

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>THESEN</b> .....	<b>I</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABKÜRZUNGEN UND BEZEICHNUNGEN</b> .....	<b>X</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG ZU „SHINKYŌ“ - „DIE BRÜCKE GOTTES“</b> .....	<b>3</b>
2.1 DIE GESCHICHTE DER <i>SHINKYŌ</i> .....	3
2.2 DIE ERSCHEINUNG DER <i>SHINKYŌ</i> .....	5
<b>3 AUFZÄHLUNG DER REPARATUREN</b> .....	<b>6</b>
3.1 ZUSAMMENFASSUNG GETÄTIGTER REPARATUREN.....	6
3.2 DETAILLIERUNG DER SCHADENSSTELLEN.....	7
<b>4 VERWENDETE HOLZART UND EIGENSCHAFTEN</b> .....	<b>11</b>
4.1 GRUNDLEGENDES ZU LAUB- UND NADELHÖLZERN.....	11
4.1.1 Mikroskopischer Aufbau.....	11
4.1.2 Makroskopischer Aufbau.....	14
4.2 EIGENSCHAFTEN BEIDER HOLZARTEN: <i>HINOKI</i> UND <i>ZELKOVA</i> .....	15
4.3 ELASTIZITÄT VON HOLZ IN SEINEN GLOBALEN FASERRICHTUNGEN.....	17
4.4 QUERZUGFESTIGKEIT DES HOLZES DER HAUPTTRÄGER.....	20
4.5 QUELLEN UND SCHWINDEN VON HOLZ.....	22
4.6 FESTIGKEITSEINFLÜSSE DER REPARATURSTELLEN.....	24
<b>5 TRADITIONELLE VERBINDUNGEN DES JAPANISCHEN ZIMMERERHANDWERKS</b> .....	<b>27</b>
5.1 VORKOMMENE VERBINDUNGEN.....	27
5.2 KRAFTSCHLUSS, STEIFIGKEIT, BEWEGLICHKEIT.....	30
5.2.1 Das schräge Hakenblatt.....	31
5.2.2 Das gerade Hakenblatt, stehend.....	33
5.2.3 Der Sichelzapfen.....	34
<b>6 DEFINITION DES TRAGSYSTEMS</b> .....	<b>37</b>
6.1 BERÜCKSICHTIGUNG DER 3-DIMENSIONALEN BERECHNUNG.....	38
6.2 KNOTEN- UND BAUTEILDEFINITION.....	39
6.2.1 Hauptträger.....	39
6.2.2 Längsträger.....	40
6.2.3 Querträger.....	40
6.2.4 Aussteifung.....	40
6.2.5 Lagerböcke.....	42
6.3 METHODE DER SCHNITTGRÖßENBERECHNUNG.....	43
<b>7 ANGABE DER EINWIRKENDEN LASTEN</b> .....	<b>50</b>
7.1 ZU ERWARTENDE RANDBEDINGUNGEN.....	50
7.1.1 Personenaufkommen.....	50
7.1.2 Lokale Witterung.....	51

7.2	ERMITTLUNG DER LASTFÄLLE NACH DEN GÜLTIGEN DIN-NORMEN .....	52
7.2.1	Eigengewicht .....	52
7.2.2	Schnee.....	53
7.2.3	Verkehr .....	53
7.2.4	Windbelastung.....	54
7.2.5	Außergewöhnliche Belastung.....	56
7.2.6	Horizontale Belastung auf das Geländer .....	58
7.3	KOMBINATION DER LASTFÄLLE.....	59
7.3.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	60
7.3.2	Grenzzustände der Gebrauchfähigkeit.....	60
7.4	ANMERKUNG ZUM SCHWINGUNGSVERHALTEN.....	61
<b>8</b>	<b>BEMERKUNGEN ZU DEN NACHWEISEN OHNE CFK-VERSTÄRKUNG .....</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>VERWENDETE STAHLTEILE.....</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>DISKUSSION ZUM BAUSTOFF CFK.....</b>	<b>68</b>
10.1	EIGENSCHAFTEN VON MATERIAL UND KLEBER .....	68
10.1.1	Vor- und Nachteile von Kohlefaseranwendungen .....	68
10.1.2	Zusammensetzung der Materialien .....	70
10.2	BISHERIGE ERKENNTNISSE, EXPERIMENTE .....	72
10.3	ANWENDUNGSWEISEN VON CFK- LAMELLEN/ - GEWEBE .....	73
10.3.1	Technologie und Anwendung von CFK- Lamellen .....	73
10.3.2	Technologie und Anwendung von CFK- Gewebe .....	76
<b>11</b>	<b>CFK-VERSTÄRKUNG AN DER BRÜCKE .....</b>	<b>77</b>
11.1	VORHANDENE RISSE IN DEN TRÄGERN.....	77
11.2	BRUCHVERHALTEN OHNE VERSTÄRKUNG.....	78
11.3	VORÜBERLEGUNGEN ZU DEN ERFOLGTEN AUSBESSERUNGSARBEITEN .....	80
11.3.1	Vorüberlegungen zur Schubertüchtigung.....	80
11.3.2	Vorüberlegungen für Biegezugertüchtigung.....	82
11.4	VERWENDETE CFK-PRODUKTE UND TECHNISCHE DATEN.....	83
<b>12</b>	<b>FEM-MODELLIERUNG .....</b>	<b>85</b>
12.1	GRUNDLEGENDE FEM-MODELL DEFINITIONEN.....	85
12.1.1	Definition der Koordinatenachsen.....	86
12.1.2	Vernetzung des Holzkörpers .....	87
12.1.3	Holzeigenschaften .....	87
12.2	ANALYSE DES QUERZUGS MIT CFK-GEWEBE .....	88
12.2.1	FEM-Modell mit CFK-Gewebe .....	90
12.2.2	Maßgebende Querspannung in der Ausklinkung ohne Verstärkung.....	90
12.2.3	Berechnungsergebnisse mit CFK-Gewebe.....	93
12.2.4	Technische Interpretation der Spannungen infolge Schubverstärkung.....	97
12.3	ANALYSE DES BIEGEZUGS MIT CFK-LAMELLEN.....	100
12.3.1	FEM-Modell mit CFK-Lamellen .....	100
12.3.2	Berechnungsergebnisse mit CFK-Lamellen.....	101
12.3.3	Technische Interpretation der Spannungen infolge Biegezugverstärkung.....	106
12.3.4	Untersuchung zu Biegezugverstärkung mit Fehlstelle im Holz.....	110
12.4	ZUSAMMENFASSUNG .....	114
<b>13</b>	<b>RESÜMEE ZUR TRAGLASTERHÖHUNG .....</b>	<b>116</b>
13.1	VERGLEICH DER SPANNUNGEN AUS FEM-ANALYSE .....	116
13.1.1	Vergleich unter Verstärkung mit Gewebe an den Gelenken.....	116
13.1.2	Vergleich unter Verstärkung mit Lamellen am Einhangträger .....	118
13.2	ZU ERWARTENDE SYSTEMTRAGFÄHIGKEIT NACH VERSTÄRKUNG .....	119

---

<b>14</b>	<b>KONSTRUKTIVER SCHUTZ DES HOLZES UND DES CFK .....</b>	<b>121</b>
14.1	ERKENNTNISSTAND UND THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	121
14.2	KONSTRUKTIVE ERLÄUTERUNGEN ZU DEN VERBAUTEN STAHLTEILEN.....	124
14.3	SCHUTZ DES CFK AN DER BRÜCKE .....	126
<b>15</b>	<b>FAZIT UND SCHLUSSWORT.....</b>	<b>130</b>
	<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>132</b>
	<b>SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG.....</b>	<b>135</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>136</b>

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1.1	BRÜCKENABMESSUNGEN .....	2
TABELLE 6.1	WERTEVERGLEICH STABWERKSPROGRAMM – ANALYTISCHE LÖSUNG.....	48
TABELLE 7.1	Globale Koordinaten der Wetterstation in Nikko; AUS /48/.....	51
TABELLE 7.2	Spezifische Trägerwichten pro Meter .....	53
TABELLE 7.3	Zu erwartendes Schneelastaufkommen .....	53
TABELLE 7.4	Vergleich der Eigenwerte der Shinkyô mit verschiedenen Steifigkeiten .....	62
TABELLE 12.1	Materialeigenschaften des verwendeten Holzes ( <i>Zelkova</i> ).....	88
TABELLE 12.2	Liste der Variation der Untersuchungen .....	89
TABELLE 12.3	Maximal auftretende Spannungen in Holz und CFK .....	93
TABELLE 13.1	Vergleich der mit FEM ermittelten Querkzugspannungen $S_Y$ .....	116
TABELLE 13.2	Mit FEM ermittelte Durchbiegungen und Normalspannungen $S_X$ .....	118