 mm
Bridge deck: composite deck; thickness 50 cm
Twin hanger: S460, dia 48 mm

Special feature: **Computation of fatigue resistance (municipal road bridge)**

ÖBB Infrastruktur

Project 2: Shallow Arch bridge for wildlife crossing and municipal road

Shallow Arch bridge for wildlife crossing

Span: aprox. 45 m

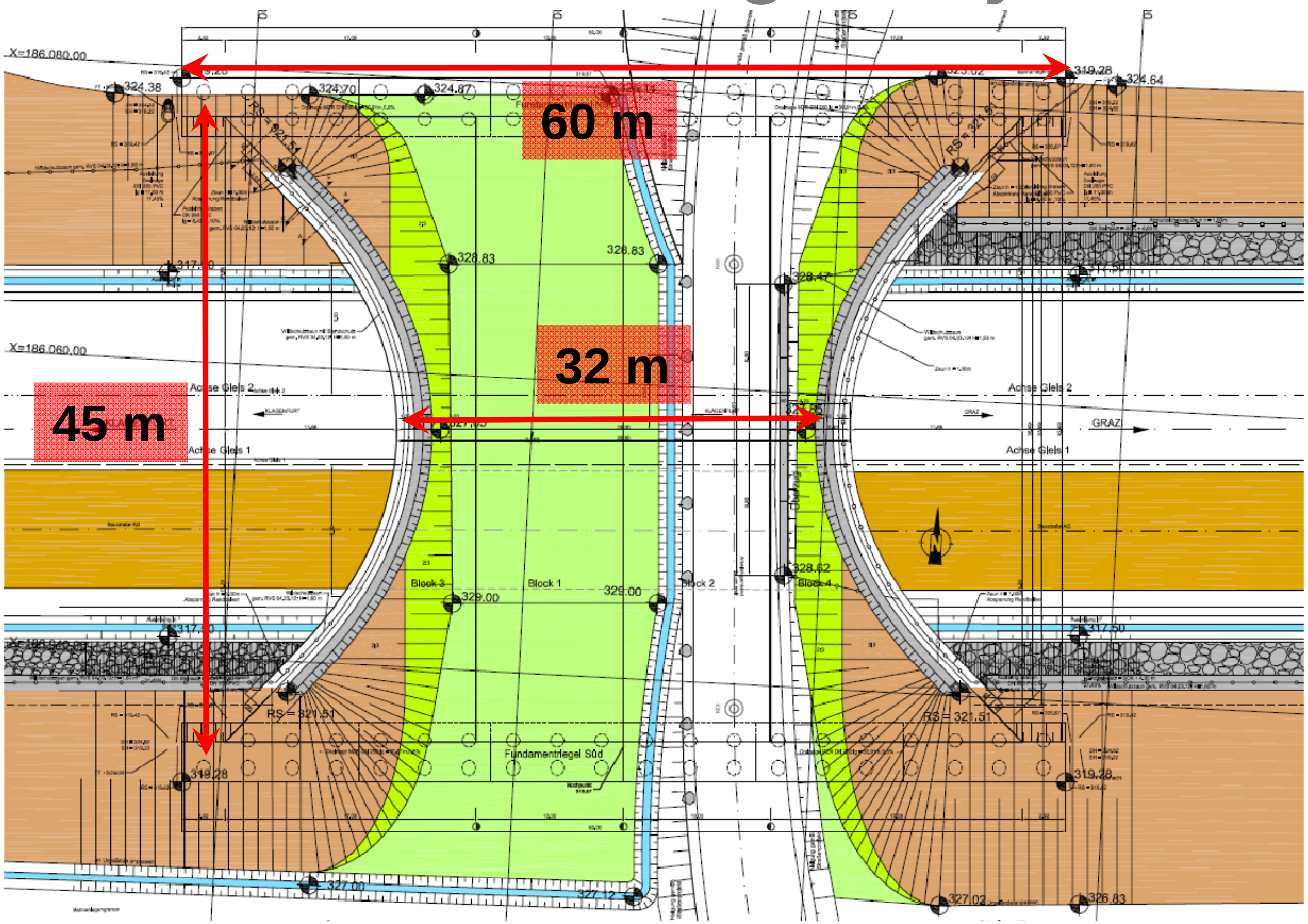
Arch: concrete slab, thickness 100 cm

Foundation: bore piles, dia. 90 cm, length: 18 m

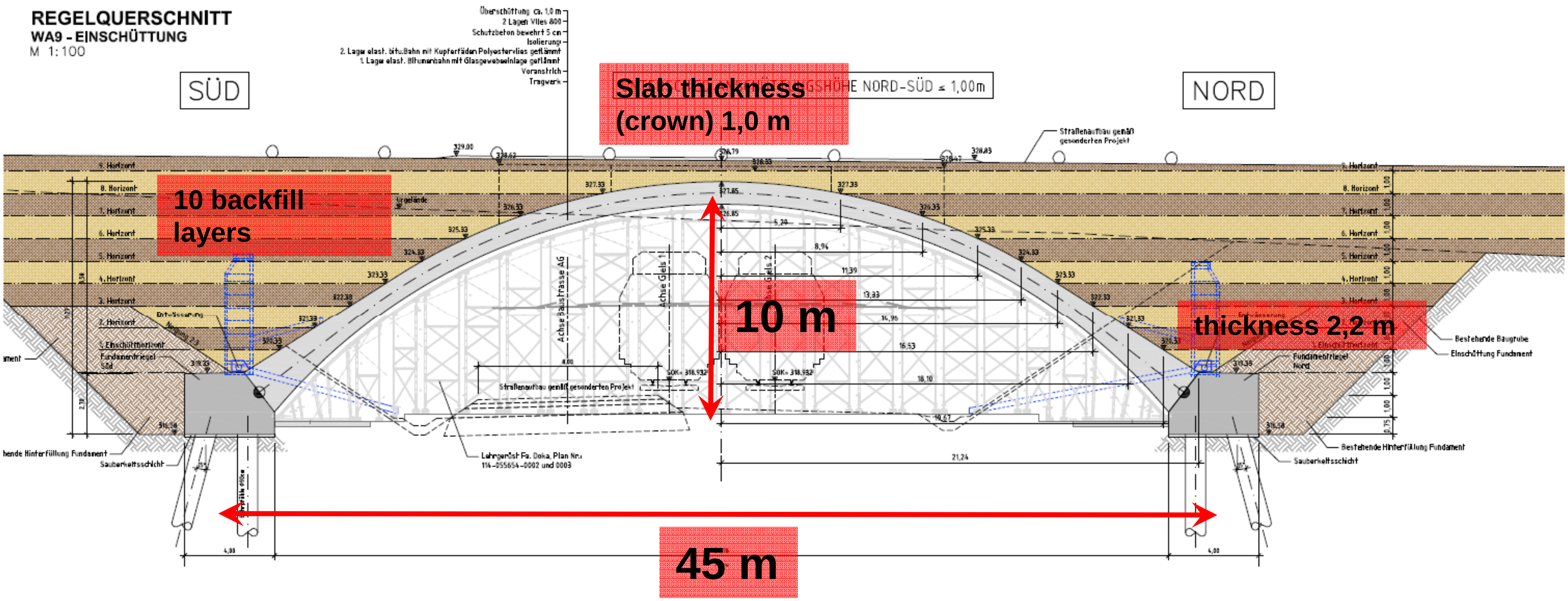
Special features: Computation of soil-structure-interaction according to EC 7

ÖBB Infrastruktur

Describtion of the Bridge Projekt 1/2



Describtion of the Bridge Projekt 2/2



ÖBB Infrastruktur

Project 3: Post-tensioned street bridge

Post-tensioned street bridge

Overall length: 160 m

Superstructure: T-beams, web thickness 70 cm,

Hight webs: 1,6 m – 3,6 m

Special features: partial safety factors for the computation of bearing elongations and expansion joints

ÖBB Infrastruktur

Project 4: Single-span-frame

Integral concrete bridge

Overall length: 14,0 m

Superstructure: Concrete slab, thickness 1,10 m

Special features: **Computation of fatigue, constraint stresses by temperature**

ÖBB Infrastruktur

Improvement for practical use

- Improving the clarity
- Simplifying cross-references within the Eurocode 2
- Limiting the inclusion of alternative application rules
- Reducing the NDPs
- Avoiding or removing rules of low practical use in design

Example for simplification:
Model for single span bridges (slabs, frames)

Example of LC and LG – combination ULS for single span beam – only traffic loads

BIEGEMOMENTE:

BILDUNG DER LASTGRUPPEN (FÜR BIEGEMOMENTE)

Vertikallastanteil [kNm/m]

Gruppe	Lastmodell		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	LM71	P1–P7	-88,7	-94,8	-108,2	-112,7	-115,9	-111,0	-106,0
		P8–P14	149,0	152,7	160,1	164,5	169,3	166,5	165,7
gr 12	LM71	P1–P7	-88,7	-94,8	-108,2	-112,7	-115,9	-111,0	-106,0
		P8–P14	149,0	152,7	160,1	164,5	169,3	166,5	165,7
gr 13	LM71	P1–P7	-88,7	-94,8	-108,2	-112,7	-115,9	-111,0	-106,0
		P8–P14	149,0	152,7	160,1	164,5	169,3	166,5	165,7
gr 14	LM71	P1–P7	-88,7	-94,8	-104,1	-112,7	-115,9	-111,0	-101,6
		P8–P14	149,0	152,7	158,0	164,5	169,3	166,5	165,7
gr 15	unbel	P1–P7	-3,5	-3,5	-4,0	-4,5	-4,3	-4,1	-3,9
		P8–P14	5,7	5,8	6,1	6,4	6,5	6,4	6,3
gr 16	SW/2	P1–P7	-65,7	-70,5	-80,4	-88,6	-87,8	-82,5	-78,9
		P8–P14	114,8	117,7	123,3	126,7	133,8	129,2	127,6
gr 17	SW/2	P1–P7	-65,7	-70,5	-80,4	-88,6	-87,8	-82,5	-78,9
		P8–P14	114,8	117,7	128,8	126,7	133,8	130,0	127,6

Anfahren Bremsen [kNm/m]

Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	1	P1–P7	-41,3	-40,3	-40,1	-38,8	-40,1	-40,3	-40,3
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gr 12	0,5	P1–P7	-41,3	-40,3	-40,1	-38,8	-40,1	-40,3	-40,3
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gr 13	1	P1–P7	-41,3	-40,3	-40,1	-38,8	-40,1	-40,3	-40,3
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gr 14	0,5	P1–P7	-41,3	-40,3	-39,8	-38,8	-40,1	-40,3	-39,8
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gr 15									
gr 16	1	P1–P7	-35,3	-35,4	-35,1	-34,8	-35,1	-35,4	-35,3
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gr 17	0,5	P1–P7	-35,3	-35,4	-35,1	-34,8	-35,1	-35,4	-35,3
		P8–P14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fliehkraft [kNm/m]

Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	0,5	P1–P7	-14,2	-11,7	-8,3	-	-	-	-
		P8–P14	17,3	11,2	9,5	-	-	-	-
gr 12	1	P1–P7	-14,2	-11,7	-8,3	-	-	-	-
		P8–P14	17,3	11,2	9,5	-	-	-	-
gr 13	0,5	P1–P7	-14,2	-11,7	-8,3	-	-	-	-
		P8–P14	17,3	11,2	9,5	-	-	-	-
gr 14	1	P1–P7	-14,2	-11,7	-8,3	-	-	-	-
		P8–P14	17,3	11,2	10,2	-	-	-	-
gr 15	1	P1–P7	-0,9	-0,7	-0,4	-	-	-	-
		P8–P14	0,9	0,8	0,5	-	-	-	-
gr 16	0,5	P1–P7	-11,2	-10,7	-6,6	-	-	-	-
		P8–P14	13,2	12,0	6,9	-	-	-	-
gr 17	1	P1–P7	-11,2	-10,7	-6,6	-	-	-	-
		P8–P14	13,2	12,0	6,9	-	-	-	-

Seitenstoß [kNm/m]

Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	0,5	P1–P7	-9,0	-8,8	-2,8	-0,4	-2,8	-8,8	-9,0
		P8–P14	10,4	10,2	6,3	0,7	6,3	10,2	10,4
gr 12	1	P1–P7	-9,0	-8,8	-2,8	-0,4	-2,8	-8,8	-9,0
		P8–P14	10,4	10,2	6,3	0,7	6,3	10,2	10,4
gr 13	0,5	P1–P7	-9,0	-8,8	-2,8	-0,4	-2,8	-8,8	-9,0
		P8–P14	10,4	10,2	6,3	0,7	6,3	10,2	10,4
gr 14	1	P1–P7	-9,0	-8,8	-2,8	-0,4	-2,8	-8,8	-9,2
		P8–P14	10,4	10,2	6,5	0,7	6,5	10,2	10,4
gr 15	1	P1–P7	-7,4	-5,6	-1,3	-0,3	-2,5	-5,6	-7,4
		P8–P14	8,6	8,4	5,2	0,6	5,2	8,4	8,6
gr 16	0,5	P1–P7	-7,4	-5,6	-1,3	-0,3	-2,5	-5,6	-7,4
		P8–P14	8,6	8,4	5,2	0,6	5,2	8,4	8,6
gr 17	1	P1–P7	-7,4	-5,6	-1,3	-0,3	-2,5	-5,6	-7,4
		P8–P14	8,6	8,4	5,2	0,6	5,2	8,4	8,6

Ergebnis (Gruppe) [kNm/m]

Gruppe		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	P1–P7	-160,6	-145,3	-151,8	-152,7	-157,3	-154,7	-156,8
	P8–P14	182,9	165,9	180,0	64,9	172,4	173,6	170,9
gr 12	P1–P7	-132,0	-135,4	-137,3	-133,0	-139,7	-137,9	-136,1
	P8–P14	176,7	178,1	175,9	65,2	176,6	172,7	176,1
gr 13	P1–P7	-160,6	-145,3	-151,8	-152,7	-157,3	-154,7	-156,8
	P8–P14	182,9	165,9	180,0	64,9	172,4	173,6	170,9
gr 14	P1–P7	-132,0	-135,4	-136,1	-133,0	-139,7	-137,9	-130,7
	P8–P14	176,7	178,1	179,7	65,2	176,5	172,7	176,1
gr 15	P1–P7	-11,5	-9,8	-8,7	-4,6	-8,6	-9,7	-11,3
	P8–P14	15,2	15,0	11,9	7,0	11,7	14,9	14,9
gr 16	P1–P7	-110,3	-114,1	-120,0	-121,8	-124,1	-120,7	-117,9
	P8–P14	125,7	127,6	129,4	29,0	133,4	133,4	131,9
gr 17	P1–P7	-102,0	-104,5	-100,9	-104,3	-107,7	-105,8	-104,0
	P8–P14	136,6	138,1	135,1	29,0	136,0	137,6	136,2

QUERKRÄFTE:

BILDUNG DER LASTGRUPPEN (FÜR QUERKRÄFTE)

Vertikallastanteil [kN/m]

Gruppe	Lastmodell		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	LM71	P1–P7	101,6	180,5	213,7	230,6	244,7	227,9	207,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 12	LM71	P1–P7	101,6	180,5	213,7	230,6	244,7	227,9	207,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 13	LM71	P1–P7	101,6	180,5	213,7	230,6	244,7	227,9	207,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 14	LM71	P1–P7	101,6	180,5	209,0	230,6	243,8	227,9	207,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 15	unbel	P1–P7	5,5	6,1	7,4	8,2	8,4	7,7	7,1
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 16	SW/2	P1–P7	111,6	134,1	148,2	196,6	169,8	155,8	142,9
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 17	SW/2	P1–P7	111,6	134,1	148,2	196,6	169,8	155,8	142,9
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-

Anfahren Bremsen [kN/m]

Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	1	P1–P7	11,5	15,6	13,9	13,2	13,9	15,6	18,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 12	0,5	P1–P7	11,5	15,6	13,9	13,2	13,9	15,6	18,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 13	1	P1–P7	11,5	15,6	13,9	13,2	13,9	15,6	18,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 14	0,5	P1–P7	11,5	15,6	13,9	13,2	13,8	15,6	18,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 15									
gr 16	1	P1–P7	14,5	13,7	12,2	11,6	12,2	13,7	14,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 17	0,5	P1–P7	14,5	13,7	12,2	11,6	12,2	13,7	14,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-

Fliehkraft [kN/m]

Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	0,5	P1–P7	44,4	41,4	30,5	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 12	1	P1–P7	44,4	41,4	30,5	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 13	0,5	P1–P7	44,4	41,4	30,5	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 14	1	P1–P7	44,4	41,4	34,5	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 15	1	P1–P7	2,0	2,1	1,4	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 16	0,5	P1–P7	33,8	31,2	20,4	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 17	1	P1–P7	33,8	31,2	20,4	-	-	-	-
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-

Seitenstoß [kN/m]

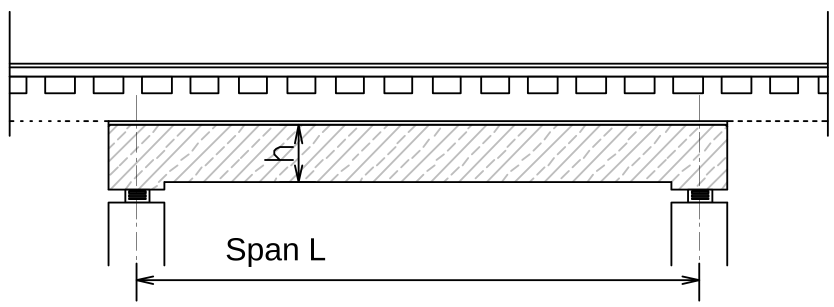
Gruppe	Faktor		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	0,5	P1–P7	20,0	24,1	17,3	3,5	17,3	24,1	20,0
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 12	1	P1–P7	20,0	24,1	17,3	3,5	17,3	24,1	20,0
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 13	0,5	P1–P7	20,0	24,1	17,3	3,5	17,3	24,1	20,0
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 14	1	P1–P7	20,0	24,1	19,7	3,5	19,7	24,1	20,0
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 15	1	P1–P7	16,5	18,8	14,3	2,7	14,3	19,9	16,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 16	0,5	P1–P7	16,5	18,8	14,3	2,7	14,3	19,9	16,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 17	1	P1–P7	16,5	18,8	14,3	2,7	14,3	19,9	16,5
		P8–P14	-	-	-	-	-	-	-

Ergebnis (Gruppe) [kN/m]

Gruppe		P1 / P8	P2 / P9	P3 / P10	P4 / P11	P5 / P12	P6 / P13	P7 / P14
gr 11	P1–P7	210,2	231,3	251,5	348,4	287,3	255,5	233,9
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 12	P1–P7	234,2	258,8	288,5	343,5	289,0	258,8	235,7
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 13	P1–P7	210,2	231,3	251,5	348,4	287,3	255,5	233,9
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 14	P1–P7	234,2	258,8	270,1	343,5	270,5	258,8	235,7
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 15	P1–P7	24,0	28,1	23,1	10,9	22,7	27,0	23,6
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 16	P1–P7	149,7	163,4	178,9	178,6	189,2	179,5	165,7
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-
gr 17	P1–P7	180,0	182,1	190,0	175,1	190,2	182,6	186,7
	P8–P14	-	-	-	-	-	-	-

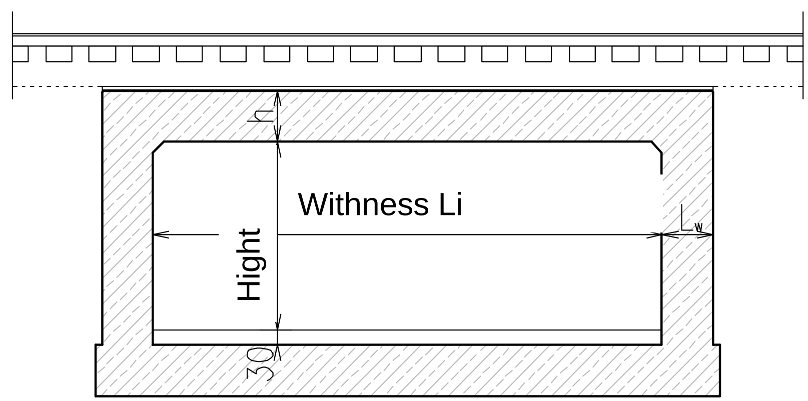
Investigated structures: Longitudinal section

Single-span beam



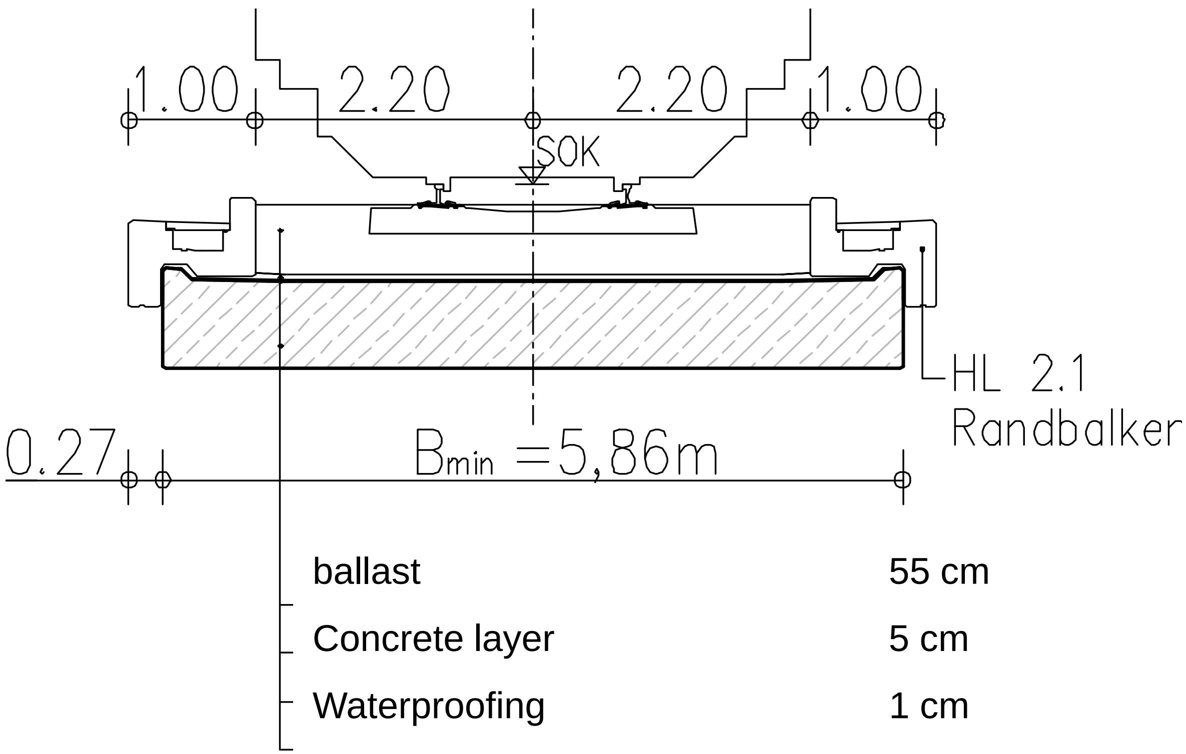
Span L [m]	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
slab thickn. [m]	0,3	0,45	0,6	0,8	1,0	1,2

Frame



withness L_i [m]	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
slab thickn. [m]	0,45	0,60	0,80	1,00	1,25
wall thickn. [m]	0,45	0,60	0,80	1,00	1,20
hight [m]	2,5	4,7	4,7	4,7	4,7

Investigated structures: Cross Section

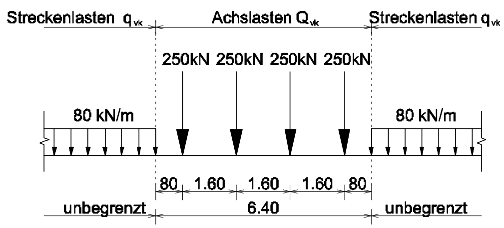


ballast	55 cm
Concrete layer	5 cm
Waterproofing	1 cm
superstructure	

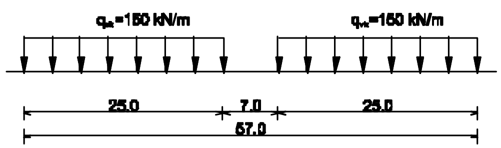
ÖBB Infrastruktur

Loads for FE- Calculation

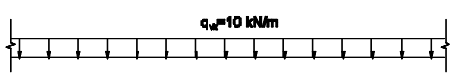
LM 71



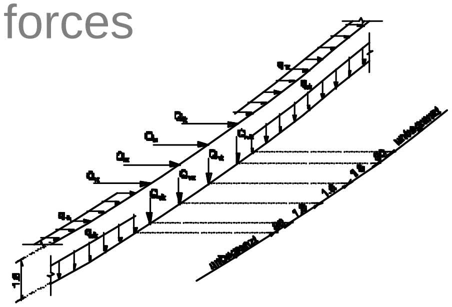
SW/2



Unloaded train



Centrifugal forces



Traction and braking

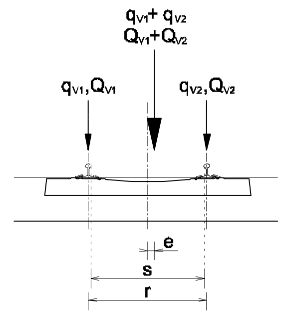
$$Q_{lak} = 33 \times L_{a,b}[m] \leq 1000[kN]$$

$$Q_{lbk} = 20 \times L_{a,b}[m] \leq 6000[kN]$$

$$Q_{lbk} = 35 \times L_{a,b}[m]$$

Excentricity of superelevation (cant)

Excentricity of vertikal loads e=r/18



Side impact

Qsk=100kN

Track set

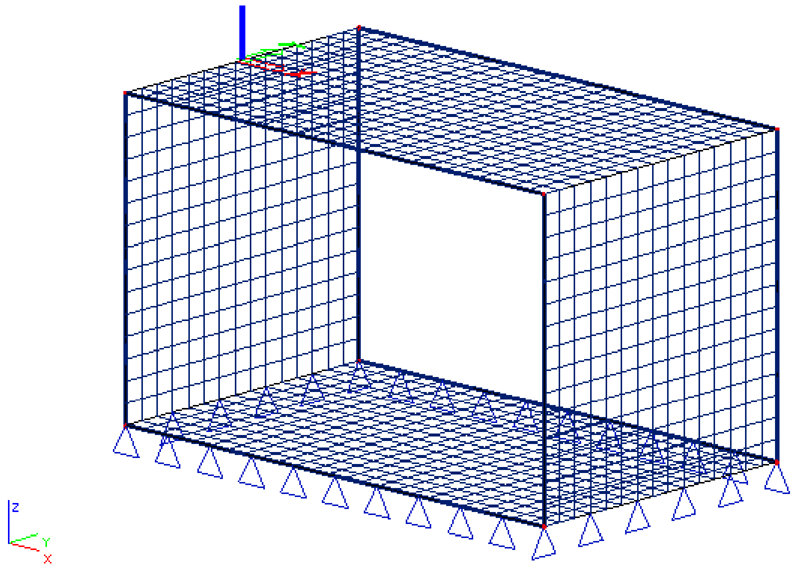
+0,10m
-0,10m

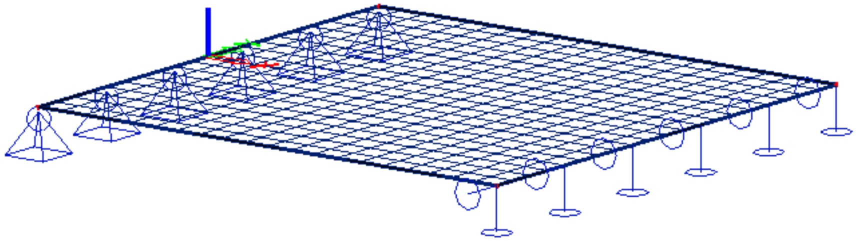
Load groups

gr11
gr12
gr13
gr14
...

Dr. Markus Vill

Finite-Element-Calculations

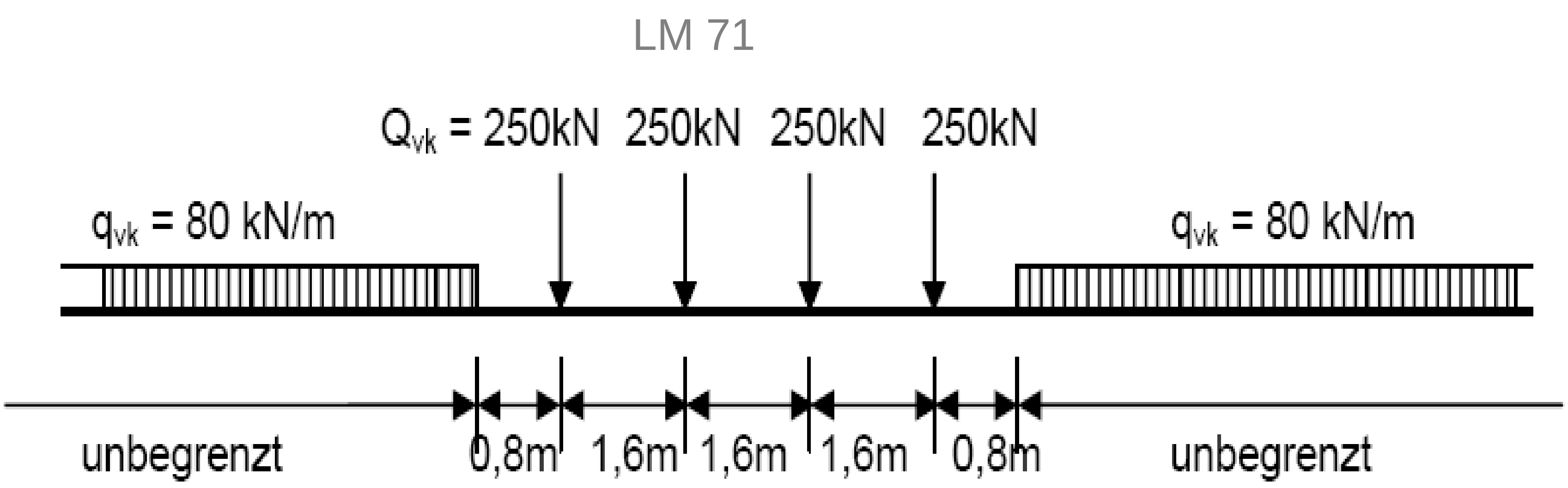




Dr. Markus Vill

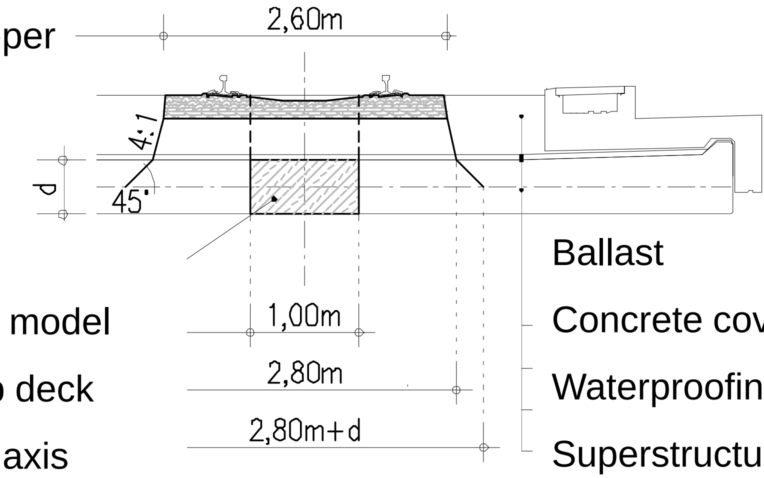
Infrastruktur

Loads for simplified calculation LM 71



Models for simplified calculation

Length of sleeper



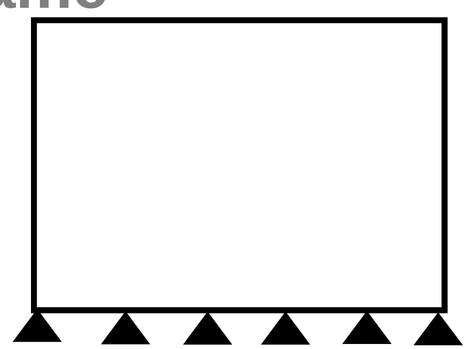
Cross section of simplified model

Distribution of load on slab deck

Distribution of load in slab axis

Ballast	55 cm
Concrete cover	5 cm
Waterproofing	1 cm
Superstructure	

Frame

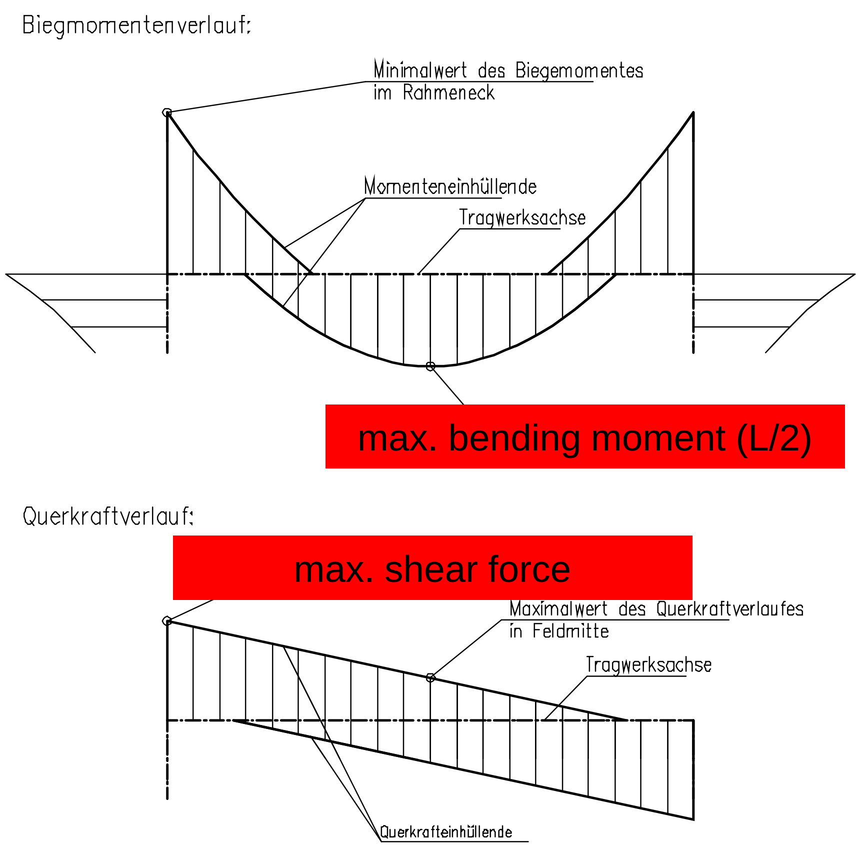


Single-span beam

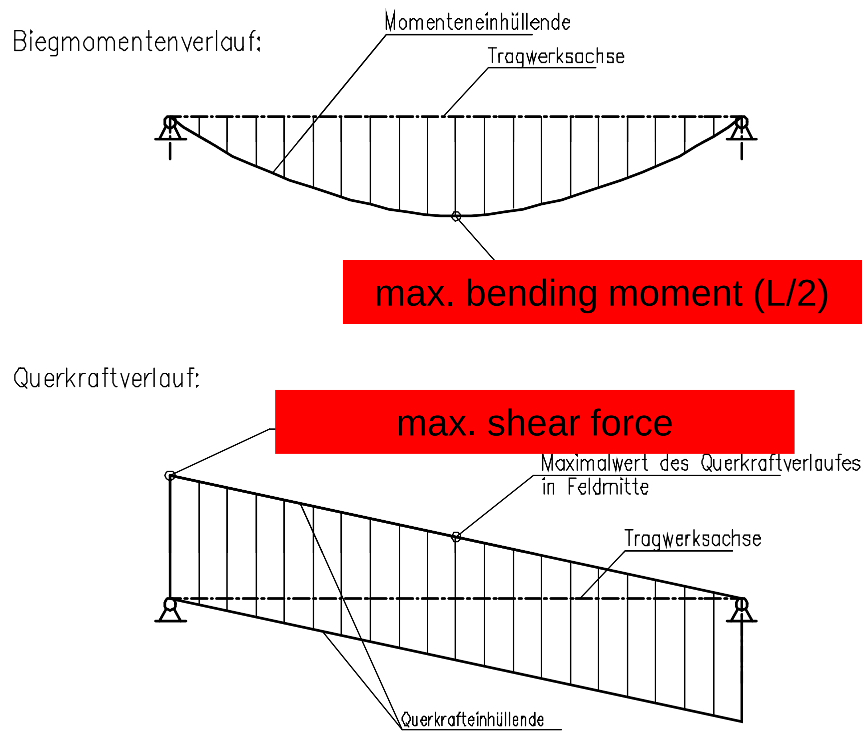
ÖBB
Infrastruktur

Comparison values of simplified calculation

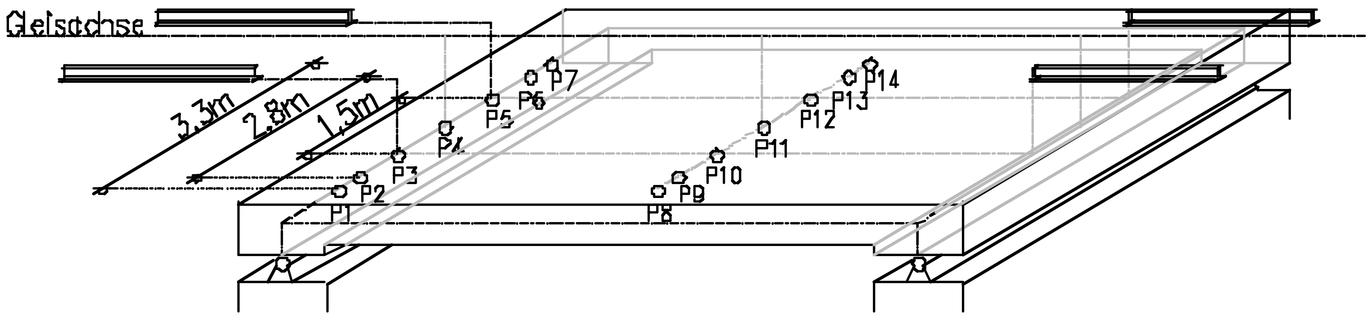
Frame

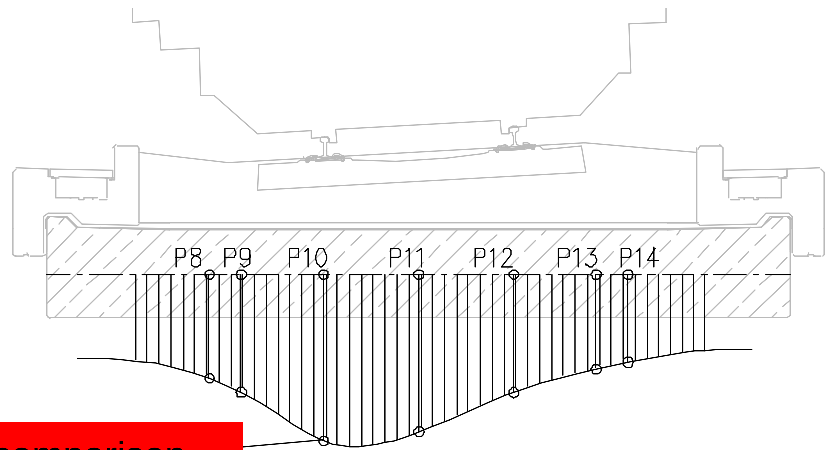


Single-span beam



Comparison values of FEM calculation





max. value - comparison

ÖBB Infrastruktur

Comparison of calculations

(shear and moment diagrams)

for FEM calculation (FE-Model)

$$E_d = \sum_{j\geq 1}(\gamma_{G,j} \times G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i>1}(\gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$$

All Loadgroups (gr11 bis gr17) x Φ_2x α

for simplified calculation (beam)

$$E_d = \sum_{j\geq 1}(\gamma_{G,j} \times G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} \times F_1 + \sum_{i>1}(\gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i})$$

Only LM 71 x Φ_2x α

Implemantation of Faktor F1

Equal results

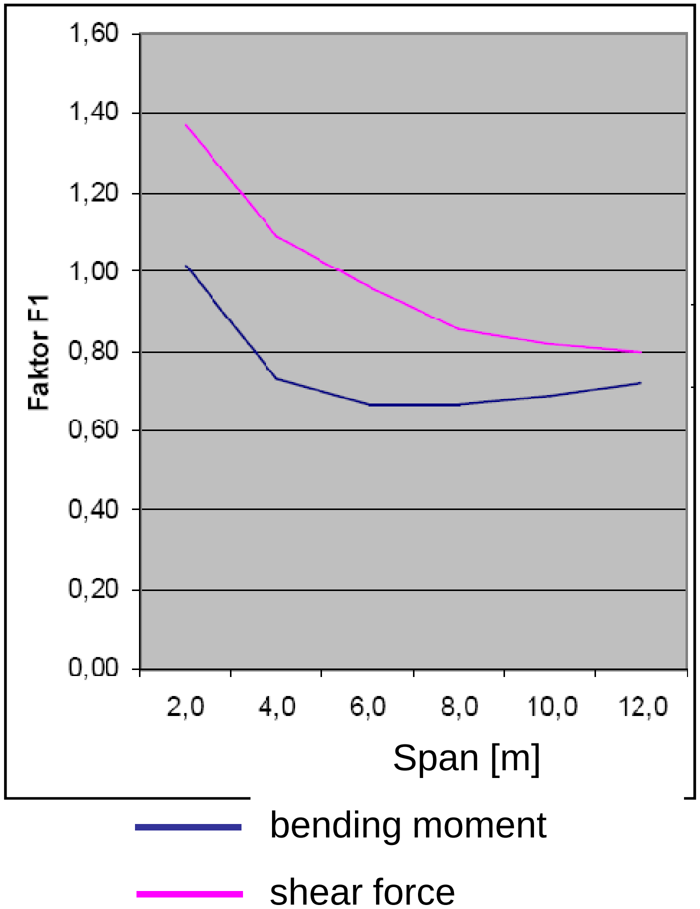
Dr. Markus Vill

ÖBB Infrastruktur

Results of slabs

Results of bending moment L/2						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Beam model $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	FE model m_x [kNm/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	94,0	95,6	**1,02**
4,0	1,45	1,21	1,56	269,4	196,6	**0,73**
6,0	1,45	1,21	1,42	517,1	344,5	**0,67**
8,0	1,45	1,21	1,34	801,1	534,8	**0,67**
10,0	1,45	1,21	1,28	1081,4	745,0	**0,69**
12,0	1,45	1,21	1,24	1364,5	979,8	**0,72**

Results of shear force						
Stützweite [m]	γ_Q	α	Φ	Beam model $v_{x, LM71}$ [kN/m]	FE model v_x [kN/m]	F1
2,0	1,45	1,21	1,67	204,5	280,1	**1,37**
4,0	1,45	1,21	1,56	307,7	335,8	**1,09**
6,0	1,45	1,21	1,42	375,0	361,1	**0,96**
8,0	1,45	1,21	1,34	416,0	355,0	**0,85**
10,0	1,45	1,21	1,28	437,9	358,3	**0,82**
12,0	1,45	1,21	1,24	453,7	360,9	**0,80**



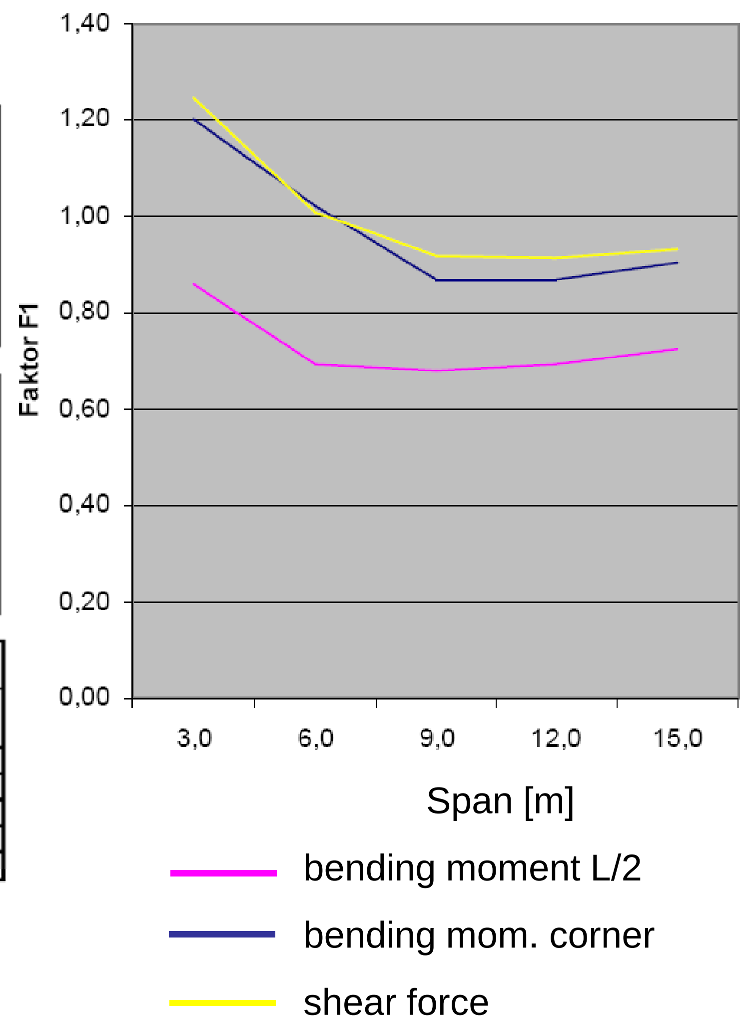
ÖBB Infrastruktur

Results of frames

Results of bending moment corner						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Beam model $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	FE model m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	-72,6	-87,3	**1,20**
6,0	1,45	1,21	1,35	-223,0	-228,1	**1,02**
9,0	1,45	1,21	1,30	-490,1	-425,4	**0,87**
12,0	1,45	1,21	1,26	-774,2	-673,5	**0,87**
15,0	1,45	1,21	1,24	-1041,1	-940,8	**0,90**

Results of bending moment L/2						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Beam model $m_{x, LM71}$ [kNm/m]	FE model m_x [kNm/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	129,8	111,4	**0,86**
6,0	1,45	1,21	1,35	374,4	259,7	**0,69**
9,0	1,45	1,21	1,30	632,8	428,8	**0,68**
12,0	1,45	1,21	1,26	912,2	633,2	**0,69**
15,0	1,45	1,21	1,24	1224,5	886,8	**0,72**

Results of shear force						
Lichte Weite [m]	γ_Q	α	Φ	Beam model $v_{x, LM71}$ [kN/m]	FE model v_x [kN/m]	F1
3,0	1,45	1,21	1,53	266,8	332,2	**1,25**
6,0	1,45	1,21	1,35	388,9	392,2	**1,01**
9,0	1,45	1,21	1,30	473,9	434,4	**0,92**
12,0	1,45	1,21	1,26	526,6	480,4	**0,91**
15,0	1,45	1,21	1,24	561,2	521,7	**0,93**



ÖBB Infrastruktur

Conclusions

- Eurocodes are good bases for the design of any type of bridges
- However, the resulting effort for the calculation of simple structures is disproportional high
- Therefore: Proposal for simplification:
  - Simplification of load configurations (e.g., reduction of load-combinations, loadgroups)
  - Implementation of faktor F1 multiplied by LM71 for usual railway bridges
- Advantages:
  - Less effort of calculation process for same result and quality
  - Greater acceptance of Eurocodes by users
  - Increase of the practical suitability of EC`s

ÖBB Infrastruktur

Austrian Experience using Eurocode 2, Concrete Bridge Design



Dr.techn. Markus Vill

Engineering Services, Bridge Departement, ÖBB

markus.vill@oebb.at