

2023058

Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente für die Versenkwalze

Wehr Wipfeld

M-H4

Auftraggeber:

WSA Schweinfurt

Mainberger Straße 8
97422 Schweinfurt

Hinsichtlich der Standsicherheit geprüft.

Prüf-Nr. 22 / 119

Nürnberg, den 27. März 2025

Prüfingenieur:

Bearbeiter:

Dipl.-Ing.
Dietrich OehmkeNeuhofener Str. 10
90419 Nürnberg
Telefon (0911) 393080anerkannt mit MS-Nr. HB 8-4117.12 OEM/90 vom 21.10.05
u. 08.08.08 für die Fachrichtungen MASSIVBAU und METALLBAU

STATISCHE BERECHNUNG

2023058

 ANWIKAR CONSULTANTS	
INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN mbH, VBI www.anwikar.de • Tel.: 0931 / 980 96 – 0 • Fax: 0931 / 980 96 – 49 Max-Born-Straße 19 • 97080 Würzburg	
MASSIVBAU	STAHLBAU STAHLVERBUNDBAU
OBJEKTPLANUNG	BRÜCKEN
TRAGWERKSPLANUNG	BEWEGLICHE BRÜCKEN
BAUÜBERWACHUNG	STAHLWASSERBAU
BAUWERKSPRÜFUNG	STAHLHOCHBAU
SIGEKO	KRANE

Digital signiert von André Zühlke
 DN: cn=André Zühlke, c=DE,
 email=a.zuehlke@anwikar.de
 Datum: 2024.10.28 14:18:53
 +01'00'

.....
 Würzburg, den 25.10.2024

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS Datum: 25.10.2024									
1. Inhaltsverzeichnis											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 1									
Kapitel / Vorgang: 1. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 19.03.2025									
1. Inhaltsverzeichnis											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 1a									
Kapitel / Vorgang: 1. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)																																																							
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>																																																							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 19.03.2025																																																							
<table border="0"> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Seite</td> </tr> <tr> <td>1. Inhaltsverzeichnis</td> <td style="text-align: right;">1a – 2a</td> </tr> <tr> <td>2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen</td> <td style="text-align: right;">1 – 15</td> </tr> <tr> <td> 2.1 Beschreibung des Walzenwehrs</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 2.2 Normen und Richtlinien</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td> 2.3 Walzenparameter</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td> 2.4 Lastannahmen</td> <td style="text-align: right;">5 – 10</td> </tr> <tr> <td> 2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td> 2.6 Skizzen</td> <td style="text-align: right;">12 – 15</td> </tr> <tr> <td>3. Lager- und Antriebskräfte</td> <td style="text-align: right;">1 – 5</td> </tr> <tr> <td> 3.1 Allgemeines</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 3.2 Sicherheitsbeiwerte</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td> 3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td> 3.4 Resultierende Auflagerkräfte</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>4. Nachweise Zahnstange und -kranz</td> <td style="text-align: right;">1 – 45</td> </tr> <tr> <td> 4.1 Allgemeines</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub</td> <td style="text-align: right;">3 – 4</td> </tr> <tr> <td> 4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit</td> <td style="text-align: right;">5 – 7</td> </tr> <tr> <td> 4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit</td> <td style="text-align: right;">8</td> </tr> <tr> <td> 4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td> 4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">10a, 11a, 11.1</td> </tr> <tr> <td> 4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td> 4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">13 – 35</td> </tr> <tr> <td> 4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">36 – 37</td> </tr> <tr> <td> 4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">38 – 42</td> </tr> <tr> <td> 4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton</td> <td style="text-align: right;">43 – 44</td> </tr> <tr> <td> 4.12 Ermüdungsnachweis</td> <td style="text-align: right;">45</td> </tr> </table>					Seite	1. Inhaltsverzeichnis	1a – 2a	2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	1 – 15	2.1 Beschreibung des Walzenwehrs	2	2.2 Normen und Richtlinien	3	2.3 Walzenparameter	4	2.4 Lastannahmen	5 – 10	2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau	11	2.6 Skizzen	12 – 15	3. Lager- und Antriebskräfte	1 – 5	3.1 Allgemeines	2	3.2 Sicherheitsbeiwerte	3	3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	4	3.4 Resultierende Auflagerkräfte	5	4. Nachweise Zahnstange und -kranz	1 – 45	4.1 Allgemeines	2	4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub	3 – 4	4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit	5 – 7	4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit	8	4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz	9	4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange	10a, 11a, 11.1	4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze	12	4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange	13 – 35	4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange	36 – 37	4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange	38 – 42	4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton	43 – 44	4.12 Ermüdungsnachweis	45
	Seite																																																								
1. Inhaltsverzeichnis	1a – 2a																																																								
2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	1 – 15																																																								
2.1 Beschreibung des Walzenwehrs	2																																																								
2.2 Normen und Richtlinien	3																																																								
2.3 Walzenparameter	4																																																								
2.4 Lastannahmen	5 – 10																																																								
2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau	11																																																								
2.6 Skizzen	12 – 15																																																								
3. Lager- und Antriebskräfte	1 – 5																																																								
3.1 Allgemeines	2																																																								
3.2 Sicherheitsbeiwerte	3																																																								
3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	4																																																								
3.4 Resultierende Auflagerkräfte	5																																																								
4. Nachweise Zahnstange und -kranz	1 – 45																																																								
4.1 Allgemeines	2																																																								
4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub	3 – 4																																																								
4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit	5 – 7																																																								
4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit	8																																																								
4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz	9																																																								
4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange	10a, 11a, 11.1																																																								
4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze	12																																																								
4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange	13 – 35																																																								
4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange	36 – 37																																																								
4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange	38 – 42																																																								
4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton	43 – 44																																																								
4.12 Ermüdungsnachweis	45																																																								
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 2a																																																							
Kapitel / Vorgang: 1. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.																																																							

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)																																																							
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>																																																							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024																																																							
<table border="0"> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Seite</td> </tr> <tr> <td>1. Inhaltsverzeichnis</td> <td style="text-align: right;">1 – 2</td> </tr> <tr> <td>2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen</td> <td style="text-align: right;">1 – 15</td> </tr> <tr> <td> 2.1 Beschreibung des Walzenwehrs</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 2.2 Normen und Richtlinien</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td> 2.3 Walzenparameter</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td> 2.4 Lastannahmen</td> <td style="text-align: right;">5 – 10</td> </tr> <tr> <td> 2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td> 2.6 Skizzen</td> <td style="text-align: right;">12 – 15</td> </tr> <tr> <td>3. Lager- und Antriebskräfte</td> <td style="text-align: right;">1 – 5</td> </tr> <tr> <td> 3.1 Allgemeines</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 3.2 Sicherheitsbeiwerte</td> <td style="text-align: right;">3</td> </tr> <tr> <td> 3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td> 3.4 Resultierende Auflagerkräfte</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>4. Nachweise Zahnstange und -kranz</td> <td style="text-align: right;">1 – 45</td> </tr> <tr> <td> 4.1 Allgemeines</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td> 4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub</td> <td style="text-align: right;">3 – 4</td> </tr> <tr> <td> 4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit</td> <td style="text-align: right;">5 – 7</td> </tr> <tr> <td> 4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit</td> <td style="text-align: right;">8</td> </tr> <tr> <td> 4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td> 4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">10 – 11</td> </tr> <tr> <td> 4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td> 4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">13 – 35</td> </tr> <tr> <td> 4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">36 – 37</td> </tr> <tr> <td> 4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange</td> <td style="text-align: right;">38 – 42</td> </tr> <tr> <td> 4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton</td> <td style="text-align: right;">43 – 44</td> </tr> <tr> <td> 4.12 Ermüdungsnachweis</td> <td style="text-align: right;">45</td> </tr> </table>					Seite	1. Inhaltsverzeichnis	1 – 2	2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	1 – 15	2.1 Beschreibung des Walzenwehrs	2	2.2 Normen und Richtlinien	3	2.3 Walzenparameter	4	2.4 Lastannahmen	5 – 10	2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau	11	2.6 Skizzen	12 – 15	3. Lager- und Antriebskräfte	1 – 5	3.1 Allgemeines	2	3.2 Sicherheitsbeiwerte	3	3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	4	3.4 Resultierende Auflagerkräfte	5	4. Nachweise Zahnstange und -kranz	1 – 45	4.1 Allgemeines	2	4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub	3 – 4	4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit	5 – 7	4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit	8	4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz	9	4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange	10 – 11	4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze	12	4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange	13 – 35	4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange	36 – 37	4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange	38 – 42	4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton	43 – 44	4.12 Ermüdungsnachweis	45
	Seite																																																								
1. Inhaltsverzeichnis	1 – 2																																																								
2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	1 – 15																																																								
2.1 Beschreibung des Walzenwehrs	2																																																								
2.2 Normen und Richtlinien	3																																																								
2.3 Walzenparameter	4																																																								
2.4 Lastannahmen	5 – 10																																																								
2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau	11																																																								
2.6 Skizzen	12 – 15																																																								
3. Lager- und Antriebskräfte	1 – 5																																																								
3.1 Allgemeines	2																																																								
3.2 Sicherheitsbeiwerte	3																																																								
3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	4																																																								
3.4 Resultierende Auflagerkräfte	5																																																								
4. Nachweise Zahnstange und -kranz	1 – 45																																																								
4.1 Allgemeines	2																																																								
4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub	3 – 4																																																								
4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit	5 – 7																																																								
4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit	8																																																								
4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und -kranz	9																																																								
4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange	10 – 11																																																								
4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze	12																																																								
4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange	13 – 35																																																								
4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange	36 – 37																																																								
4.10 Nachweis der Betonverankerung der Zahnstange	38 – 42																																																								
4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton	43 – 44																																																								
4.12 Ermüdungsnachweis	45																																																								
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 2																																																							
Kapitel / Vorgang: 1. Inhaltsverzeichnis		Archiv-Nr.																																																							

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									
2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktions- skizzen											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 1									
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

2.1 Beschreibung des Walzenwehrs

Die Wehranlage Wipfeld besteht aus zwei in den Seitenöffnungen angeordneten Walzenwehren und einem in der Mittelöffnung angeordnetem Versenkschütz. Die lichte Weite beider Wehröffnungen der Walzen beträgt je 25,0 m. Die Stauhöhe beträgt bei normalem Stau 4,45 m, für Überstau 4,75 m.

Die Walzenwehre bestehen aus dem Tragkörper, dem Stauschild, den Seitenschildern und den Queraussteifungen. Der Tragkörper wird durch einen Hohlzylinder gebildet. Das Hochziehen des Wehrkörpers geschieht mittels einer einseitig (am angetriebenen Ende – a.E.) vorhandenen Hubkette, wobei sich der Wehrkörper auf Zahnlaufbahnen in den Pfeilernischen hochwölzt.

Die Zahnstangen lassen sich aufgrund ihrer Konstruktion in zwei Bereiche unterscheiden. Der Bereich in der unteren Staustellung und der obere Bereich. Es soll eine Teilerneuerung des unteren Zahnstangenelements sowie des zugehörigen Zahnkranzelementes erfolgen. Dabei sollen sowohl das untere Zahnstangenelement als auch das Zahnkranzelement als Frästeil ausgeführt werden, wobei Laufschiene und Zahnelemente voneinander getrennt gefertigt und anschließend form- und kraftschlüssig miteinander verschraubt werden sollen.

Gleichzeitig muss über die Höhe des auszutauschenden Zahnstangensegments neue Betonaufleger gesetzt werden.

Beim Konstruieren der Zahnstange wurden die gleichen Abmessungen der bestehenden Zahnstange angesetzt, da es sich um einen Ersatzneubau handelt.

Die vorliegende statische Berechnung umfasst die Bemessung des Zahnkranzes und der Zahnstange sowie den Nachweis der Verankerung der Zahnstange im Beton für die Versenkwälze.

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 2
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

2.2 Normen und Richtlinien

- [1] DIN 19704-1: Stahlwasserbauten - Teil 1: Berechnungsgrundlagen (11-2014)
- [2] DIN 19704-2: Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung (11-2014)
- [3] DIN EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten (12-2010)
DIN EN 1993 (alle Teile), einschl. der zugehörigen NA's
- [4] DIN EN 1992-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken (01-2011)
DIN EN 1992 (alle Teile), einschl. der zugehörigen NA's
- [5] Roloff/Matek: Maschinenelemente. Normung, Berechnung, Gestaltung
- [6] Petersen: Stahlbau. Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau: BAWMerkblatt, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 3
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)													
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>													
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024													
2.3 Walzenparameter <table> <tr> <td>Stauziel Wasserstand</td> <td>4,45 m</td> </tr> <tr> <td>Hochwasser Wasserstand</td> <td>4,75 m</td> </tr> <tr> <td>Lichte Weite der Walze</td> <td>25,00 m</td> </tr> <tr> <td>Rollradius</td> <td>1910 mm</td> </tr> <tr> <td>Neigung der Laufbahn</td> <td>70°</td> </tr> <tr> <td>Masse Walzenwehr (inkl. Zahnkränze)</td> <td>≅ 84 t</td> </tr> </table>				Stauziel Wasserstand	4,45 m	Hochwasser Wasserstand	4,75 m	Lichte Weite der Walze	25,00 m	Rollradius	1910 mm	Neigung der Laufbahn	70°	Masse Walzenwehr (inkl. Zahnkränze)	≅ 84 t
Stauziel Wasserstand	4,45 m														
Hochwasser Wasserstand	4,75 m														
Lichte Weite der Walze	25,00 m														
Rollradius	1910 mm														
Neigung der Laufbahn	70°														
Masse Walzenwehr (inkl. Zahnkränze)	≅ 84 t														
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 4													
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen		Archiv-Nr.													

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

2.4 Lastannahmen

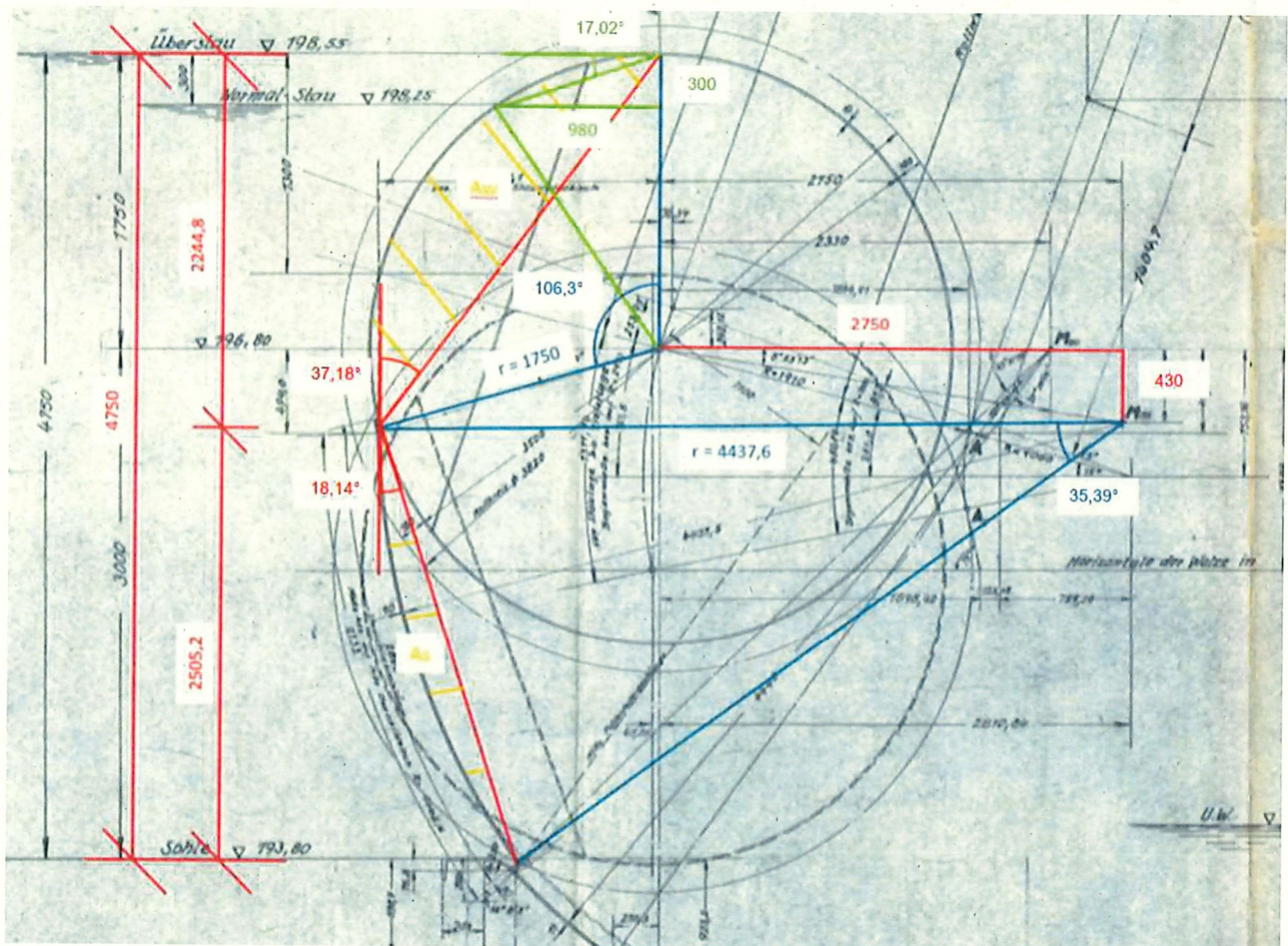
Allgemeines:

Anhand der aus den Bestandsunterlagen entnommenen Maße werden alle Lastangriffspunkte und die entsprechenden resultierenden Hebelarme definiert. Sämtliche Kräfte aus Wasserdruck und Auftrieb sind auf Mitte Walze (M) bez. auf Mitte Schild (Ms) bezogen.

Anhand dessen werden die vorhandenen Einwirkungen auf die Walze unter Berücksichtigung der aktuellen Normen ermittelt.

Dazu werden jeweils die vertikalen und horizontalen Lastanteile und die daraus resultierenden Momentenbeanspruchungen am Punkt K berechnet (siehe Skizze Seite 2/5).

Vor Beginn der Umbauarbeiten ist der Erhaltungszustand der vorhandenen Bauteile zu überprüfen und außerdem zu kontrollieren, ob die in den Sicherheitsnachweisen getroffenen Voraussetzungen hinsichtlich der vorhandenen Bauteile auch tatsächlich zutreffen. Bei Abweichungen sind entsprechend zusätzliche Nachweise zu führen.



Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 5
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld

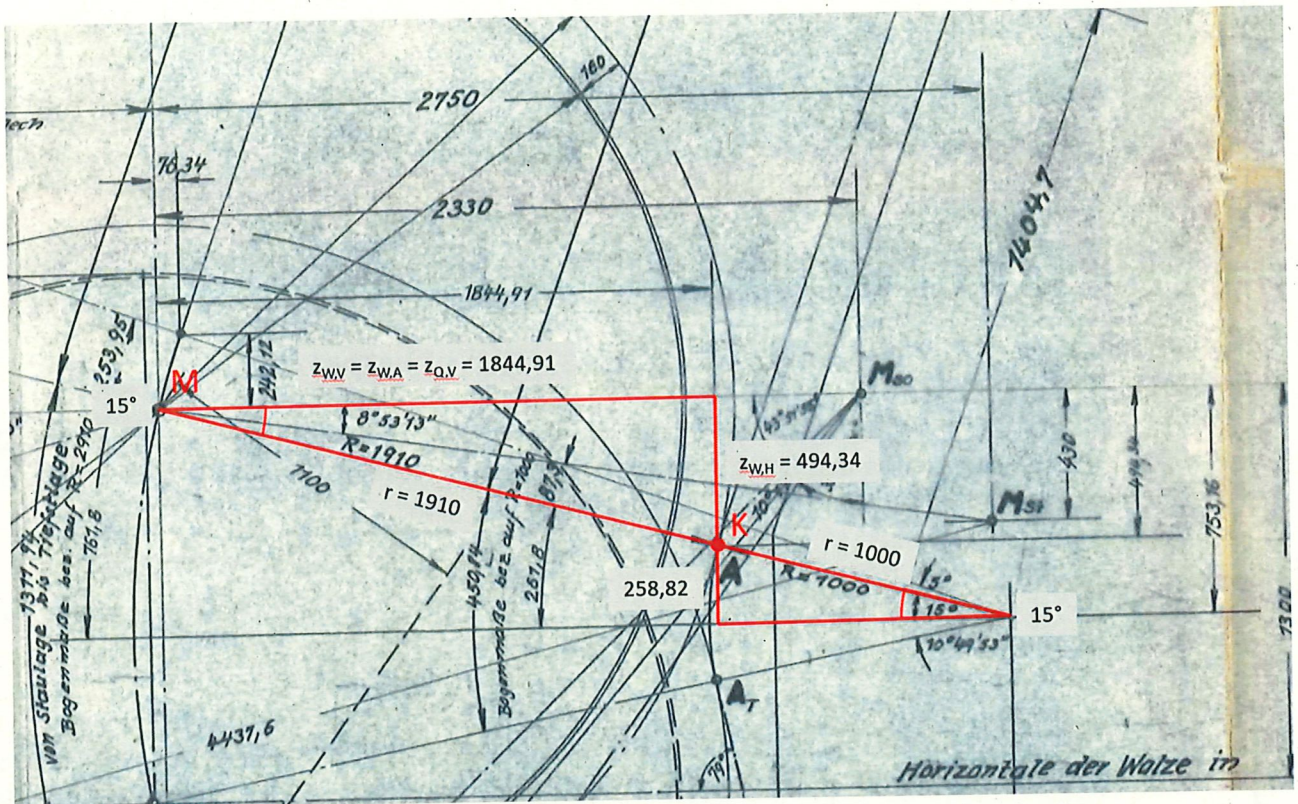
Bauwerksnummer (ASB)

Bauherr: WSA Schweinfurt
Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt

Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH,
Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg



Datum: 25.10.2024



Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 6

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



Ständige Einwirkungen:

LF1 Eigengewicht

Das Eigengewicht der Walze einschließlich Antriebswerk wird laut Angabe auf dem Bestandsplan „Wehrpfeiler „R“ u. Wehrpfeiler „L“ Ansicht u. Schnitte“ mit 84 t angesetzt.

Zusätzlich ist gemäß DIN 19704-1, 5.1 ein Zuschlag zum Eigengewicht für Besichtigungen, anhaftendes Wasser, anhaftendes Eis, Bewuchs und Verschmutzung von 10% einzurechnen.

Insgesamt wird daher das Eigengewicht mit $G = 84 \text{ t} \cdot 1,1 = 92,40 \text{ t}$ angesetzt.

Für Walze und Schild liegt keine Schwerpunktermittlung in den Bestandsunterlagen vor. Die Flächenverhältnisse des Schild- und des Walzenquerschnitts (Flächen siehe Skizze Seite 2/4, 5 rot markiert) ähneln aber denen des Walzenwehr Harrbach:

Harrbach:

$$A_w = 3,47 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,71 \text{ m}^2$$

$$A_s/A_w = 0,20$$

Wipfeld:

$$A_w = 1,37 \text{ m}^2 (A = r^2 \cdot (\alpha - \sin(\alpha)) / 2)$$

$$A_s = 0,35 \text{ m}^2$$

$$A_s/A_w = 0,26$$

Der Hebelarm erhöht sich bei einem größeren Verhältnis der Schildfläche zur Walzenfläche. Deshalb nehmen wir (entsprechend der Größenverhältnisse von Walze Harrbach zu Walze Wipfeld angepasst) für den horizontalen Abstand des Walzenmittelpunkt zum Schwerpunkt auf der sicheren Seite liegend 0,22 m an, da das resultierende Moment aus Eigengewicht somit größer wird.

$$Z_{G,Wipfeld} = r_{Sitz,Wipfeld} / (r_{Sitz,Harrbach} / Z_{G,Harrbach}) = 1,75 \text{ m} / (2,37 \text{ m} / 0,3 \text{ m}) \approx 0,22 \text{ m}$$

$$\text{Res. Moment: } M_G = G \cdot Z_G = 924,0 \text{ kN} \cdot (1,8449 \text{ m} + 0,22 \text{ m}) = 1907,97 \text{ kNm}$$

Veränderliche Einwirkungen:

LF2 Wasserdruck

Oberwasser bei +198,55 m ü NN

Hydrostatischer Stau: $h = 4,75 \text{ m}$

$$\text{Resultierender horiz. Wasserdruck: } W_H = (4,75 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 4,75 \text{ m} / 2) \cdot 25 \text{ m} = 2820,31 \text{ kN}$$

$$\text{Res. Moment: } M_{W,H} = W_H \cdot z_{W,H} = 2820,31 \text{ kN} \cdot (2/3 \cdot 4,75 - 1,75 - 0,4943) \text{ m} \\ = 2820,31 \text{ kN} \cdot 0,9224 \text{ m} = 2601,36 \text{ kNm}$$

(Hebelarm vergleiche Skizze auf Seite 2/4 und 2/5)

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 7

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

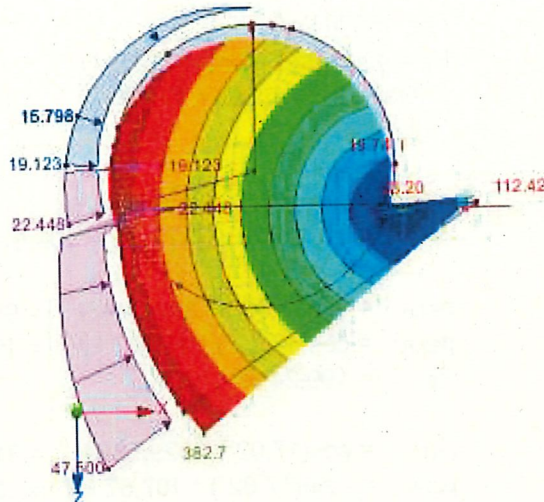
Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



LF3 Auftrieb

Für den Auftrieb ergibt sich anhand eines RFEM-Modells folgender Wert.



LF2 - test			
Berechnungsstatus	Die maximale Verschiebung des Modells (372.7 mm, Richtung +Z) überschreitet den eingestellten		
Summe Belastung in Richtung X	112,42 kN		
Summe Lagerkräfte in Richtung X	112,42 kN	Abweichung: 0.00 %	
Summe Belastung in Richtung Y	0,00 kN		
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0,00 kN		
Summe Belastung in Richtung Z	-19,74 kN		
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	-19,74 kN	Abweichung: 0.00 %	
Resultierende der Reaktionen um X	0,000 kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X: 2.235, Y: 0.000, Z: -2.479 m)	
Resultierende der Reaktionen um Y	64,148 kNm	Im Schwerpunkt des Modells	
Resultierende der Reaktionen um Z	0,000 kNm	Im Schwerpunkt des Modells	

$$W_v = 19,74 \text{ kN/m} * 25 \text{ m} = 493,50 \text{ kN}$$

Mit $W_{w,v} = -10,85 \text{ kN}$ (Walze) und $W_{s,v} = 30,58 \text{ kN}$ (Schild)

Knoten Nr.	Lagerkräfte [kN]			Lagermomente [kNm]		
	P_x	P_y	P_z	M_x	M_y	M_z
3	112,42	0,00	-19,74	0,00	23,20	0,00
Σ Kräfte	112,42	0,00	-19,74			
Σ Lasten	112,42	0,00	-19,74			

Als gesamtes resultierendes Moment für alle Wasserlasten ergibt sich:

$$M_w = 23,20 \text{ kNm/m} * 25 \text{ m} = 580 \text{ kNm}$$

geprüft durch V. D.

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 8
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table>					
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024					

LF4 Eisdruck

Eisdruck wird entsprechend DIN 19704-1, Abs. 5.2.5 angesetzt:

Eisdicke $h_E = 30 \text{ cm}$

Eisdruck $p_E = 150 \text{ kN/m}^2$

Horizontaler Eisdruck $P_E = 45 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} = 1125 \text{ kN}$

Winkel $\alpha = \tan^{-1}(0,30/0,98) = 17,02^\circ$
 (vgl. Skizze 2/4)

Senkrecht auf Walze $p_{E1} = 1125 \cdot \sin(17,02^\circ) = 329,29 \text{ kN}$

Parallel zur Walze $p_{E2} = 0,1 \cdot 1125 \cdot \cos(17,02^\circ) = 107,57 \text{ kN}$

Horiz. Anteil $p_{E1,H} = \sin(17,02^\circ) \cdot 329,29 \text{ kN} = 96,38 \text{ kN}$

$p_{E2,H} = \cos(17,02^\circ) \cdot 107,57 \text{ kN} = 102,86 \text{ kN}$

Res. Horizontale Belastung $P_{EH} = 199,24 \text{ kN}$

Vert. Anteil $p_{E1,V} = \cos(17,02^\circ) \cdot 329,29 \text{ kN} = 314,87 \text{ kN}$

$p_{E2,V} = -\sin(17,02^\circ) \cdot 107,57 \text{ kN} = -31,49 \text{ kN}$

Res. Vertikale Belastung $P_{EV} = 283,38 \text{ kN}$

Res. Moment: $M_E = P_{EV} \cdot z_{EV} - P_{EH} \cdot z_{EH}$
 $= 283,38 \text{ kN} \cdot (1,8449 \text{ m} + 0,98 \text{ m}/2) - 199,24 \text{ kN} \cdot (1,75 \text{ m} + 0,4943 \text{ m}$
 $-$
 $0,15 \text{ m}) = 244,40 \text{ kNm}$
 (Hebelarme vergleiche Skizze auf Seite 2/4 und 2/5)

LF5 Verkehrslast auf Laufsteg

Entspr. DIN 19704 -1, Abs. 5.2.6 gilt:

Laufsteg $q_v = 2,5 \text{ kN/m}^2$
 $Q_v = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 25 \text{ m} = 2,5 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} = 62,5 \text{ kN}$

Geländer $q_H = 0,5 \text{ kN/m}$
 $Q_H = 0,5 \text{ kN/m} \cdot 25 \text{ m} = 12,5 \text{ kN}$

Res. Moment: $M_{QV} = Q_v \cdot z_{QV} = 62,5 \text{ kN} \cdot 1,8449 \text{ m} = 115,31 \text{ kNm}$
 M_{QH} vernachlässigbar

Eisauflast

Eisauflast wird nicht angesetzt.

Massenkräfte

Die Walze wird mit geringer Geschwindigkeit ein- und ausgefahren, sodass keine Massenkräfte zu berücksichtigen sind.

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 9
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



Temperatur

Der Lastfall Temperatur spielt für die Bemessung der Zahnstangen keine Rolle.

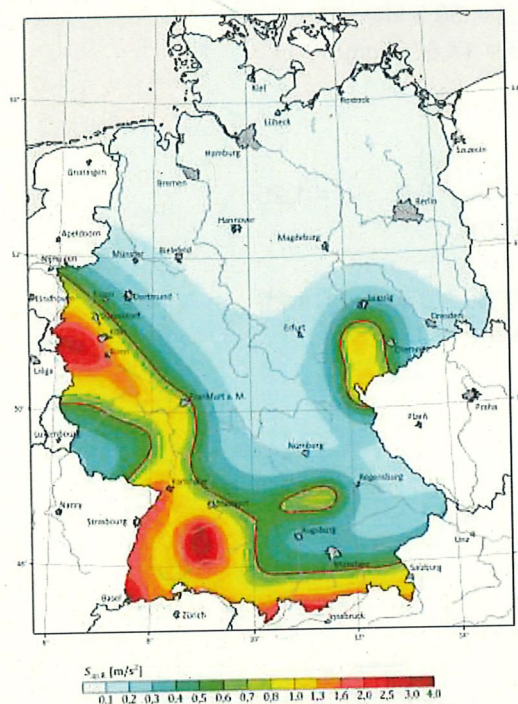
Windlasten

Windlasten werden nicht berücksichtigt, da die Wasserlasten größer und maßgebend sind.

Außergewöhnliche Einwirkungen:

Einwirkungen von Erdbebenkräften

Gemäß DIN 19704 Abs. 5.3.3 sind die Erdbebenkräfte dann zu berücksichtigen, wenn die größte auftauchende Beschleunigung den Wert von 0,1 g übersteigt. Fraglich ist dann allerdings noch, ob der Fall auch maßgebend wäre.



Die Abbildung NA.1 aus der DIN EN 1998-1/NA:2021-07 zeigt, dass die Einwirkung aus Erdbeben berücksichtigt werden muss. Demnach gilt

$$E_{d,a} = 1,35 \cdot G + 1,1 \cdot 0,1 \cdot G + 1,1 \cdot W + 1,1 \cdot 0,1 \cdot W =$$

$$1,35 \cdot 924 + 1,1 \cdot 0,1 \cdot 924 + 1,1 \cdot 2863,16 + 1,1 \cdot 0,1 \cdot 2863,16 = 4813,46 \text{ kN}$$

$$E_{d,s} = 1,35 \cdot G + 1,35 \cdot W = 1,35 \cdot 924 + 1,35 \cdot 2863,16 = 5112,67 \text{ kN}$$

Da $E_{d,a} \leq E_{d,s}$, ist der Lastfall mit Erdbeben nicht maßgebend und braucht nicht weiter berücksichtigt zu werden.

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 10

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

2.5 Beanspruchbarkeiten Stahlbau

Material Zahnstange bzw. Zahnkranz: S355 J2+N

Nach DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1: $\sigma_{R,d} = f_{y,k} / \gamma_M$ mit $f_{y,k} = R_{eH}$ bis $t = 80$ mm

Nach DIN EN 1993-1-1, 6.1: $\gamma_M = 1,0$

$t \leq 40$ mm $R_{eH} = 35,5 \text{ kN/cm}^2 = \sigma_{R,d}$
 $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ $R_{eH} = 33,5 \text{ kN/cm}^2 = \sigma_{R,d}$

Nach DIN 19704-1, 7.4.1 Tabelle 6: $\gamma_M = 1,1$

$t \leq 40$ mm $\sigma_{R,d} = 35,5 / 1,1 = 32,3 \text{ kN/cm}^2$
 $\tau_{R,d} = 32,3 / \sqrt{3} = 18,6 \text{ kN/cm}^2$

$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ $\sigma_{R,d} = 33,5 / 1,1 = 30,5 \text{ kN/cm}^2$
 $\tau_{R,d} = 30,5 / \sqrt{3} = 17,6 \text{ kN/cm}^2$

Schweißnähte:

S 355:
 $t \leq 40$ mm $f_{w,d} = f_u / (\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{m2})$
 $f_u = 49 \text{ kN/cm}^2; \beta_w = 0,9; \gamma_{m2} = 1,25$
 $f_{w,d} = 25,15 \text{ kN/cm}^2$

$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$ $f_u = 47 \text{ kN/cm}^2; \beta_w = 0,9; \gamma_{m2} = 1,25$
 $f_{w,d} = 24,12 \text{ kN/cm}^2$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 11
Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld

Bauwerksnummer (ASB)

Bauherr: WSA Schweinfurt
Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt

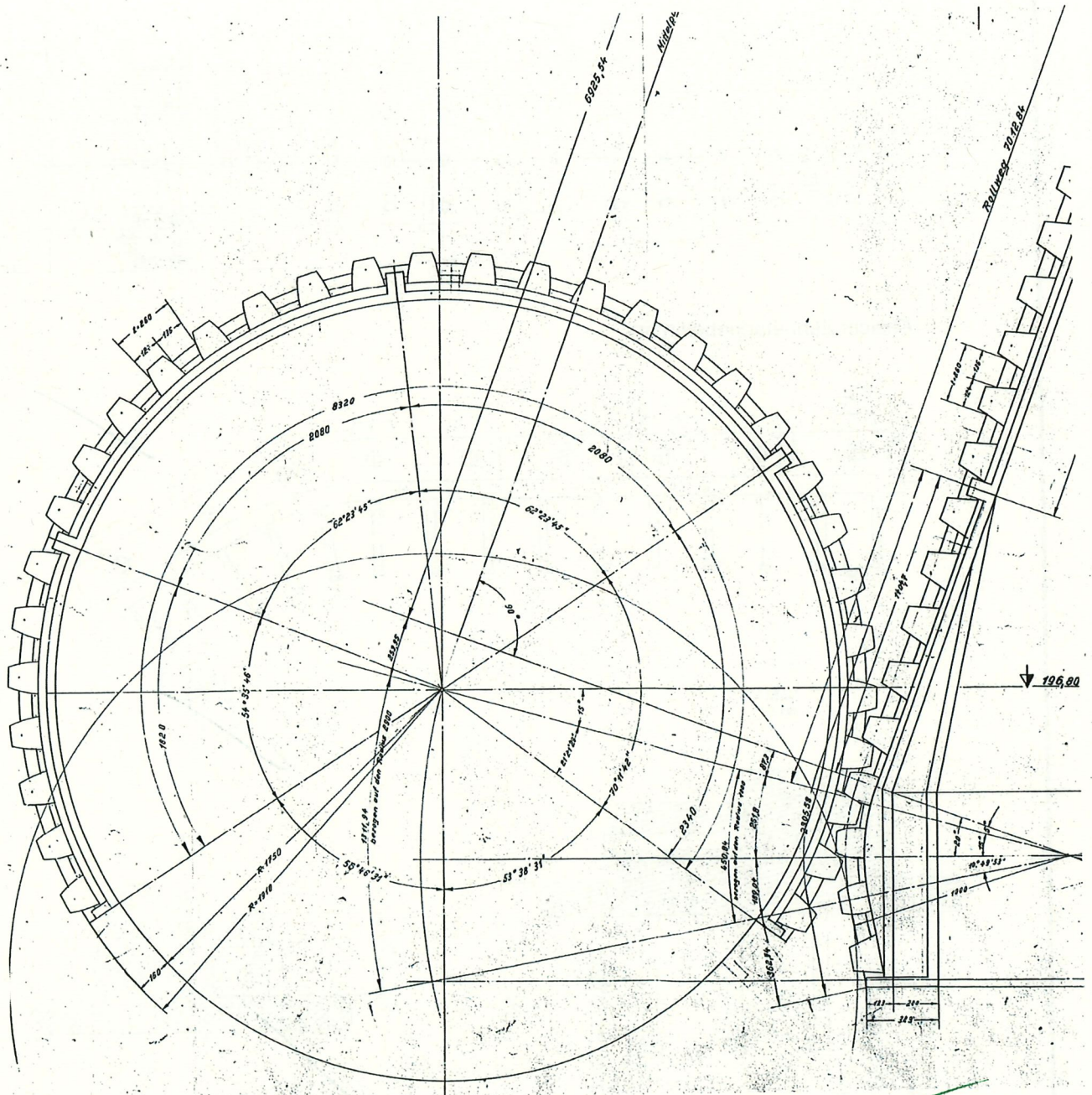
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH,
Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg



Datum: 25.10.2024

2.6 Skizzen

Eingebauter Zustand der Walze im Bereich des untersten Zahnstangenelementes



Bauteil: Zahnstange Wipfeld

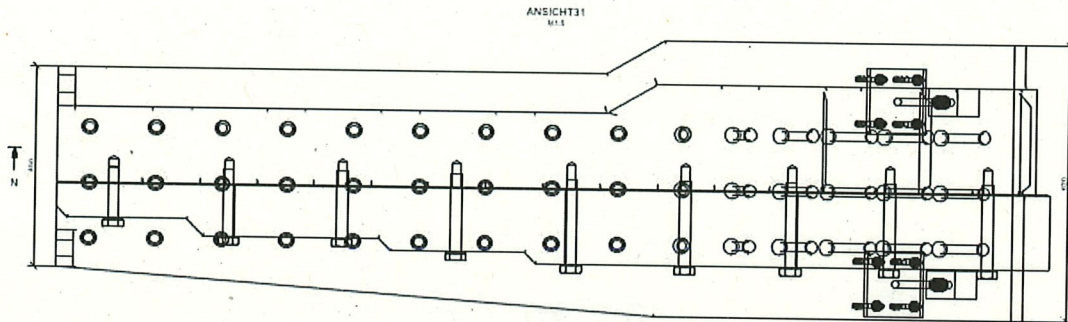
Seite: 12

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

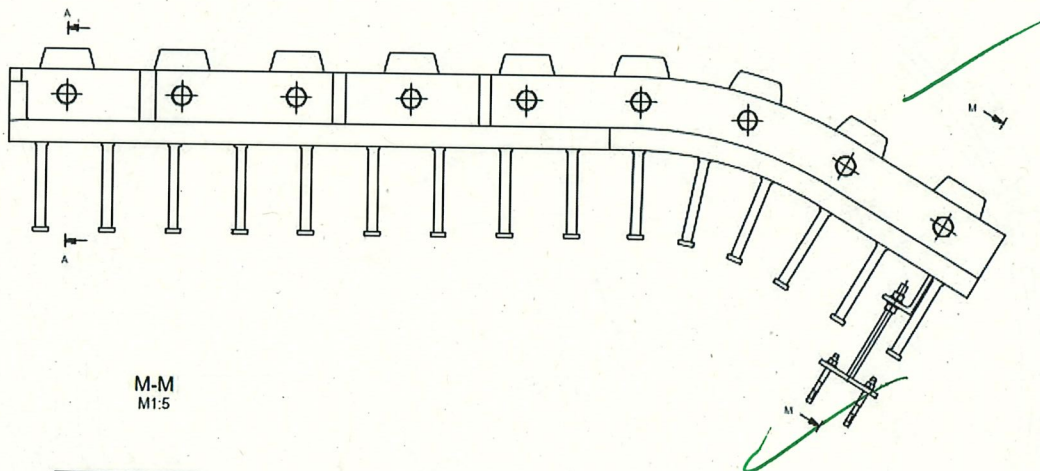
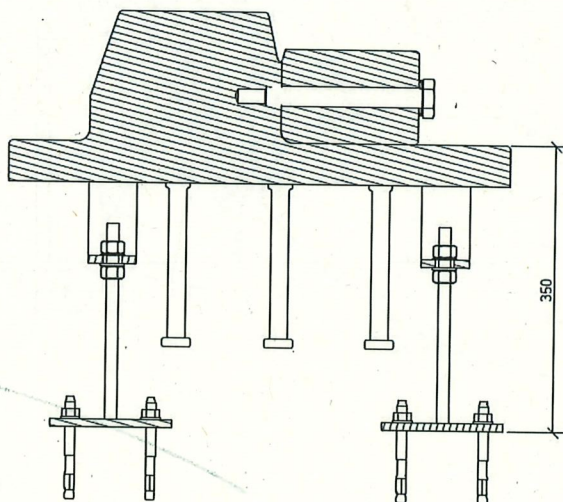
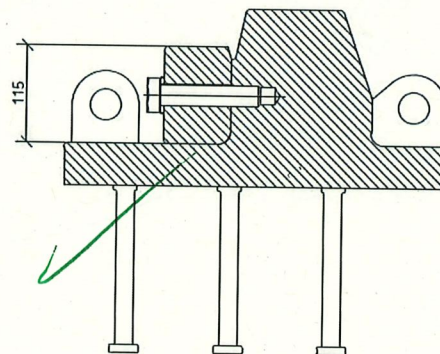
Archiv-Nr.

Auszutauschendes Zahnstangenelement

Draufsicht Zahnstangenelement



Ansicht Zahnstangenelement

M-M
M1:5A-A
M1:5

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld

Bauwerksnummer (ASB)

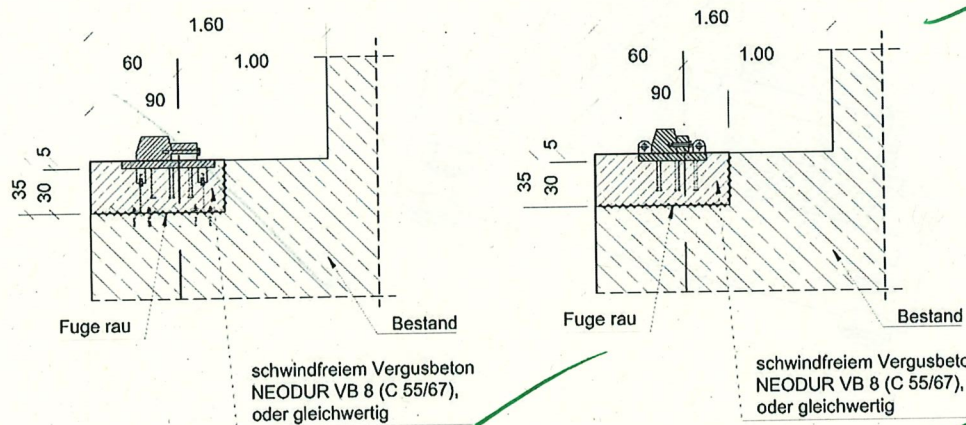
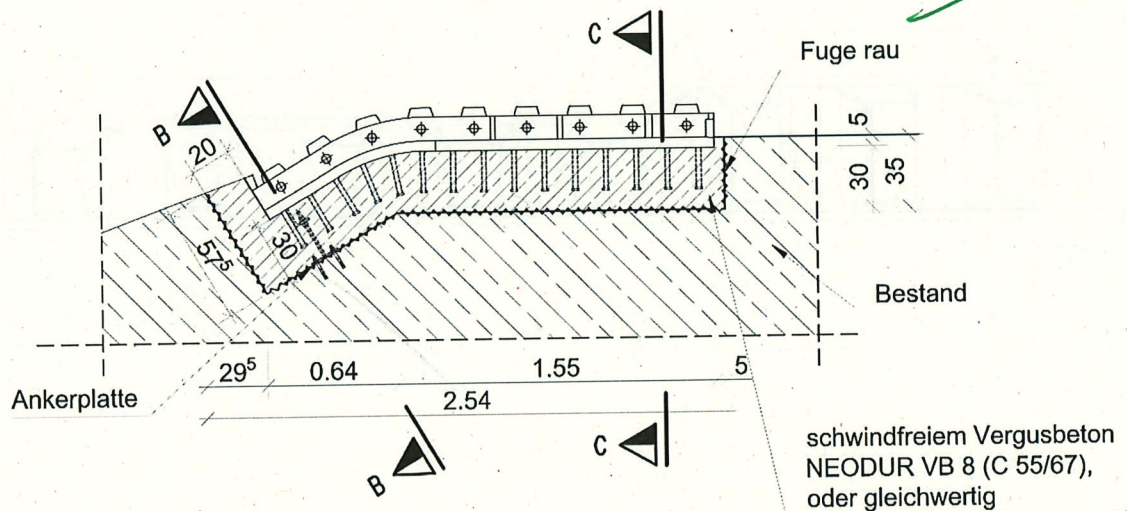
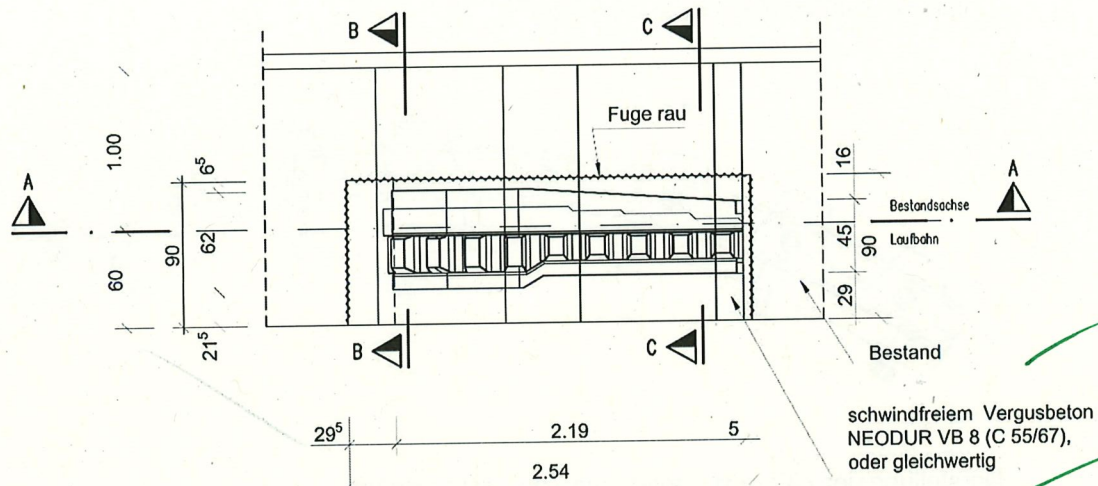
Bauherr: WSA Schweinfurt
Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt

Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH,
Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg



Datum: 25.10.2024

Betonausbruch



Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 14

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld

Bauwerksnummer (ASB)

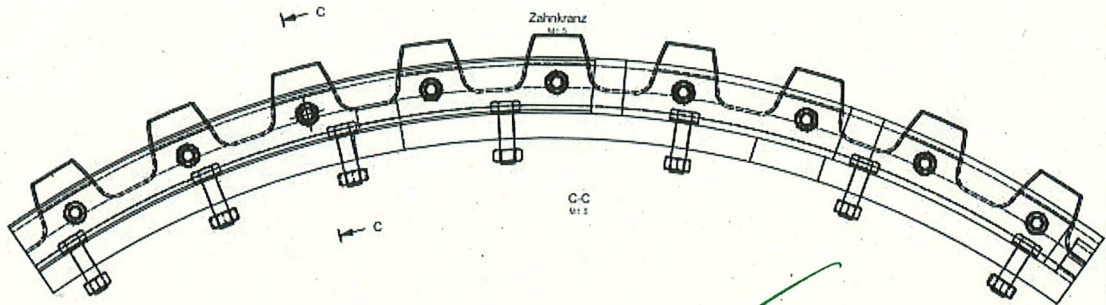
Bauherr: WSA Schweinfurt
Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt

Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH,
Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg

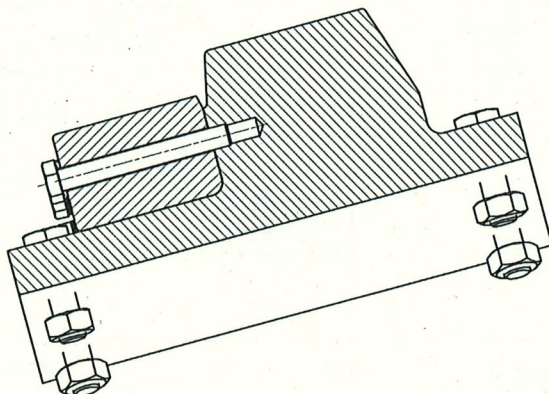
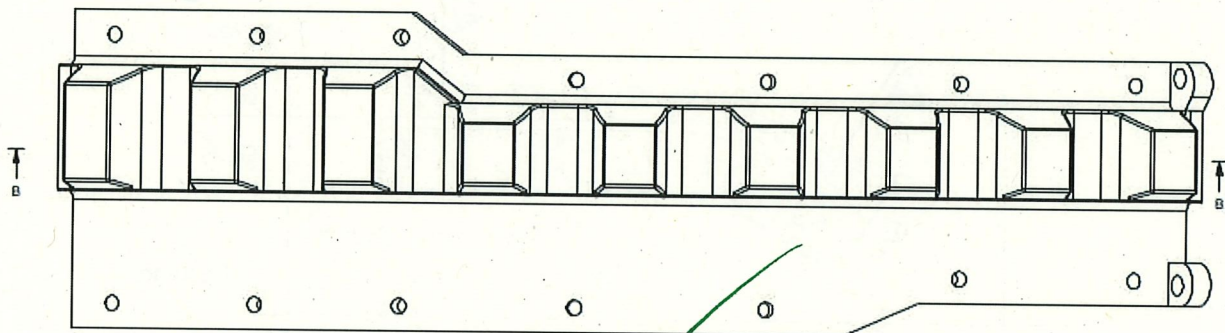


Datum: 25.10.2024

Auszutauschendes Zahnkranzelement
Unterstes Zahnkranzelement auf Walze



Darstellung der Zähne auf unterstem Zahnkranzelement



Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 15

Kapitel / Vorgang: 2. Berechnungsgrundlagen und Konstruktionsskizzen

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

3. Lager- und Antriebskräfte

Handwritten notes:
 1. Zahnstange (Zahn) ist geprüft 5.10.
 2. Zahnstange ist geprüft

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 1

Kapitel / Vorgang: 3. Lager- und Antriebskräfte

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									
3.1 Allgemeines Stützbedingungen Im geschlossenen Zustand stützt sich die Walze auf der Sohle auf. Vertikalkräfte werden von der Sohle abgetragen. Die Horizontalkräfte aus Wasserdruck werden über die Laufschiene der Walze in die beiden Wehrpfeiler eingeleitet. Maßgebend für den unteren Bereich der Zahnstange wird der Zustand in dem die Walze in der untersten Staustellung ist, jedoch nicht mehr auf der Sohle aufliegt. Daraus folgt die betrachtete Walzenstellung: → Walze kurz nach dem Öffnen (0°; ohne Sohlpressung → maßgebend für Zahnstange) Bemerkung Die äußere Belastung teilt sich auf beide Seiten der Walze auf. Für die Bemessung der Zahnstangen ist somit nur jeweils die halbe Kraft anzusetzen. Die resultierende Momentenbeanspruchung wird auf der angetriebenen Seite über die Kette abgetragen. Daraus resultieren höhere Beanspruchungen der Zähne am angetriebenen Ende als am nicht angetriebenen Ende. <i>Die Prüfung erfolgt durch unabhängige Vergleichsrechnung</i>											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 2									
Kapitel / Vorgang: 3. Lager- und Antriebskräfte		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024	

3.2 Sicherheitsbeiwerte

Tabelle 5 — Teilsicherheitsbeiwerte γ_F für die Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ohne Ermüdung)

Nr.	Einwirkungen	Lasten	Siehe Abschnitt	Bemessungssituation						Außergewöhnlich a b c γ_{FA}
				Ständig a		Vorübergehend a				
				$\gamma_{F, sup}$	$\gamma_{F, inf}$	$\gamma_{F, sup}$	$\gamma_{F, inf}$	$\gamma_{F, sup}$	$\gamma_{F, inf}$	
1	ständig	Eigenlasten	5.1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	
2	veränderlich	Hydrostatische Einwirkungen	5.2.1	1,35	1,35	1,25	1,25	1,10		
3		Hydrodynamische Einwirkungen	5.2.2							
4		Wasserlast	5.2.3							
5		Änderungen der Stützbedingungen	5.2.8							
6		Eisaufrost	5.2.4							
7		Verkehrslast	5.2.6	1,50	1,35	1,35				
8		Massenkraft	5.2.7							
9		Eisdruck, Eisstoß	5.2.5							
10		Temperatureinflüsse	5.2.9							
11		Schiffsreibung	5.2.10							
12		Einwirkungen bei Transport-, Montage- und Instandhaltungszuständen	5.2.14							
13	außergewöhnlich	Verlust des Auftriebes infolge Leckage der Luftkammer	5.3.1							
14		Einwirkungen von Erdbebenkräften	5.3.3							
15		Einwirkungen des Antriebs im Störfall	5.3.2							

a Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.

b Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr. 13 bis Nr. 15 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.

c Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzubegebende weitere Einwirkungen siehe 5.4.

^a Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.
^b Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr. 13 bis Nr. 15 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.
^c Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzugebende weitere Einwirkungen siehe 5.4.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table>					
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024					

3.3 Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Aus den einzelnen Einwirkungen ergeben sich über die Lastkombinationen Resultierende Belastungen in vertikaler und horizontaler Richtung sowie die resultierende Momentenbeanspruchung.

Ständige Bemessungssituation:
 $LK1 = 1,35 \cdot LF1 + 1,35 \cdot LF2 + 1,35 \cdot LF3 + 1,5 \cdot LF5$

Resultierende vertikale Gesamtbelastung:

$$V = 1,35 \cdot G + 1,35 \cdot W_v + 1,5 \cdot Q_v$$

$$= 1,35 \cdot 924,00 + 1,35 \cdot 493,50 + 1,5 \cdot 62,50 = 2007,38 \text{ kN}$$

Resultierende horizontale Gesamtbelastung:

$$H = 1,35 \cdot W_H + 1,5 \cdot Q_H$$

$$= 1,35 \cdot 2820,31 + 1,5 \cdot 12,50 = 3826,17 \text{ kN}$$

Resultierendes Moment:

$$M = 1,35 \cdot M_G + 1,35 \cdot M_W + 1,5 \cdot M_{Q_v}$$

$$= 1,35 \cdot 1907,97 + 1,35 \cdot 580 + 1,5 \cdot 115,31$$

$$= 3531,72 \text{ kNm}$$

Vorübergehende Bemessungssituation:
 $LK2 = 1,35 \cdot LF1 + 1,25 \cdot LF2 + 1,25 \cdot LF3 + 1,35 \cdot LF4 + 1,35 \cdot LF5$

Resultierende vertikale Gesamtbelastung:

$$V = 1,35 \cdot G + 1,25 \cdot W_v + 1,35 \cdot P_{EV} + 1,35 \cdot Q_v$$

$$= 1,35 \cdot 924 + 1,25 \cdot 493,5 + 1,35 \cdot 283,38 + 1,35 \cdot 62,5 = 2331,21 \text{ kN}$$

Resultierende horizontale Gesamtbelastung:

$$H = 1,25 \cdot W_H + 1,35 \cdot P_{EH} + 1,35 \cdot Q_H$$

$$= 1,25 \cdot 2820,31 + 1,35 \cdot 199,24 + 1,35 \cdot 12,5 = 3811,24 \text{ kN}$$

Resultierendes Moment:

$$M = 1,35 \cdot M_G + 1,25 \cdot M_W + 1,35 \cdot M_E + 1,35 \cdot M_{Q_v}$$

$$= 1,35 \cdot 1907,97 + 1,25 \cdot 580 + 1,35 \cdot 244,40 + 1,35 \cdot 115,31$$

$$= 3786,37 \text{ kNm}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 4
Kapitel / Vorgang: 3. Lager- und Antriebskräfte	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			

3.4 Resultierende Auflagerkräfte

Aus den vorhandenen Einwirkungen lassen sich schließlich aus der maßgebenden Bemessungssituation, die für die Bemessung der Zahnstange notwendigen Auflagerkräfte berechnen.

Die Neigung der Laufbahn beträgt am Berührungspunkt K für die betrachtete Walzenstellung 75°. Dieser Winkel unterscheidet sich von der Laufbahnneigung der oberen Zahnstangensegmente (70°), da das unterste Zahnstangenelement gekrümmt ausgeführt ist. Die Aufteilung der Kräfte und folglich die Bemessung erfolgt für diesen Winkel.

Anteil senkrecht auf Laufschiene:

Aus ständiger Bemessungssituation:

$$L_{ges,d} = \cos(75^\circ) * V + \sin(75^\circ) * H = \cos(75^\circ) * 2007,38 + \sin(75^\circ) * 3826,17 = 4215,34 \text{ kN}$$

Aus vorübergehender Bemessungssituation:

$$L_{ges,d} = \cos(75^\circ) * V + \sin(75^\circ) * H = \cos(75^\circ) * 2331,21 + \sin(75^\circ) * 3811,24 = 4284,74 \text{ kN}$$

Max. Anpresskraft auf Laufrolle bzw. Laufschiene

$$\rightarrow L_d = 2142,37 \text{ kN pro Seite}$$

Anteil parallel zur Laufschiene an nicht angetriebenem Ende:

Aus ständiger Bemessungssituation:

$$Z_{ges,d} = \cos(75^\circ) * H - \sin(75^\circ) * V = \cos(75^\circ) * 3826,17 - \sin(75^\circ) * 2007,38 = -948,69 \text{ kN}$$

Aus vorübergehender Bemessungssituation:

$$Z_{ges,d} = \cos(75^\circ) * H - \sin(75^\circ) * V = \cos(75^\circ) * 3811,24 - \sin(75^\circ) * 2331,21 = -1265,35 \text{ kN}$$

Max. Auflagerkraft parallel zur Laufschiene

$$\rightarrow Z_{N.A.E.,d} = -474,35 \text{ kN} \quad (\text{nicht angetriebenes Ende})$$

Kettenzüge aus resultierender Momentenbelastung:

(Annahme: Angriff der Kette am Zahnfuß, dies liefert den größten Kettenzug)

Aus ständiger Bemessungssituation:

$$K_{ges,d} = M / (1,91 + 1,75 + 0,122)m = 3531,72 / (1,91 + 1,75 + 0,122)m = 933,82 \text{ kN}$$

Aus vorübergehender Bemessungssituation:

$$K_{ges,d} = M / (1,91 + 1,75 + 0,122)m = 3786,37 / (1,91 + 1,75 + 0,122)m = 1001,16 \text{ kN}$$

Anteil parallel zur Laufschiene an angetriebenem Ende:

$$\rightarrow Z_{A.E.,d} = 459,47 \text{ kN} \quad (\text{angetriebenes Ende})$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 5

Kapitel / Vorgang: 3. Lager- und Antriebskräfte

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 1
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									

4.1 Allgemeines

Im Folgenden werden alle für den Austausch des unteren Zahnstangensegments und des unteren Zahnkranzsegmentes notwendigen Nachweise geführt. Dazu gehören neben denen für Zähne und Laufschiene benötigten Nachweisen auch die Nachweise der Befestigung am Zahnkranz bzw. die Nachweise des Lastabtrags im Beton.

Alle Nachweise werden für den unteren und oberen Bereich der Zahnstange geführt. Im unteren Abschnitt sind zwar etwas größere Zahngeometrien vorhanden, jedoch treten auch die höchsten Belastungen in diesem Bereich auf. Auf den oberen Bereich werden vereinfachend auch die maximalen Lasten angesetzt.

Die Hubzeit (elektr.) der Walze wurde aufgrund von vergleichbaren Projekten mit 90 Minuten angenommen. Bei Abweichungen von dieser Annahme ist dies im Nachweis der Zahnfußfestigkeit (siehe Abschnitt 4.3) entsprechend zu berücksichtigen.

die Prüfung erfolgt durch unabhängige
Vergleichsrechnung

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 2
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

4.2 Nachweis der Zähne auf Biegung und Schub

Großer Querschnitt

Zahndruck: $Z_{A,E,d} = 459,47 \text{ kN}$ **Biegung**

Resultierendes Moment am Zahnfuß:

$$M_Z = Z_{A,E,d} \cdot h = 459,47 \text{ kN} \cdot 130 \text{ mm} = 59,73 \text{ kNm}$$

Widerstandsmoment:

$$W = \frac{23,5 \cdot 20^2}{6} = 1566,67 \text{ cm}^3$$

Biegespannung:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_Z}{W} = \frac{59,73 \cdot 100}{1566,67} = 3,81 \text{ kN/cm}^2$$

Material Zähne: S355

Beanspruchbarkeit:

$$\sigma_{Rd} = \frac{33,5}{1,1} = 30,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis:

$$\sigma_{Ed} = 3,81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Rd} = 30,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schub

Schubfläche:

$$A_v = 23,5 \cdot 20 = 470 \text{ cm}^2$$

Vorh. Schubbeanspruchung:

$$\tau_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{Z_{A,E,d}}{A_v} = 1,5 \cdot \frac{459,47}{470} = 1,47 \text{ kN/cm}^2$$

Material Zähne: S355

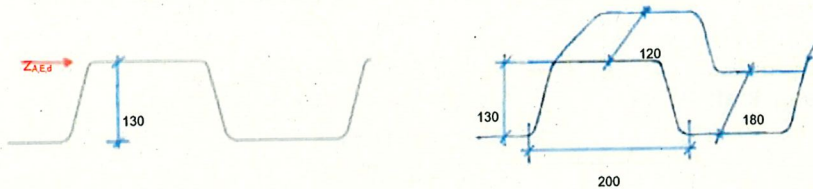
Beanspruchbarkeit:

$$\tau_{Rd} = \frac{33,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 17,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\tau_{Ed} = 1,47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{Rd} = 17,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kleiner Querschnitt

Zahndruck: $Z_{A,E,d} = 459,47 \text{ kN}$ **Biegung**

Resultierendes Moment am Zahnfuß:

$$M_Z = Z_{A,E,d} \cdot h = 459,47 \text{ kN} \cdot 130 \text{ mm} = 59,73 \text{ kNm}$$

Widerstandsmoment:

$$W = \frac{18,0 \cdot 20^2}{6} = 1200 \text{ cm}^3$$

Biegespannung:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_Z}{W} = \frac{59,73 \cdot 100}{1200} = 4,98 \text{ kN/cm}^2$$

Material Zähne: S355

Beanspruchbarkeit:

$$\sigma_{Rd} = \frac{33,5}{1,1} = 30,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis:

$$\sigma_{Ed} = 4,98 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Rd} = 30,45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Schub

Schubfläche:

$$A_v = 18,0 \cdot 20 = 360 \text{ cm}^2$$

Vorh. Schubbeanspruchung:

$$\tau_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{Z_{A,E,d}}{A_v} = 1,5 \cdot \frac{459,47}{360} = 1,91 \text{ kN/cm}^2$$

Material Zähne: S355

Beanspruchbarkeit:

$$\tau_{Rd} = \frac{33,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 17,6 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\tau_{Ed} = 1,91 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{Rd} = 17,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



4.3 Nachweis der Zahnfußfestigkeit

Nach Roloff / Matek Maschinenelemente. Normung, Berechnung, Gestaltung.

Nenn-Umfangskraft	$F_{t,d} = 459,47 \text{ kN}$	
Rollradius	$F_t = F_{bn} \cdot \cos \alpha = 340,35 \text{ kN}$	
Durchmesser	$r = 1910 \text{ mm}$	
Teilung	$d = 3820 \text{ mm}$	
	$p = 260 \text{ mm}$	
Nenndrehmoment	$T = F_t \cdot r = 650,07 \text{ kNm}$	
Eingriffswinkel	$\alpha = 15^\circ$	
Zahnkraft	$F_{bn} = \frac{F_t}{\cos \alpha} = 352,36 \text{ kN}$	
Radialkraft	$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 91,20 \text{ kN}$	
Übersetzung	$i = 1$	
Zähnezahl	$z = \pi \cdot \frac{d}{p} = 46,16$	
Modul	$m = \frac{p}{\pi} = 82,76 \text{ mm}$	
(Betriebs-/) Anwendungsfaktor	$K_A = 1,0$	
Dynamikfaktor	$K_V = 1 + \left(\frac{K_1}{K_A \left(\frac{F_t}{b} \right)} + K_2 \right) \cdot K_3 = 1,0000$	
	Mit $K_1 = 53,6$	
	$K_2 = 0,0193$	
	$K_3 = 0,01 \cdot z \cdot v_t \cdot \sqrt{\frac{u^2}{(1+u^2)}} = 0,0005 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$< 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
	$u = 1$	
Rollweg der Walze	7849 mm	
Hubzeit (elektr.) gem. Bestandsunterlagen	90 min	
Drehzahl	$n = \frac{\frac{\text{Rollweg(mm)}}{2 \cdot \pi \cdot \text{Rollradius(mm)}}}{\text{Hubzeit(s)}} = 0,0001 \frac{1}{\text{s}}$	
	$v_t = d \cdot \pi \cdot n = 0,0015 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	
	$b = 185 \text{ mm}$	
	$K_A \cdot \frac{F_t}{b} = 1839,73 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$	$> 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 5

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)											
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 30px;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>											
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024											

Breitenfaktoren

Für die Zahnflanke $K_{H\beta} = 1 + \frac{10 \cdot F_{\beta y}}{(\frac{F_m}{b})} = 1,126 < 2$

Für den Zahnfuß $K_{F\beta} = K_{H\beta}^{NF} = 1,0856$

Mit $f_{sh} = 25 \mu m$ $100 < b < 260$
 $\frac{F_t}{b} > 1000$

$\frac{F_m}{b} = K_v \cdot \left(K_A \cdot \frac{F_t}{b} \right) = 1839,73 \frac{N}{mm}$

$f_{ma} = c \cdot f_{H\beta} = 54 \mu m$

Mit $c = 1,0$
 $f_{H\beta} = 4,16 \cdot b^{0,14} \cdot q_H = 54 \mu m$

$F_{\beta x} = f_{ma} + 1,33 \cdot f_{sh} = 87,25 \mu m$ $F_{\beta x} > F_{\beta x, min}$

$F_{\beta x, min} = 0,005 \cdot \left(\frac{F_m}{b} \right) = 9,20 \frac{N}{mm}$

Oder $F_{\beta x, min} = 0,5 \cdot f_{H\beta} = 27 \mu m$

$\gamma_{\beta} = 64 \mu m$
 $F_{\beta y} = F_{\beta x} - \gamma_{\beta} = 23,25 \mu m$

$N_F = \frac{\left(\frac{b}{h} \right)^2}{1 + \frac{b}{h} + \left(\frac{b}{h} \right)^2} = 0,692$

Wenn $\frac{b}{h} = 1,42 < 3$ dann $\frac{b}{h} = 3$

$K_{Fa} = 1,2$
 $K_{Ha} = 1,2$

Gesamtbelastungseinfluss:

Für die Zahnfußtragfähigkeit $K_{F ges} = K_A \cdot K_v \cdot K_{Fa} \cdot K_{F\beta} = 1,3027$

Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit:
Zahnfußspannung

Formfaktor $\gamma_{Fa} = 2,39$

Spannungskorrekturfaktor $\gamma_{Sa} = 1,79$

Überdeckungsfaktor $\gamma_{\epsilon} = 1,0$

Schrägenfaktor $\gamma_{\beta} = 1,0$

$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot \gamma_{Fa} \cdot \gamma_{Sa} \cdot \gamma_{\epsilon} \cdot \gamma_{\beta} \cdot K_{F ges} = 12,39 \frac{kN}{cm^2}$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 6
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									
<u>Zahnfuß-Grenzfestigkeit</u> Lebensdauerfaktor $\gamma_{NT} = 2,5$ Größenfaktor $\gamma_X = 1,0$ Zahnfuß-Biegenendauerfestigkeit der Prüfräder $\sigma_{F\ lim} = 17,5 \frac{kN}{cm^2}$ $\sigma_{FG} = 2 \cdot \sigma_{F\ lim} \cdot \gamma_{NT} \cdot \gamma_X = 87,5 \frac{kN}{mm^2}$ Mindestsicherheit für Fußbeanspruchung $S_{F\ min} = 1,4$ Sicherheit der Zahnfußfestigkeit $S_F = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_{F0}} = 7,06$ $\geq 1,4 = S_{F\ min}$											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 7									
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			

4.4 Nachweis der Grübchentragfähigkeit

Großer Querschnitt

Zahndruck: $Z_{A.E.,d} = 459,47 \text{ kN}$

Hertz'sche Pressung (zwischen Zahnkranzzahn und Zahnstangenzahn):

Zylinder/Zylinder

$r_1 = 494 \text{ mm}$; $r_2 = 259 \text{ mm}$

$b = 185 \text{ mm}$

$$\sigma_{Ed} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{F_d \cdot E}{b} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_1 \cdot r_2}} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{459,47 \cdot 21000}{18,5} \cdot \frac{49,4 + 25,9}{49,4 \cdot 25,9}} = 73,23 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{Petersen, Bild 121, Abs. 15.4.3}]$$

Material Zähne: S355

Beanspruchbarkeit:

$$p_{R,d} = C_1 \cdot f_{y,k} = 3,59 \cdot 33,5 = 120,3 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{DIN EN 19704-1, Tabelle 9}]$$

Nachweis:

$$\sigma_{Ed} = 73,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq p_{R,d} = 120,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kleiner Querschnitt

Hertz'sche Pressung (zwischen Zahnkranzzahn und Zahnstangenzahn):

Zylinder/Zylinder

$r_1 = 494 \text{ mm}$; $r_2 = 259 \text{ mm}$

$b = 120 \text{ mm}$

$$\sigma_{Ed} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{F_d \cdot E}{b} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_1 \cdot r_2}} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{459,47 \cdot 21000}{12,0} \cdot \frac{49,4 + 25,9}{49,4 \cdot 25,9}} = 90,93 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{Petersen, Bild 121, Abs. 15.4.3}]$$

Beanspruchbarkeit:

$$p_{R,d} = C_1 \cdot f_{y,k} = 3,59 \cdot 33,5 = 120,3 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{DIN EN 19704-1, Tabelle 9}]$$

Nachweis:

$$\sigma_{Ed} = 90,93 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq p_{R,d} = 120,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 8
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld					Bauwerksnummer (ASB)												
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt					<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>												
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg					 Datum: 25.10.2024												

4.5 Nachweis der Linienpressung zwischen Rollbahn und Rollkranz

Bahndruck: $LE,d = 2142,37 \text{ kN}$

Hertz'sche Pressung:

Zylinder/Zylinder

$r_1 = 1910 \text{ mm}; r_2 = 1000 \text{ mm}$

$b = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$

$$\sigma_{Ed} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{F_d \cdot E}{b} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_1 \cdot r_2}} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2142,37 \cdot 21000}{9} \cdot \frac{191 + 100}{191 \cdot 100}} = 115,36 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{Petersen, Bild 121, Abs. 15.4.3}]$$

Material Laufrolle bzw. Laufschiene: S355

Beanspruchbarkeit:

$$p_{R,d} = C_1 \cdot f_{y,k} = 3,59 \cdot 33,5 = 120,3 \text{ kN/cm}^2 \quad [\text{DIN EN 19704-1, Tabelle 9}]$$

Nachweis:

$$\sigma_{Ed} = 115,36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < p_{R,d} = 120,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 9
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table>					
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 19.03.2025					

4.6 Nachweis der Befestigung der Laufschiene an der Zahnstange

Die Befestigung der austauschbaren Laufschiene an die Zahnstange erfolgt über horizontale Schrauben.

Die Beanspruchung der Schrauben ergibt sich aus der Reibung, die der Bahndruck auf der Laufschiene erzeugt:

$$F_{v,Ed} = L_d \cdot \mu_{Roll} = 2142,37 \text{ kN} \cdot 0,0005 = 1,12 \text{ kN}$$

mit $\mu_{Roll} = \frac{1,0}{1910} = 0,0005$ (gemäß DIN 19704 – 1, Abs. 6.4.2)

Abscheren

Nach DIN EN 1993-1-8, Tab. 3.4 beträgt die Abschertragfähigkeit je Scherfuge (M24 10.9):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Abminderung für lange Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8, 3.8:

$$\beta_{L,f} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} = 1 - \frac{1800 - 360}{4800} = 0,30 \geq 0,75$$

Nachweis (Abstand der Schrauben: $d = 140 \text{ mm}$):

$$F_{v,Ed} = 1,12 \text{ kN} < 1 \cdot 0,75 \cdot 141,2 \text{ kN} = 105,9 \text{ kN} = n \cdot \beta_{L,f} \cdot F_{v,Rd}$$

→ Der Nachweis wurde geführt für 3 Schrauben der Größe M 24, 10.9

Lochleibung

Nach DIN EN 1993-1-8, Tab. 3.4 beträgt die Lochleibungstragfähigkeit:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 80}{1,25} = 1881,60 \text{ kN}$$

mit

$\alpha_b = 1,0$
 $k_1 = 2,5$

Nachweis:

$$F_{b,Ed} = 1,12 \text{ kN} < 7 \cdot 1881,60 \text{ kN} = F_{b,Rd}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 10a
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 19.03.2025	

Rand- und Lochabstände

Nach DIN EN 1993-1-8, Tab. 3.3 und DIN 19704-2, Tab. 2

Min. Randabstand:

$$e_{\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 26 \text{ mm} = 31,2 \text{ mm}$$

$$e_1 = 129 \text{ mm} > 31,2 \text{ mm}$$

$$e_2 = 42,5 \text{ mm} > 31,2 \text{ mm}$$

Min. Lochabstand:

$$e_{\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 26 \text{ mm} = 57,6 \text{ mm}$$

$$e_1 = 260 \text{ mm} > 57,6 \text{ mm}$$



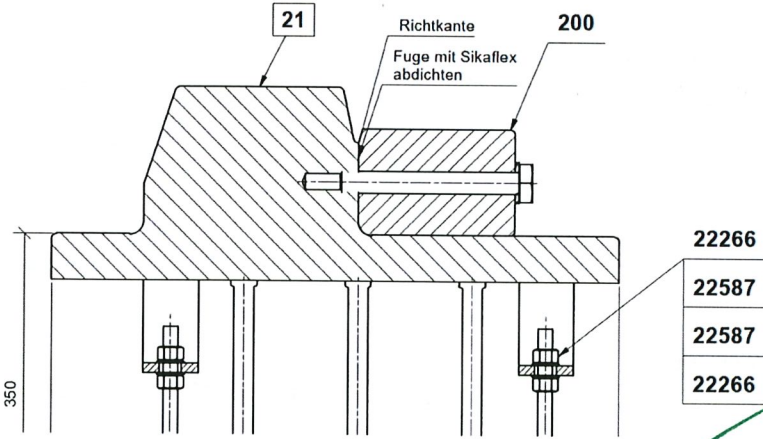
Auf die Laufschiene sind kaum Beanspruchungen. Zu Vermeidung der Korrosion ist der Füge mit Dichtstoff Sikaflex vorgesehen. Der Dichtigkeit der Füge ist es somit gegeben.

Gemäß DIN EN 1993-1-8, Tab. 3.3, 1), sind es keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände.

Rand- und Lochabstände sind rein konstruktiv vorgesehen

$e_{\max} = 260 \text{ mm} \rightarrow$ ausreichend

B-B
M1:5



Auszug aus Zeichnungsnr. 401

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 11a
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 19.03.2025									
Nettoquerschnitt Nach DIN EN 1993-1-1, 6.2.3 ist als Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit $N_{t,Rd}$ eines Querschnittes mit Löchern in der Regel der kleinere der folgenden Werte anzusetzen: $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(80 \cdot 160) \cdot 335}{1,1} = 3898,18 \text{ kN}$ $N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (80 \cdot 160 - (80 \cdot 36)) \cdot 490}{1,25} = 3499,78 \text{ kN}$ Nachweis: $F_{v,Ed} = 2,14 \text{ kN} < 3898,18 \text{ kN} = N_{t,Rd}$ Erforderliche Einschraubtiefe für die Sacklochverbindung: $\xi = \frac{600}{490} \cdot \left(0,3 + 0,4 \cdot \frac{1000}{500} \right) = 1,35$ $t = 1,35 \cdot 36 = 48,6 \text{ mm}$											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 11.1									
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			

4.7 Nachweis der Befestigung des Zahnkranzes an der Walze

Vorh. Lochdurchmesser: $d = 31 \text{ mm}$

Vorh. Schraubendurchmesser: $d = 30 \text{ mm}$

Vorh. Lochabstand: siehe Skizze (vgl. Bestandsplan)

Die Beanspruchung ergibt sich aus der Summe des Zahndrucks und der Reibung des Bahndrucks:

$$F_{v,Ed} = 459,47 + 1,12 = 460,59 \text{ kN}$$

Gleitwiderstand

Nach DIN EN 1993-1-8, 3.9.1 beträgt der Gleitwiderstand (M30 10.9):

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,4}{1,25} \cdot 392,70 \text{ kN} = 125,66 \text{ kN}$$

Mit Vorspannkraft für Gleitflächenklasse B (Oberflächenbehandlung gem. DIN EN 1090-2 beachten):

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 561 \text{ mm}^2 = 392,70 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$F_{s,Ed} = 460,59 \text{ kN} < 7 \cdot 2 \cdot 125,66 \text{ kN} = 1759,24 \text{ kN} = F_{s,Rd}$$

Nettoquerschnitt

Da die Löcher im Verhältnis zur Breite des Mantelblechs sehr klein sind, kann der Nachweis des Nettoquerschnitts für das Mantelblech entfallen.

Der Nachweis erfolgt für den Flansch des Zahnkranzsegments.

Nach DIN EN 1993-1-1, 6.2.3 ist als Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit $N_{t,Rd}$ eines Querschnittes mit Löchern in der Regel der kleinere der folgenden Werte anzusetzen:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(50 \cdot 315) \cdot 335}{1,1} = 4796,59 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (50 \cdot 315 - (50 \cdot 2 \cdot 32)) \cdot 490}{1,25} = 4427,64 \text{ kN}$$

Nachweis:

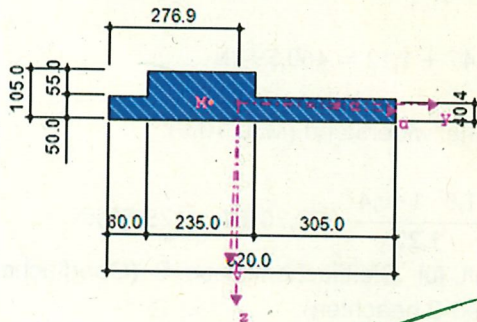
$$F_{v,Ed} = 460,59 \text{ kN} < 4427,64 \text{ kN} = N_{t,Rd}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 12
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

4.8 Nachweis der Biegung der Zahnstange

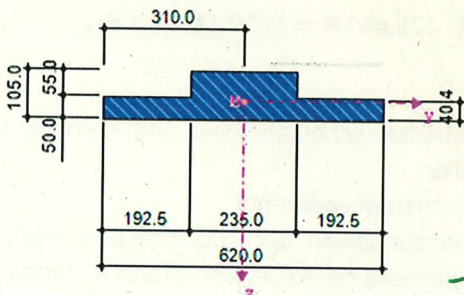
Großer Querschnitt

Die Biegung der Zahnstange ergibt sich aus der Berechnung der Zahnstange als elastisch gebetteter Balken mit dem Bettungsmodul $C = 250 \text{ N/mm}^3$ nach DIN 19704-1, 7.7.4



Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Höhe	h	105.0	mm
Flanschüberlappung links	b_l	80.0	mm
Flanschüberlappung rechts	b_r	305.0	mm
Flanschüberlappungsdicke links	t_1	50.0	mm
Flanschüberlappungsdicke rechts	t_2	50.0	mm
Wanddicke	s	235.0	mm
Querschnittsfläche	A	439.25	cm ²
Schubfläche	A_u	349.42	cm ²
Schubfläche	A_v	160.84	cm ²
Schwerpunktstand	e_y	276.9	mm
Schwerpunktstand	e_z	64.6	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_y	3485.85	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_z	116796.00	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_{yz}	5387.56	cm ⁴

Da I_y gleich ist, wird mit einem idealisierten Querschnitt weitergerechnet:

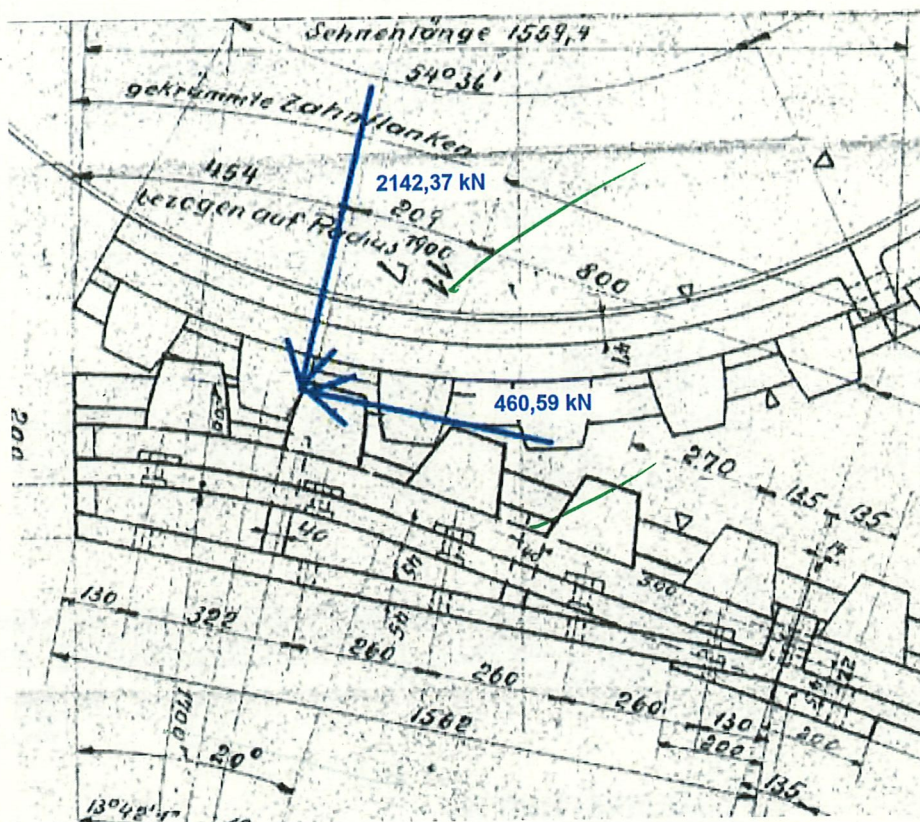


Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Höhe	h	105.0	mm
Flanschüberlappung links	b_l	192.5	mm
Flanschüberlappung rechts	b_r	192.5	mm
Flanschüberlappungsdicke links	t_1	50.0	mm
Flanschüberlappungsdicke rechts	t_2	50.0	mm
Wanddicke	s	235.0	mm
Querschnittsfläche	A	439.25	cm ²
Schubfläche	A_u	365.05	cm ²
Schubfläche	A_v	95.07	cm ²
Schwerpunktstand	e_y	310.0	mm
Schwerpunktstand	e_z	64.6	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_y	3485.85	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_z	105252.00	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I_{yz}	0.00	cm ⁴

Mit der Auflagerbreite von $50 + 80 + 50 = 180 \text{ mm}$ ergibt sich der Bettungsmodul zu $C = 42500000 \text{ kN/m}^2$

Der Nachweis wird in RSTAB geführt. Dazu wird als maßgebende Laststellung die Position gewählt, an der die untersten Zähne ineinander liegen können.

Vereinfacht wird die Zahnstange ohne die Krümmung im unteren Bereich dargestellt, dies ist hinsichtlich der geringen Ausnutzung vertretbar.



Die Ergebnisse aus RSTAB werden auf den nächsten Seiten dargestellt.
Der Spannungsnachweis ist eingehalten.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld

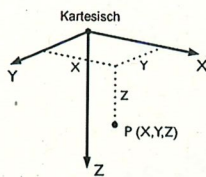
Bauwerksnummer (ASB)

Bauherr: WSA Schweinfurt
Mainberger Straße 8, 97422 SchweinfurtAufsteller: Anwikar Consultants GmbH,
Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg

Datum: 25.10.2024

■ MODELL-BASISANGABEN

Allgemein	Modellname	: Zahnstange Wipfeld - idealisierter Querschnitt - aktuell
	Modelltyp	: 2D-XZ (ux/uz/φy)
Positive Richtung der globalen Z-Achse		: Nach unten
	Klassifizierung der Lastfälle und Kombinationen	: Nach Norm: EN 1990 Nationaler Anhang: DIN - Deutschland
Optionen	☐ CQC-Regel anwenden	
	☐ CAD/BIM-Modell ermöglichen	
Erdbeschleunigung g		: 10.00 m/s ²



■ 1.1 KNOTEN

Knote Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinate System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000	0.000	Abgestützt
2	-	Kartesisch	1.020	0.000	
3	-	Kartesisch	1.421	0.000	Abgestützt
4	-	Kartesisch	1.891	0.000	

■ 1.2 MATERIALIEN

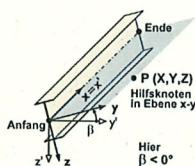
Mat. Nr.	Modul E [kN/cm ²]	Modul G [kN/cm ²]	Spez. Gewic γ [kN/m ³]	Wärmedehn α [1/°C]	Teilsich.-Bei γ _M [-]	Material-Modell
1	Baustahl S 355 21000.00	EN 1993-1-1:2005-05 8076.92	78.50	1.20E-05	1.00	Isotrop linear elastisch

UZU 105/192.5/19



■ 1.3 QUERSCHNITTE

Quer Nr.	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	Hauptach α [°]	Drehung α' [°]	Gesamtabmessung	
		A [cm ²]	A _y [cm ²]	A _z [cm ²]			Breite b	Höhe h
1	UZU 105/192.5/192.5/50/50/235 1	439.25	3485.85	95.07	0.00	0.00	620.0	105.0

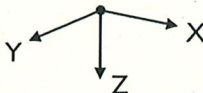


■ 1.7 STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung Typ β [°]	Querschni		Gelenk Nr		Exz. Nr.	Teilu Nr.	Länge L [m]	
		Anfan	Ende		Anfa	End	Anfa	End				
1	Balkenstab	1	2	Winkel 0.00	1	1	-	-	-	-	1.020	X
2	Balkenstab	2	3	Winkel 0.00	1	1	-	-	-	-	0.401	X
3	Balkenstab	3	4	Winkel 0.00	1	1	-	-	-	-	0.470	X

■ 1.8 KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdre um Y	Lagerung bzw. Feder [kN/m] [k]			Kommentar
			u _{x'}	u _z	φ _{y'}	
1	1,4	0.00	☒	☒	☐	



■ 1.9 STABBETTUNGEN

Bettu Nr.	Stab Nr.	C _{1,x} [kN/m ²]	C _{1,z} [kN/m ²]	C _{2,x} [kN]	C _{2,z} [kN]	Kommentar
1	1-3	0.000	48750000.000	0.000	0.000	



Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 15

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld	Bauwerksnummer (ASB)								
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>								
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg	Datum: 25.10.2024								

■ 2.1 LASTFÄLLE

Lastfall	LF-Bezeichnung	EN 1990 DIN Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtung			
			Aktiv	X	Y	Z
LF1		Ständig	☒	0.000		1.000

■ 2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter
LF1		Berechnungstheorie : Theorie I. Ordnung (linear) Steifigkeitsbeiwerte : Querschnitte (Faktor für J_y, I_z , aktivieren für: A, A_y, A_z) Stäbe (Faktor für GJ, EI_y, EI_z , EA, GA_y, GA_z)

■ 3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE - KOORDINATENSYSTEM

Knoten					LF1	
An Knoten		Koordinaten-	Kraft [kN]		Moment	
Nr.	Nr.	system	P_x / P_u	P_z / P_w	M_y / M_v [kNm]	
1	3	0 Globales XYZ	0.000	2142.370	0.000	
2	3	0 Globales XYZ	-460.590	0.000	0.000	

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld				Bauwerksnummer (ASB)			
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt				Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg Datum: 25.10.2024			

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
	LF1			
	Summe Belastung in Richtung X	-460.59	kN	
	Summe Lagerkräfte in X	-460.59	kN	Abweichung 0.00%
	Summe Belastung in Richtung Z	2148.89	kN	
	Summe Lagerkräfte in Z	2168.30	kN	Abweichung -0.90%
	Resultierende der Reaktionen um X	0.00	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:0.95, Y:0.00, Z:0.00 m)
	Resultierende der Reaktionen um Y	-1028.04	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
	Resultierende der Reaktionen um Z	0.00	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
	Max. Verschiebung in X	-0.0	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
	Max. Verschiebung in Z	0.2	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
	Max. Verschiebung vektoriell	0.2	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
	Max. Verdrehung um Y	-0.4	mrاد	Stab Nr. 2, x: 0.281 m
	Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
	Steffigkeitsreduktion multipliziert mit Faktor	☐		
	Anzahl der Laststufen	1		
	Anzahl der Iterationen	1		
	Gesamt			
	Anzahl 1D-Finite-Elemente (Stabelemente)	3		
	Anzahl der FE-Knoten	4		
	Anzahl der Gleichungen	12		
	Maximale Anzahl Iterationen	100		
	Stabteilungen für Ergebnisse der Stäbe	10		
	Stabteilungen der Seil-, Bettungs- und Voutenstäbe	10		
	Stab-Schubsteifigkeiten (A-y, A-z) berücksichtigen	☒		
	Sonstige Einstellungen			
		Maximale Anzahl Iterationen	:	100
		Anzahl der Stabteilungen für Ergebnisverläufe	:	10
		Stabteilungen Seilstäbe, Bettungs- und Voutenstäbe	:	10
		Anzahl der Stabteilungen für das Suchen der Maximalwerte	:	10
	Optionen			
		☒ Schubsteifigkeit (Ay, Az) der Stäbe aktivieren		
		☒ Steifigkeitsänderungen berücksichtigen (Materialien, Querschnitte, Stäbe, Lastfälle und Kombinationen)		
		☒ Temperatur-/Verformungslasten ohne Steifigkeitsänderungen anwenden		
	Genauigkeit und Toleranz	☐ Standardeinstellung ändern		

■ 4.1 STÄBE - SCHNITTGRÖSSEN

Stab Nr.	LF/LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente My [kNm]	Querschnitt
				N	Vz		
1	LF1	Max N	0.000	-114.48	0.25	0.00	1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235
		Min N	0.000	-114.48	0.25	0.00	
		Max Vz	0.408	-114.48	0.36	0.06	
		Min Vz	1.020	-114.48	-41.99	-6.22	
		Max My	0.510	-114.48	0.28	0.10	
		Min My	1.020	-114.48	-41.99	-6.22	
		Max N	0.000	-114.48	-41.99	-6.22	
2	LF1	Min N	0.000	-114.48	-41.99	-6.22	1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235
		Max N	0.401	-114.48	1070.83	71.06	
		Max Vz	0.040	-114.48	-45.36	-7.98	
		Min Vz	0.401	-114.48	1070.83	71.06	
		Max My	0.160	-114.48	-5.88	-12.16	
		Min My	0.000	346.11	-1071.54	71.06	
		Max N	0.000	346.11	-1071.54	71.06	
3	LF1	Min N	0.000	346.11	-1071.54	71.06	1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235
		Max N	0.423	346.11	62.21	-2.92	
		Max Vz	0.000	346.11	-1071.54	71.06	
		Min Vz	0.000	346.11	-1071.54	71.06	
		Max My	0.235	346.11	4.56	-12.03	
		Min My					

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 17
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld	Bauwerksnummer (ASB)								
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>								
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg	Datum: 25.10.2024								

■ 4.3 QUERSCHNITTE - SCHNITTGRÖSSEN

Stab Nr.	LF/LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente M _y [kNm]
				N	V _z	
Querschnitt-Nr. 1: UZU 105/192.5/192.5/50/50/235						
3	LF1	MAX N	0.000	▷ 346.11	-1071.54	71.06
1	LF1	MIN N	0.000	▷ -114.48	0.25	0.00
2	LF1	MAX V _z	0.401	-114.48	▷ 1070.83	71.06
3	LF1	MIN V _z	0.000	346.11	▷ -1071.54	71.06
2	LF1	MAX M _y	0.401	-114.48	▷ 1070.83	71.06
2	LF1	MIN M _y	0.160	-114.48	▷ -5.88	-12.16

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Seite: 18

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024									

STAHL
FA1
Allgemeine
Spannungsanalyse von
Stäben

■ 1.1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	Alle
Zu bemessende Lastfälle:	LF1

■ 1.2 MATERIALIEN

Matl. Nr.	Material- Bezeichnung	Teilsich.-Fakt γ_M [-]	Streckgren f_{yk} [kN/cm²]	Grenzspannungen [kN/cm²]		
				Manuel	grenz σ_x	grenz τ
1	Baustahl S 355	1.00	35.50	☐	35.50	20.50

■ 1.3.1 QUERSCHNITTE

Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	I_t [cm⁴] A [cm²]	I_y [cm⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm⁴] $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
1	1	UZU 105/192.5/192.5/50/50/235	8486.45 439.25	3485.85 1.00	105252.00 1.00	

■ 2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannung	Spannung [kN/cm²] Vorhanden, Limit	Aus- nutzung
1	UZU 105/192.5/192.5/50/50/235						
	2	0.401	9	LF1	Sigma gesamt	-13.42 27.50	0.49
	3 2	0.000 0.401	4 9	LF1 LF1	Tau gesamt Sigma-v	9.14 13.42 19.34 27.50	0.47 0.49

■ 2.3 SPANNUNGEN STABWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannungs	Spannung [kN/cm²] Vorhanden, Limit	Aus- nutzung
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	1.020	9	LF1	Sigma gesamt	0.89 27.50	0.03
	1.020	4	LF1	Tau gesamt	0.36 19.34	0.02
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.401	9	LF1	Sigma gesamt	-13.42 27.50	0.49
	0.401	4	LF1	Tau gesamt	9.14 19.34	0.47
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	-12.37 27.50	0.45
	0.000	4	LF1	Tau gesamt	9.14 19.34	0.47

■ 2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannungs	Spannung [kN/cm²] Vorhanden, Limit	Aus- nutzung
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	-0.26 27.50	0.01
	0.000	4	LF1	Tau gesamt	0.00 19.34	0.00
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.102	9	LF1	Sigma gesamt	-0.26 27.50	0.01
	0.102	4	LF1	Tau gesamt	0.00 19.34	0.00
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.204	9	LF1	Sigma gesamt	-0.26 27.50	0.01
	0.204	4	LF1	Tau gesamt	0.00 19.34	0.00

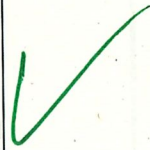
Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 19
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld						Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt											
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg						Datum: 25.10.2024					



2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannungs- typ	Spannung [kN/cm²]		Aus- nutzung
					Vorhanden	Limit	
1	0.306	9	LF1	Sigma gesamt	-0.27	27.50	0.01
	0.306	4	LF1	Tau gesamt	0.00	19.34	0.00
	0.306	9	LF1	Sigma-v	0.27	27.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.408	9	LF1	Sigma gesamt	-0.27	27.50	0.01
	0.408	4	LF1	Tau gesamt	0.00	19.34	0.00
	0.408	9	LF1	Sigma-v	0.27	27.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.510	9	LF1	Sigma gesamt	-0.28	27.50	0.01
	0.510	4	LF1	Tau gesamt	0.00	19.34	0.00
	0.510	9	LF1	Sigma-v	0.28	27.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.612	9	LF1	Sigma gesamt	-0.28	27.50	0.01
	0.612	4	LF1	Tau gesamt	0.01	19.34	0.00
	0.612	9	LF1	Sigma-v	0.28	27.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.714	11	LF1	Sigma gesamt	-0.26	27.50	0.01
	0.714	4	LF1	Tau gesamt	0.03	19.34	0.00
	0.714	11	LF1	Sigma-v	0.26	27.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.816	1	LF1	Sigma gesamt	-0.36	33.50	0.01
	0.816	4	LF1	Tau gesamt	0.10	19.34	0.01
	0.816	1	LF1	Sigma-v	0.36	33.50	0.01
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	0.918	1	LF1	Sigma gesamt	-0.58	33.50	0.02
	0.918	4	LF1	Tau gesamt	0.22	19.34	0.01
	0.918	1	LF1	Sigma-v	0.58	33.50	0.02
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
1	1.020	9	LF1	Sigma gesamt	0.89	27.50	0.03
	1.020	4	LF1	Tau gesamt	0.36	19.34	0.02
	1.020	9	LF1	Sigma-v	0.89	27.50	0.03
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	0.89	27.50	0.03
	0.000	4	LF1	Tau gesamt	0.36	19.34	0.02
	0.000	9	LF1	Sigma-v	0.89	27.50	0.03
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.040	9	LF1	Sigma gesamt	1.22	27.50	0.04
	0.040	4	LF1	Tau gesamt	0.39	19.34	0.02
	0.040	9	LF1	Sigma-v	1.22	27.50	0.04
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.134	9	LF1	Sigma gesamt	1.91	27.50	0.07
	0.134	4	LF1	Tau gesamt	0.22	19.34	0.01
	0.134	9	LF1	Sigma-v	1.91	27.50	0.07
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.160	9	LF1	Sigma gesamt	1.99	27.50	0.07
	0.160	4	LF1	Tau gesamt	0.05	19.34	0.00
	0.160	9	LF1	Sigma-v	1.99	27.50	0.07
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.267	1	LF1	Sigma gesamt	-0.71	33.50	0.02
	0.267	4	LF1	Tau gesamt	1.75	19.34	0.09
	0.267	4	LF1	Sigma-v	3.03	33.50	0.09
Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235							
2	0.401	9	LF1	Sigma gesamt	-13.42	27.50	0.49
	0.401	4	LF1	Tau gesamt	9.14	19.34	0.47
	0.401	9	LF1	Sigma-v	13.42	27.50	0.49



Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 20
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)											
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>											
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS Datum: 25.10.2024											

■ 2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannungs	Spannung [kN/cm²] Vorhanden, Limit	Aus- nutzung
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	-12.37 27.50	0.45
	0.000	4	LF1	Tau gesamt	9.14 19.34	0.47
3	0.000	4	LF1	Sigma-v	15.88 33.50	0.47
	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.117	9	LF1	Sigma gesamt	0.82 27.50	0.03
3	0.117	4	LF1	Tau gesamt	2.26 19.34	0.12
	0.117	4	LF1	Sigma-v	3.99 33.50	0.12
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.235	9	LF1	Sigma gesamt	3.02 27.50	0.11
	0.235	4	LF1	Tau gesamt	0.04 19.34	0.00
3	0.235	9	LF1	Sigma-v	3.02 27.50	0.11
	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.352	9	LF1	Sigma gesamt	2.13 27.50	0.08
3	0.352	4	LF1	Tau gesamt	0.50 19.34	0.03
	0.352	9	LF1	Sigma-v	2.13 27.50	0.08
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.423	9	LF1	Sigma gesamt	1.33 27.50	0.05
	0.423	4	LF1	Tau gesamt	0.53 19.34	0.03
3	0.423	9	LF1	Sigma-v	1.33 27.50	0.05
	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/192.5/192.5/50/50/235					
	0.470	9	LF1	Sigma gesamt	0.79 27.50	0.03
3	0.470	4	LF1	Tau gesamt	0.53 19.34	0.03
	0.470	11	LF1	Sigma-v	1.01 27.50	0.04

■ 3.1 MASSGEBENDE SCHNITTGRÖSSEN STABWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	Last- fall	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
			N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z
1	1.020	LF1	-114.48	0.00	-41.99	0.00	-6.22	0.00
2	0.401	LF1	-114.48	0.00	1070.83	0.00	71.06	0.00
3	0.000	LF1	346.11	0.00	-1071.54	0.00	71.06	0.00

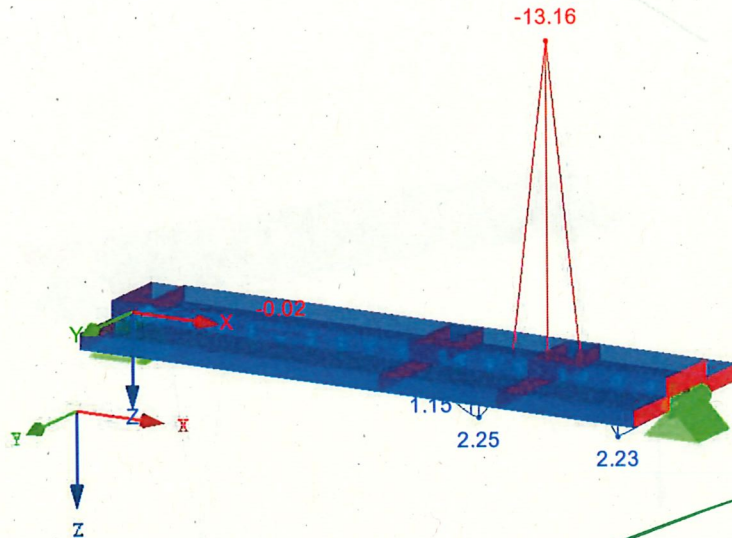
Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



SPANNUNGEN Sigma M

STAHL FA1

Isometrie

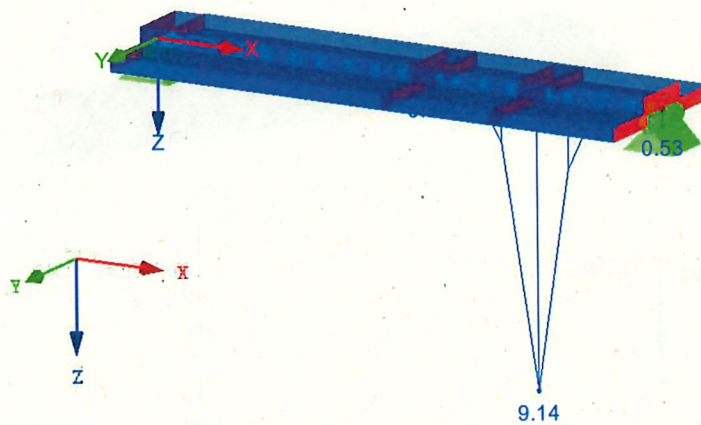


Max Sigma M: 2.25, Min Sigma M: -13.16 [kN/cm²]

SPANNUNGEN Tau gesamt

STAHL FA1

Isometrie



Max Tau gesamt: 9.14, Min Tau gesamt: 0.00 [kN/cm²]

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 22
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

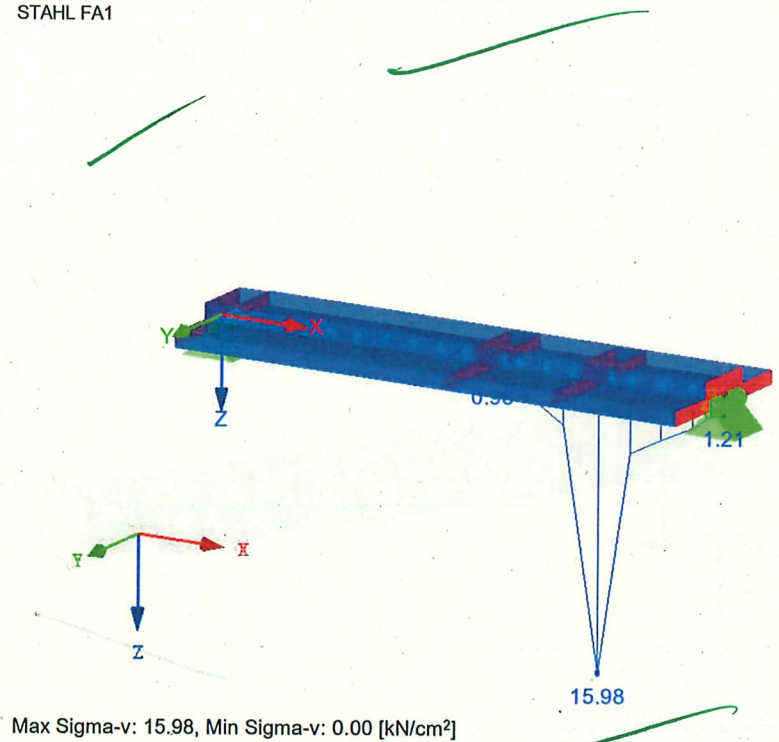
Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	



■ SPANNUNGEN Sigma-v

STAHL FA1

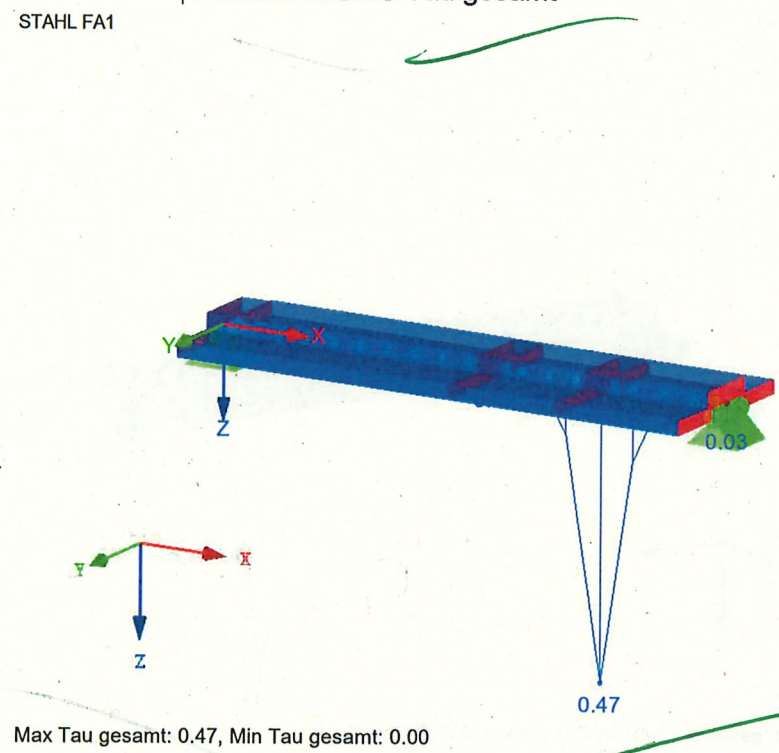
Isometrie



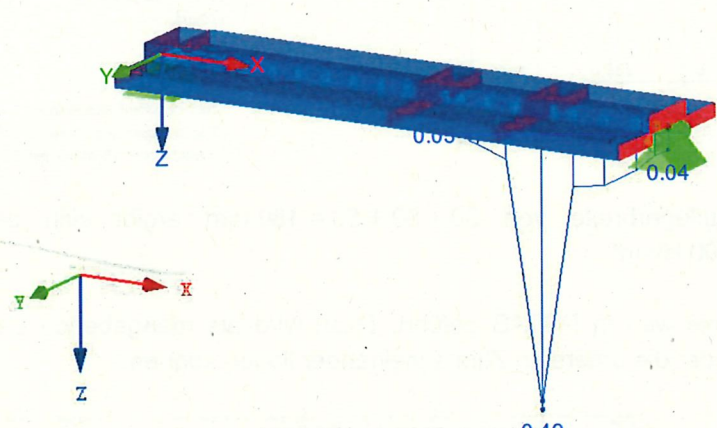
■ AUSNUTZUNG Tau gesamt

STAHL FA1

Isometrie

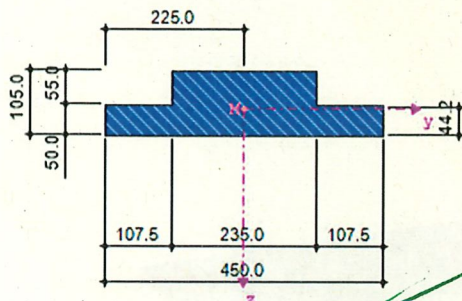


Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 23
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt			
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024	
STAHL FA1 AUSNUTZUNG Sigma-v Isometrie  Max Sigma-v: 0.49, Min Sigma-v: 0.00			
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 24	
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.	

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld	Bauwerksnummer (ASB)
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt	
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg	Datum: 25.10.2024

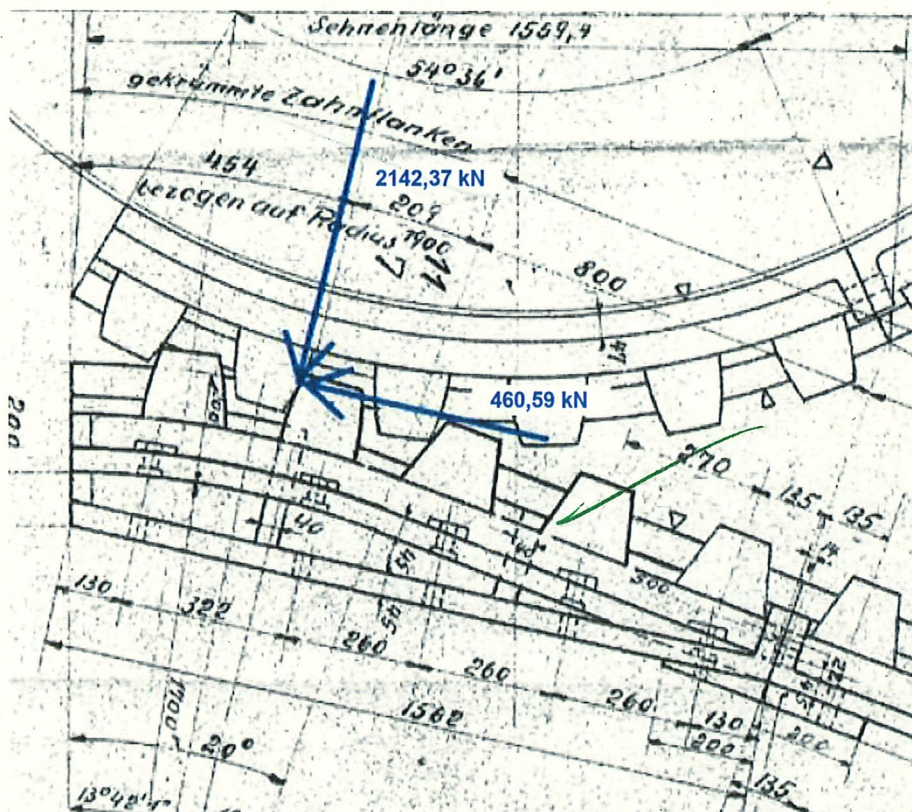
Kleiner Querschnitt



Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Höhe	h	105.0	mm
Flanschüberlappung links	b _l	107.5	mm
Flanschüberlappung rechts	b _r	107.5	mm
Flanschüberlappungsdicke links	t ₁	50.0	mm
Flanschüberlappungsdicke rechts	t ₂	50.0	mm
Wanddicke	s	235.0	mm
Querschnittsfläche	A	354.25	cm ²
Schubfläche	A _u	301.83	cm ²
Schubfläche	A _v	141.65	cm ²
Schwerpunktstabsand	e _y	225.0	mm
Schwerpunktstabsand	e _z	60.8	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I _y	3057.24	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I _z	43916.90	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grac	I _{yz}	0.00	cm ⁴

Mit der Auflagerbreite von $50 + 80 + 50 = 180$ mm ergibt sich der Bettungsmodul zu $C = 42500000 \text{ kN/m}^2$

Der Nachweis wird in RSTAB geführt. Dazu wird als maßgebende Laststellung die Position gewählt, an der die untersten Zähne ineinander liegen können.



Die Ergebnisse aus RSTAB werden auf den nächsten Seiten dargestellt. Der Spannungsnachweis ist eingehalten.

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 25
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg Datum: 25.10.2024	

MODELL-BASISANGABEN

Allgemein	Modellname : Zahnstange Wipfeld - Idealisierter Querschnitt_kleiner Querschnitt - aktuell Modelltyp : 2D-XZ (ux/uz/φy) Positive Richtung der globalen Z-Achse : Nach unten Klassifizierung der Lastfälle und Kombinationen : Nach Norm: EN 1990 Nationaler Anhang: DIN - Deutschland
Optionen	☐ CQC-Regel anwenden ☐ CAD/BIM-Modell ermöglichen Erdbeschleunigung g : 10.00 m/s ²

1.1 KNOTEN

Knote Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinate System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000	0.000	Abgestützt
2	-	Kartesisch	1.020	0.000	
3	-	Kartesisch	1.421	0.000	
4	-	Kartesisch	1.891	0.000	

1.2 MATERIALIEN

Mat. Nr.	Modul E [kN/cm ²]	Modul G [kN/cm ²]	Spez. Gewic γ [kN/m ³]	Wärmedehn α [1/°C]	Teilsich.-Bei γm [-]	Material-Modell
1	Baustahl S 355 21000.00	EN 1993-1-1:2005-05 8076.92	78.50	1.20E-05	1.00	Isotrop-linear elastisch

1.3 QUERSCHNITTE

Quer Nr.	Mater. Nr.	I _r [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	Hauptach α [°]	Drehung α' [°]	Gesamtabmessung	
							Breite b	Höhe h
1	UZU 105/107.5/107.5/50/50/235 1	354.25	3057.24	141.65	0.00	0.00	450.0	105.0

1.7 STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung Typ	β [°]	Querschni		Gelenk Nr	Exz. Nr.	Teilu Nr.	Länge L [m]	
		Anfan	Ende			Anfa	End					
1	Balkenstab	1	2	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	1.020	X
2	Balkenstab	2	3	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	0.401	X
3	Balkenstab	3	4	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	0.470	X

1.8 KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdre um Y	Lagerung bzw. Feder [kN/m] [k]			Kommentar
			u _{x'}	u _z	φ _{y'}	
1	1,4	0.00	☒	☒	☐	

1.9 STABBETTUNGEN

Bettu Nr.	Stab Nr.	C _{1,x} [kN/m ²]	C _{1,z} [kN/m ²]	C _{2,x} [kN]	C _{2,z} [kN]	Kommentar
1	1-3	0.000	48750000.000	0.000	0.000	

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Seite: 26

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld				Bauwerksnummer (ASB)			
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			
2.1 LASTFÄLLE							
Lastfall	LF-Bezeichnung	EN 1990 DIN Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtun				
LF1		Ständig	Aktiv	X	Y	Z	
			☒	0.000		1.000	
2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER							
Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter					
LF1		Berechnungstheorie : Theorie I. Ordnung (linear)					
		Steifigkeitsbeiwerte : Querschnitte (Faktor für J, I _y , I _z , A, A _y , A _z)					
		aktivieren für: : Stäbe (Faktor für GJ, EI _y , EI _z , EA, GA _y , GA _z)					
3.1 KNOTENLASTEN - KOMPONENTENWEISE - KOORDINATENSYSTEM							
				LF1			
Nr.	An Knoten Nr.	Koordinaten- system	Kraft [kN]		Moment		
			P _x / P _u	P _z / P _w	M _y / M _v [kNm]		
1	3	0 Globales XYZ	0.000	2142.370	0.000		
2	3	0 Globales XYZ	-460.590	0.000	0.000		
Bauteil: Zahnstange Wipfeld				Seite: 27			
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz				Archiv-Nr.			

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024									

■ 4.0 ERGEBNISSE - ZUSAMMENFASSUNG

Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
LF1			
Summe Belastung in Richtung X	-460.59	kN	
Summe Lagerkräfte in X	-460.59	kN	Abweichung 0.00%
Summe Belastung in Richtung Z	2147.63	kN	
Summe Lagerkräfte in Z	2160.67	kN	Abweichung -0.60%
Resultierende der Reaktionen um X	0.00	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:0.95; Y:0.00, Z:0.00 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	-1024.98	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.00	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Max. Verschiebung in X	-0.0	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
Max. Verschiebung in Z	0.2	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
Max. Verschiebung vektoriell	0.2	mm	Stab Nr. 2, x: 0.401 m
Max. Verdrehung um Y	-0.5	mrad	Stab Nr. 2, x: 0.281 m
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (linear)
Steffigkeitsreduktion multipliziert mit Faktor	☐		
Anzahl der Laststufen	1		
Anzahl der Iterationen	1		
Gesamt			
Anzahl 1D-Finite-Elemente (Stabelemente)	3		
Anzahl der FE-Knoten	4		
Anzahl der Gleichungen	12		
Maximale Anzahl Iterationen	100		
Stabteilungen für Ergebnisse der Stäbe	10		
Stabteilungen der Seil-, Bettungs- und Voutenstäbe	10		
Stab-Schubsteifigkeiten (A-y, A-z) berücksichtigen	☒		
Sonstige Einstellungen	Maximale Anzahl Iterationen : 100 Anzahl der Stabteilungen für Ergebnisverläufe : 10 Stabteilungen Seilstäbe, Bettungs- und Voutenstäbe : 10 Anzahl der Stabteilungen für das Suchen der Maximalwerte : 10		
Optionen	☒ Schubsteifigkeit (Ay, Az) der Stäbe aktivieren ☒ Steifigkeitsänderungen berücksichtigen (Materialien, Querschnitte, Stäbe, Lastfälle und Kombinationen) ☒ Temperatur-/Verformungslasten ohne Steifigkeitsänderungen anwenden		
Genauigkeit und Toleranz	☐ Standardeinstellung ändern		

■ 4.1 STÄBE - SCHNITTGRÖSSEN

Stab Nr.	LF/LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]		Momente My [kNm]	Querschnitt
				N	Vz		
1	LF1	Max N	0.000	-114.48	0.16	0.00	1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235
		Min N	0.000	-114.48	0.16	0.00	
		Max Vz	0.510	-114.48	0.93	0.14	
		Min Vz	1.020	-114.48	-47.78	-6.16	
		Max My	0.612	-114.48	0.50	0.23	
		Min My	1.020	-114.48	-47.78	-6.16	
		Min My	1.020	-114.48	-47.78	-6.16	
2	LF1	Max N	0.000	-114.48	-47.78	-6.16	1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235
		Min N	0.000	-114.48	-47.78	-6.16	
		Max Vz	0.401	-114.48	1070.32	72.62	
		Min Vz	0.040	-114.48	-52.63	-8.19	
		Max My	0.401	-114.48	1070.32	72.62	
		Min My	0.160	-114.48	-10.77	-13.25	
		Min My	0.160	-114.48	-10.77	-13.25	
3	LF1	Max N	0.000	346.11	-1072.05	72.62	1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235
		Min N	0.000	346.11	-1072.05	72.62	
		Max Vz	0.423	346.11	68.17	-3.20	
		Min Vz	0.000	346.11	-1072.05	72.62	
		Max My	0.000	346.11	-1072.05	72.62	
		Min My	0.235	346.11	7.34	-13.44	
		Min My	0.235	346.11	7.34	-13.44	

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 28

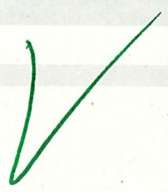
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> <td style="width: 12.5%;"></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS									
		Datum: 25.10.2024									

■ 4.3 QUERSCHNITTE - SCHNITTGRÖSSEN

Stab Nr.	LF/LK	Knoten	Stelle	Kräfte [kN]		Momente	
		Nr.	x [m]	N	V _z	M _y [kNm]	
Querschnitt-Nr. 1: UZU 105/107.5/107.5/50/50/235							
3	LF1	MAX N	0.000	▷ 346.11	-1072.05	72.62	
1	LF1	MIN N	0.000	▷ -114.48	0.16	0.00	
2	LF1	MAX V _z	0.401	-114.48	▷ 1070.32	72.62	
3	LF1	MIN V _z	0.000	346.11	▷ -1072.05	72.62	
2	LF1	MAX M _y	0.401	-114.48	1070.32	▷ 72.62	
3	LF1	MIN M _y	0.235	346.11	7.34	▷ -13.44	



Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 29
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld						Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg						Datum: 25.10.2024	

STAHL
FA1
Allgemeine
Spannungsanalyse von
Stäben

■ **1.1.1 BASISANGABEN**

Zu bemessende Stäbe:	Alle
Zu bemessende Lastfälle:	LF1

■ **1.2 MATERIALIEN**

Matl. Nr.	Material-Bezeichnung	Teilsch.-Fakt γ_M [-]	Streckgren f_{yk} [kN/cm ²]	Grenzspannungen [kN/cm ²]			
				Manuel	grenz σ_x	grenz τ	grenz σ_v
1	Baustahl S 355	1.00	35.50	☐	35.50	20.50	35.50

■ **1.3.1 QUERSCHNITTE**

Quer. Nr.	Matl. Nr.	Querschnitt Bezeichnung	I_x [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] $\alpha_{pl,y}$	I_z [cm ⁴] $\alpha_{pl,z}$	Kommentar
1	1	UZU 105/107.5/107.5/50/50/235	7760.84 354.25	3057.24 1.00	43916.90 1.00	

■ **2.1 SPANNUNGEN QUERSCHNITTSWEISE**

Quer. Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last-fall	Spannung	Spannung [kN/cm ²]		Aus-nutzung	
						Vorhand	Limit		
1	UZU 105/107.5/107.5/50/50/235	2	0.401	9	LF1	Sigma gesamt	-14.78	27.50	0.54
					LF1	Tau gesamt	6.43	15.88	0.41
					LF1	Sigma-v	14.78	27.50	0.54
					LF1	Sigma-v	14.78	27.50	0.54

■ **2.3 SPANNUNGEN STABWEISE**

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last-fall	Spannungs	Spannung [kN/cm ²]		Aus-nutzung	
					Vorhanden	Limit		
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235	1.020	1	LF1	Sigma gesamt	-1.21	33.50	0.04
					Tau gesamt	0.29	15.88	0.02
					Sigma-v	1.21	33.50	0.04
					Sigma-v	1.21	33.50	0.04
		1.020	11	LF1	Sigma gesamt	-14.78	27.50	0.54
					Tau gesamt	6.42	15.88	0.40
					Sigma-v	14.78	27.50	0.54
					Sigma-v	14.78	27.50	0.54
		1.020	1	LF1	Sigma gesamt	-13.48	27.50	0.49
					Tau gesamt	6.43	15.88	0.41
					Sigma-v	13.48	27.50	0.49
					Sigma-v	13.48	27.50	0.49

■ **2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE**

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last-fall	Spannungs	Spannung [kN/cm ²]		Aus-nutzung	
					Vorhanden	Limit		
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	-0.32	27.50	0.01
					Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01
		0.102	11	LF1	Sigma gesamt	-0.32	27.50	0.01
					Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01
		0.204	9	LF1	Sigma gesamt	-0.32	27.50	0.01
					Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01
					Sigma-v	0.32	27.50	0.01

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

Seite: 30

Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld						Bauwerksnummer (ASB)	
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg						Datum: 25.10.2024	

2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last- fall	Spannungs- Vorhanden	Spannung [kN/cm²]		Aus- nutzung
					Limit		
	0.306	9	LF1	Sigma gesamt	-0.33	27.50	0.01
	0.306	11	LF1	Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
	0.306	9	LF1	Sigma-v	0.33	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.408	9	LF1	Sigma gesamt	-0.34	27.50	0.01
	0.408	11	LF1	Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
	0.408	9	LF1	Sigma-v	0.34	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.510	9	LF1	Sigma gesamt	-0.35	27.50	0.01
	0.510	11	LF1	Tau gesamt	0.01	15.88	0.00
	0.510	9	LF1	Sigma-v	0.35	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.612	9	LF1	Sigma gesamt	-0.37	27.50	0.01
	0.612	11	LF1	Tau gesamt	0.00	15.88	0.00
	0.612	9	LF1	Sigma-v	0.37	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.714	9	LF1	Sigma gesamt	-0.36	27.50	0.01
	0.714	11	LF1	Tau gesamt	0.01	15.88	0.00
	0.714	9	LF1	Sigma-v	0.36	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.816	1	LF1	Sigma gesamt	-0.39	33.50	0.01
	0.816	11	LF1	Tau gesamt	0.06	15.88	0.00
	0.816	11	LF1	Sigma-v	0.33	27.50	0.01
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.918	1	LF1	Sigma gesamt	-0.66	33.50	0.02
	0.918	11	LF1	Tau gesamt	0.16	15.88	0.01
	0.918	1	LF1	Sigma-v	0.66	33.50	0.02
1	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	1.020	1	LF1	Sigma gesamt	-1.21	33.50	0.04
	1.020	11	LF1	Tau gesamt	0.29	15.88	0.02
	1.020	1	LF1	Sigma-v	1.21	33.50	0.04
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.000	1	LF1	Sigma gesamt	-1.21	33.50	0.04
	0.000	11	LF1	Tau gesamt	0.29	15.88	0.02
	0.000	1	LF1	Sigma-v	1.21	33.50	0.04
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.040	9	LF1	Sigma gesamt	1.31	27.50	0.05
	0.040	11	LF1	Tau gesamt	0.32	15.88	0.02
	0.040	9	LF1	Sigma-v	1.31	27.50	0.05
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.134	9	LF1	Sigma gesamt	2.20	27.50	0.08
	0.134	11	LF1	Tau gesamt	0.19	15.88	0.01
	0.134	9	LF1	Sigma-v	2.20	27.50	0.08
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.160	9	LF1	Sigma gesamt	2.31	27.50	0.08
	0.160	11	LF1	Tau gesamt	0.06	15.88	0.00
	0.160	9	LF1	Sigma-v	2.31	27.50	0.08
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.267	1	LF1	Sigma gesamt	-1.00	33.50	0.03
	0.267	11	LF1	Tau gesamt	1.31	15.88	0.08
	0.267	11	LF1	Sigma-v	2.28	27.50	0.08
2	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.401	9	LF1	Sigma gesamt	-14.78	27.50	0.54
	0.401	11	LF1	Tau gesamt	6.42	15.88	0.40
	0.401	9	LF1	Sigma-v	14.78	27.50	0.54

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 31
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld					Bauwerksnummer (ASB)				
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg					Datum: 25.10.2024				



2.4 SPANNUNGEN X-STELLENWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	S-Punkt Nr.	Last-fall	Spannungs	Spannung [kN/cm²] Vorhanden	Limit	Aus-nutzung
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.000	9	LF1	Sigma gesamt	-13.48	27.50	0.49
	0.000	11	LF1	Tau gesamt	6.43	15.88	0.41
3	0.000	9	LF1	Sigma-v	13.48	27.50	0.49
	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.117	9	LF1	Sigma gesamt	1.14	27.50	0.04
3	0.117	11	LF1	Tau gesamt	1.69	15.88	0.11
	0.117	11	LF1	Sigma-v	3.09	27.50	0.11
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.235	9	LF1	Sigma gesamt	3.65	27.50	0.13
	0.235	11	LF1	Tau gesamt	0.04	15.88	0.00
3	0.235	9	LF1	Sigma-v	3.65	27.50	0.13
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.352	9	LF1	Sigma gesamt	2.56	27.50	0.09
	0.352	11	LF1	Tau gesamt	0.40	15.88	0.02
3	0.352	9	LF1	Sigma-v	2.56	27.50	0.09
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.423	9	LF1	Sigma gesamt	1.61	27.50	0.06
	0.423	11	LF1	Tau gesamt	0.41	15.88	0.03
3	0.423	9	LF1	Sigma-v	1.61	27.50	0.06
3	Querschnitt Nr. 1 - UZU 105/107.5/107.5/50/50/235						
	0.470	9	LF1	Sigma gesamt	0.98	27.50	0.04
	0.470	11	LF1	Tau gesamt	0.41	15.88	0.03
3	0.470	11	LF1	Sigma-v	1.20	27.50	0.04

3.1 MASSGEBENDE SCHNITTGRÖSSEN STABWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	Last-fall	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
			N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z
1	1.020	LF1	-114.48	0.00	-47.78	0.00	-6.16	0.00
2	0.401	LF1	-114.48	0.00	1070.32	0.00	72.62	0.00
3	0.000	LF1	346.11	0.00	-1072.05	0.00	72.62	0.00

Bauteil: Zahnstange Wipfeld

Seite: 32

Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz

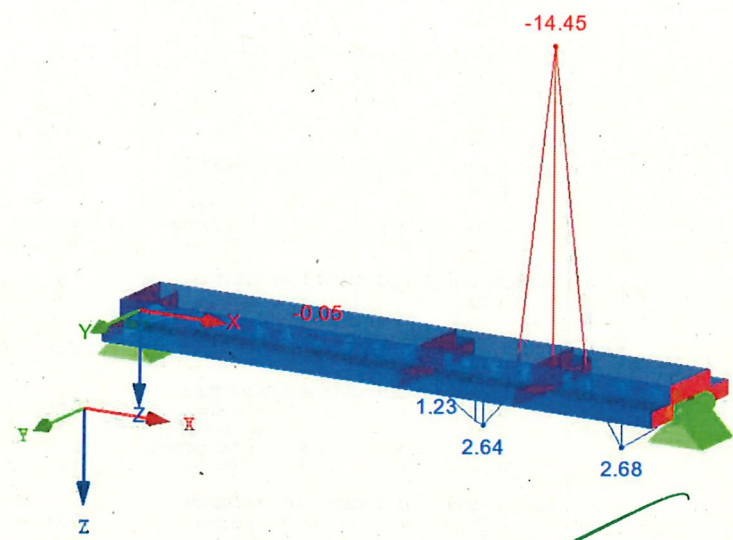
Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			

■ SPANNUNGEN Sigma M

STAHL FA1

Isometrie

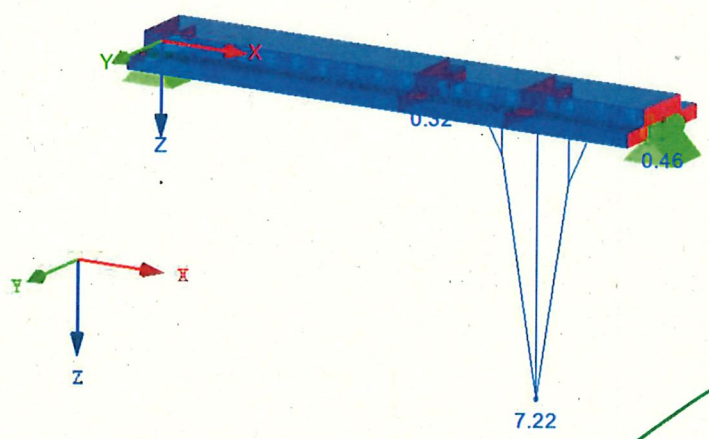


Max Sigma M: 2.68, Min Sigma M: -14.45 [kN/cm²]

■ SPANNUNGEN Tau gesamt

STAHL FA1

Isometrie



Max Tau gesamt: 7.22, Min Tau gesamt: 0.00 [kN/cm²]

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 33
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld	Bauwerksnummer (ASB)
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt	
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg	Datum: 25.10.2024
■ SPANNUNGEN Sigma-v STAHL FA1 Isometrie Max Sigma-v: 14.78, Min Sigma-v: 0.00 [kN/cm²] ■ AUSNUTZUNG Tau gesamt STAHL FA1 Isometrie Max Tau gesamt: 0.41, Min Tau gesamt: 0.00	
Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 34
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)											
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>											
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024											
■ AUSNUTZUNG Sigma-v STAHL FA1 Isometrie Max Sigma-v: 0.54, Min Sigma-v: 0.00													
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 35											
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.											

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS		Datum: 25.10.2024			

4.9 Nachweis der Pressung zwischen Beton und Zahnstange

Nach DIN 19704-1, 7.7.4 berechnet sich die maximale Betonpressung unter der Laufschiene wie folgt:

$$\max p_{\text{Beton}} = \frac{F_d}{A_{c0}} = \frac{2142,37}{790} = 2,71 \text{ kN/cm}^2$$

mit

$$A_{c0} = 4 \cdot (a + a') \cdot (b + b') = 4 \cdot (40 + 50) \cdot (9,29 + 210)/100 = 790 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{80}{2} = 40 \text{ mm}$$

$$b = 1,522 \cdot \sqrt{\frac{F_d}{b \cdot E} \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}} = 1,522 \cdot \sqrt{\frac{2142,37}{18 \cdot 21000} \cdot \frac{191 \cdot 100}{191 + 100}} \cdot 10 = 9,29 \text{ mm}$$

$$a' = 50 \text{ mm}$$

$$b' = 210 \text{ mm}$$

$$h = h_1 + h_2 = 160 + 50 = 210 \text{ mm}$$

$$c \geq h_2$$

Beanspruchbarkeit des Betons C55/67(Zweitbeton):

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 5,5 / 1,5 = 3,12 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\max p_{\text{Beton}} = 2,71 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{cd} = 3,12 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis der Spaltzugbewehrung gem. DIN EN 1992-1-1, 6.5.3

$$Z_{Ed} = 0,25 \cdot 2142,37 \cdot \left(1 - \frac{180}{350}\right) = 260,14 \text{ kN}$$

→ Geometrie vgl. Skizze auf Seite 4/15

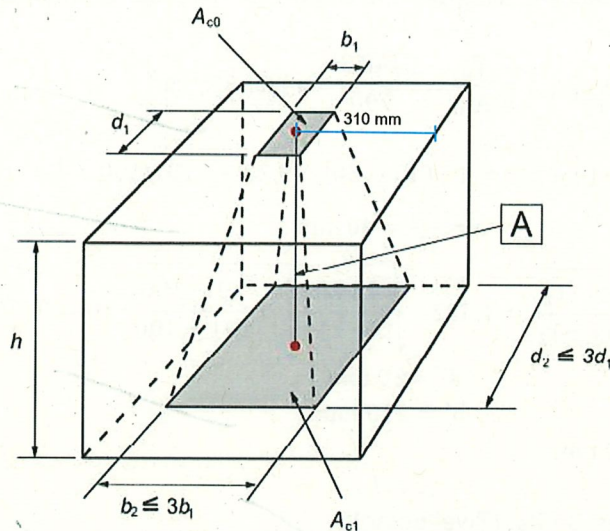
$$A_{z, \text{erf}} = 260,14 / 43,5 = 5,98 \text{ cm}^2$$

Gewählte Bewehrung: 4*Ø16:

$$A_{z, \text{vorh}} = 4 \cdot \pi \cdot 8^2 = 804 \text{ cm}^2 \geq A_{z, \text{erf}} = 5,98 \text{ cm}^2$$

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS		Datum: 25.10.2024			

Nachweis der Pressung zwischen Erstbeton und Zweitbeton



$$d_1 = 2b + 2b' = 438,6 \text{ mm}$$

$$b_1 = 180 \text{ mm (siehe S. 4/13)}$$

$$A_{c0} = 789,48 \text{ cm}^2$$

$$h = 270 \text{ mm}$$

$$b_2 = 2 \cdot 310 = 620 \text{ mm} \leq 3 \cdot b_1 = 540 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 + h = 708,6 \text{ mm} \leq 3 \cdot d_1 = 1315,8 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = 540 \cdot 708,6 = 3826,44 \text{ cm}^2$$

$$\max p_{\text{Beton}} = \frac{F_d}{A_{c1}} = \frac{2142,37}{3826,44} = 0,56 \text{ kN/cm}^2$$

Beanspruchbarkeit des Bestandbetons (Beton mind. $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 1,13 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\max p_{\text{Beton}} = 0,56 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{cd} = 1,13 \text{ kN/cm}^2$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 37
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table>					
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024					

Nachweis des Längsschubs im Betongurt nach DIN EN 1994-1-1, Abs. 6.6.6
 Zu übertragende Schubkraft im Schnitt c-c (Dübelumrissfläche)

$$V_{Ed,c-c} = F_{v,Ed} \cdot \frac{A_c - A_{c-c}}{A_c} = 460,59 \cdot \frac{860 \cdot 300 - 2 \cdot 200 \cdot (3 \cdot 22 + 2 \cdot 125)}{860 \cdot 300} = 235 \text{ kN}$$

Tragfähigkeit der Druckstrebe:

$$V_{Rd,max} = \frac{L_{c-c} \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{(2 \cdot 200 + (3 \cdot 22 + 2 \cdot 125)) \cdot 1,0 \cdot 0,742 \cdot 34}{(1,2 + 0,84)} \cdot \frac{2340}{1000} = 20719,61 \text{ kN}$$

mit

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v_1 = 0,75 \cdot (1,1 - f_{ck}/500) = 0,75 \cdot (1,1 - 55/500) = 0,742 \leq 1,0$$

$$f_{cd} = \frac{55 \cdot 0,85}{1,5} = 31,16 \text{ N/mm}^2 \text{ für C55/67}$$

$$\cot \theta = 1,2$$

$$\tan \theta = 0,839$$

Tragfähigkeit der Zugstrebe: Bügel Ø 16/150

$$V_{Rd,s} = a_{sw} \cdot L \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 2 \cdot 201,06 \cdot \frac{1000}{150} \cdot 2340 \cdot 435 \cdot 1,2 = 3274,54 \text{ kN}$$

mit

$$f_{ywd} = 500/1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\cot \theta = 1,2$$

Nachweis:

$$V_{Ed,c-c} = 192,30 \text{ kN} < V_{Rd,s} = 3274,54 \text{ kN}$$

Einhaltung der Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1-1/NA, 9.2.2 (5):

$$\rho_{w,min} = 0,16 \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 0,16 \cdot 4,2/500 = 0,00134 \%$$

$$\rho_w = 2 \cdot \pi \cdot 8^2 / (150 \cdot 860 \cdot \sin 90) = 0,0031 \% \geq \rho_{w,min} = 0,00134 \%$$

Einhaltung des maximalen Längsabstands der Querkraftbewehrungselemente nach DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.9.1:

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 40
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024									



DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04

NDP Zu 9.2.2 (6)

Gleichung (9.8N) wird durch Tabelle NA.9.1 ersetzt:

Tabelle NA.9.1 — Längsabstand $s_{l,max}$ für Bügel

	1	2	3
	Querkraftausnutzung ^a	Beton der Festigkeitsklasse	
		≤ C50/60	> C50/60
1	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	0,7h ^b bzw. 300 mm	0,7h bzw. 200 mm
2	$0,3V_{Rd,max} < V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	0,5h bzw. 300 mm	0,5h bzw. 200 mm
3	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	0,25h bzw. 200 mm	
^a	$V_{Rd,max}$ darf hier vereinfacht mit $\theta = 40^\circ$ ($\cot\theta = 1,2$) ermittelt werden.		
^b	Bei Balken mit $h < 200$ mm und $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ braucht der Bügelabstand nicht kleiner als 150 mm zu sein.		

$$s_l = 150 \text{ mm} < s_{l,max} = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 300 = 210 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$$

Längsbewehrung

Rückhängebewehrung im Beton:

$$A_{s,erf} = 3 \cdot 102,1 / 43,5 = 7,04 \text{ cm}^2$$

mit

$$P_{Rd} = 102,1 \text{ kN (siehe Seite 4/16)}$$

38

Gewählte Bewehrung: 4*Ø16:

$$A_{s,längs} = 4 \cdot \pi \cdot 8^2 = 804,25 \text{ mm}^2 \geq A_{s,erf} = 704 \text{ mm}^2$$

Mindestbewehrung:

$$A_{s,min} = 0,16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,16 \cdot \frac{4,2}{500} \cdot 860 \cdot 300 = 347 \text{ mm}^2 \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 336 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,längs} = 804,25 \text{ mm}^2 \geq A_{s,min} = 347 \text{ mm}^2$$

Betondeckung

Expositionsklasse:

- außen: gemäß ZTV-W LB 219, Abs. 1.3.2 (XC4, XF1, WF)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

mit

$$c_{min} = 40 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

- zu Erstbeton: XC1, WO

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 41
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		ANWIKAR CONSULTANTS Datum: 25.10.2024									
$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10\text{ mm} + 10\text{ mm} = 20\text{ mm}$ mit $c_{min} = 10\text{ mm}$$\Delta c_{dev} = 10\text{ mm}$											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 42									
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.									

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt							
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg				Datum: 25.10.2024			

4.11 Nachweis der Verankerung des Zweitbetons im Erstbeton

Vorhandene Schubkraft die über Bewehrungsstäbe von Zweitbeton in Erstbeton übertragen werden muss:

$$F_{v,Ed} = 459,47 + 1,12 = 460,59 \text{ kN}$$

$$v_{Edi} = \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{b_i \cdot l} = 1,0 \cdot \frac{460,59 \text{ kN}}{0,86 \cdot 2,34} = 229 \text{ kN/m}^2$$

Bemessungswert der Schubtragfähigkeit in der Fuge:

Stäbe 2 * Ø 16/150

(als maßgebende Betonfestigkeit wird die Festigkeit des Bestandbetons B 225 angesetzt)

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)$$

$$= 0 + 0,7 \cdot 4,63 + 0,0014 \cdot 435 \cdot (0,7 \cdot \sin 90^\circ + \cos 90^\circ)$$

$$= 3,67 \text{ N/mm}^2 > 0,5 \cdot 0,5 \cdot 11,3 = 2,825 \text{ N/mm}^2$$

mit

$c = 0,4$ (raue Fuge) $\rightarrow$ Fugenfläche unter Zug $\rightarrow c = 0$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,85 \cdot 2,2 / 1,5 = 1,25 \text{ N/mm}^2 \text{ für } \geq \text{C35/45}$$

$$\mu = 0,7$$

$$\sigma_n = \frac{F_d}{A_{c1}} = \frac{2142,37 \text{ kN}}{4631 \text{ cm}^2} \cdot 10 = 4,63 \text{ N/mm}^2 \leq 0,6 \cdot f_{cd} = 0,6 \cdot 11,3 = 6,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_i} = \frac{7 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 8^2)}{860 \cdot 2340} = 0,00140$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$v = 0,5$$

$$f_{cd} = \frac{0,85 \cdot 25}{1,5} = 11,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (Erstbeton mind. } f_{ck} = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})$$

Nachweis der Schubkraftübertragung:

$$v_{Edi} = 229 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < 2825 \text{ kN/m}^2 = v_{Rdi}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 43
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)					
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1" style="width: 100%; height: 30px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> </table>					
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		Datum: 25.10.2024					

Mindestverankerungslänge der Bewehrungsstäbe im Erstbeton nach DIN EN 1992-1-1, 8.4.4:

$$l_{b,min} \geq \max\{0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10\Phi; 100 \text{ mm}\} = \max\{774 \text{ mm}; 160 \text{ mm}; 100 \text{ mm}\} = 774 \text{ mm}$$

mit

$$l_{b,rqd} = (\Phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) = (16/4) \cdot (435/2,25) = 774 \text{ mm}$$

mit

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ N/mm}^2$$

mit

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ N/mm}^2 \quad ((\text{Erstbeton mind. } f_{ck} = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}))$$

Injektionsmörtel:

NEODUR AM Plus (Qualität: C40/50) oder gleichwertig.

Bohrlochreinigung und Untergrundvorbehandlung gem. Angaben des Vergußmörtel-Herstellers.

➔ Bohrlochdurchmesser: 23 mm

➔ Bohrlochtiefe: min 780 mm

Zugbeanspruchung aus der exzentrischen Lasteinleitung

Aus dem Versatz der horizontalen Lasteinleitung zur Fuge zwischen Erstbeton und Zweitbeton entsteht ein Versatzmoment, das eine Zugbeanspruchung in den Bewehrungsstäben hervorruft.

Aufgrund der gleichzeitig vorhandenen hohen Druckbeanspruchung durch die Kraft senkrecht auf der Laufschiene wird die auftretende Zugkraft überdrückt.

$$F_{\text{Druck}} = 2142,37/2 = 1071,19 \text{ kN} > F_{\text{Zug}} = 460,59 \cdot \frac{0,35}{0,75} = 214,94 \text{ kN}$$

Bauteil: Zahnstange Wipfeld	Seite: 44
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz	Archiv-Nr.

Baumaßnahme: Ersatz der Zahnstangen/Zahnsegmente Wehr Wipfeld		Bauwerksnummer (ASB)									
Bauherr: WSA Schweinfurt Mainberger Straße 8, 97422 Schweinfurt		<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>									
Aufsteller: Anwikar Consultants GmbH, Max-Born-Str. 19, 97080 Würzburg		 Datum: 25.10.2024									
4.12 Ermüdungsnachweis Anhand von Anhaltswerten aus einem ähnlichen Projekt beträgt die Lastspielzahl: $N = 200 \frac{\text{Lastwechsel}}{\text{Jahr}} \cdot 35 \text{ Jahre} = 7000$ Nach Kommentar zu DIN EN 1992-1-1 zu 6.8.1 (2) darf auf einen Ermüdungsnachweis verzichtet werden, wenn die Lastspielzahl $< 10^4$ ist. Da hier nur eine Lastspielzahl von 7000 Lastwechseln auftritt, kann hier auf einen Ermüdungsnachweis verzichtet werden.											
Bauteil: Zahnstange Wipfeld		Seite: 45									
Kapitel / Vorgang: 4. Nachweise Zahnstange und -kranz		Archiv-Nr.									