

## **ROBUSTHEITSBEWERTUNG VON WASSERBAUWERKEN**

|                  |             |                                 |
|------------------|-------------|---------------------------------|
| Aufgestellt von: | Abteilung:  | Bautechnik                      |
|                  | Referat:    | Infrastrukturmanagement         |
|                  | Bearbeiter: | Annemarie Seiffert              |
|                  | Autor:      | Marina Wild, Annemarie Seiffert |

Karlsruhe, 02.09.2022

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

| <b>Inhaltsverzeichnis</b> |                                                                    | <b>Seite</b> |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1                         | Einleitung                                                         | 1            |
| 1.1                       | Hintergrund                                                        | 1            |
| 1.2                       | Gliederung                                                         | 2            |
| 2                         | Vorarbeit                                                          | 3            |
| 2.1                       | Erforderliche Unterlagen zur Durchführung der Robustheitsbewertung | 3            |
| 3                         | Neuanlage eines Projekts                                           | 8            |
| 3.1                       | Status                                                             | 9            |
| 3.2                       | Objektart                                                          | 10           |
| 3.3                       | Baustoff                                                           | 11           |
| 3.4                       | Art der Nachrechnung                                               | 13           |
| 4                         | Initialisierung                                                    | 15           |
| 4.1                       | Schritt 1: Hauptregelbereiche initialisieren                       | 15           |
| 4.1.1                     | Stammdaten                                                         | 15           |
| 4.1.1.1                   | Objektart                                                          | 15           |
| 4.1.1.2                   | Baustoff                                                           | 15           |
| 4.1.1.3                   | Anzahl der Schleusenammern                                         | 15           |
| 4.1.1.4                   | Position des Maschinenhauses                                       | 16           |
| 4.1.1.5                   | Portal- oder Flügelwand                                            | 16           |
| 4.1.1.6                   | Bewehrungspläne                                                    | 17           |
| 4.1.1.7                   | Blickrichtung                                                      | 17           |
| 4.1.2                     | Querschnitte hochladen                                             | 19           |
| 4.1.3                     | Hauptregelbereiche auswählen                                       | 21           |
| 4.2                       | Schritt 2: Hauptregelbereiche konfigurieren                        | 21           |
| 4.3                       | Schritt 3: Teilbereiche konfigurieren                              | 27           |
| 4.4                       | Schritt 4: Schnitte konfigurieren                                  | 28           |
| 5                         | Berechnung                                                         | 29           |
| 5.1                       | Robustheitskriterium 1 (RK1) Auslastungsgrad                       | 29           |
| 5.2                       | Robustheitskriterium 2-5 (RK2-RK5) (weitere Robustheitskriterien)  | 38           |
| 5.3                       | Robustheitskriterium 2 (RK2) Lastumlagerung                        | 39           |
| 5.3.1                     | Unterkriterium UK 2.1 – Kraftfl. (Kraftfluss)                      | 39           |
| 5.3.1.1                   | Unterkriterium UK 2.2 – St. best. (Statische Bestimmtheit)         | 48           |
| 5.3.2                     | Unterkriterium UK 2.3 – Baugr. (Umlagerung auf Baugrund)           | 53           |
| 5.3.3                     | Unterkriterium UK 2.4 – Bewehr. (Bewehrungsführung)                | 58           |
| 5.4                       | Robustheitskriterium 3 (RK3) Verformungsfähigkeit                  | 65           |
| 5.4.1                     | Unterkriterium UK 3.1 – Ankünd. (Ankündungsverhalten)              | 65           |
| 5.5                       | Unterkriterium UK 3.2 – Duktil. (Duktilitätsklasse)                | 71           |
| 5.6                       | Unterkriterium UK 3.3 – Mind. (Mindest- und Höchstbewehrung)       | 80           |

|       |                                                     |     |
|-------|-----------------------------------------------------|-----|
| 5.6.1 | Unterkriterium UK 3.4 – Rotat. (Rotationsvermögen)  | 91  |
| 5.6.2 | Unterkriterium UK 3.5 – Druckz. (Mindestdruckzone)  | 101 |
| 5.7   | Robustheitskriterium 4 (RK4) Nutz. (Nutzung)        | 104 |
| 5.7.1 | Unterkriterium UK 4.1 – Nutzungsintensität          | 104 |
| 5.8   | Robustheitskriterium 5 (RK5) Instandsetzung         | 113 |
| 5.8.1 | Unterkriterium UK 5.1 – Funkt. (Funktionsfähigkeit) | 113 |
| 5.8.2 | Unterkriterium UK 5.2 – Lager / Fugen               | 120 |
| 5.9   | Robustheitsbewertung                                | 124 |
| 6     | Literaturverzeichnis                                | 125 |

| <b>Bildverzeichnis</b>                                                                                                                                                                                 | <b>Seite</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Abbildung 1: Grundprinzip einer risikobasierten Priorisierung                                                                                                                                          | 1            |
| Abbildung 2: Definition der Regelbereiche Schleuse Horkheim                                                                                                                                            | 24           |
| Abbildung 3: Definition der Regelbereiche Schleuse Erlangen und Kriegenbrunn                                                                                                                           | 25           |
| Abbildung 4: Regelbereiche Rahmenquerschnitt Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                                     | 26           |
| Abbildung 5: Regelbereiche Portalwände (Querschnitt) Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                             | 27           |
| <i>Abbildung 6: Robustheitsnote je Regelschnitt</i>                                                                                                                                                    | 34           |
| Abbildung 7: Diskontinuitätsbereiche in Tragwerken (Zilch und Zehetmaier)                                                                                                                              | 40           |
| Abbildung 8: Diskontinuitätsbereiche, Definition und Auftreten am Kammerquerschnitt<br>(Ehmann et al. 2007) und Darstellung Hauptzug (blau) bzw. -drucktrajektorien (rot)<br>(Lutz und Fleischer 2009) | 41           |
| Abbildung 9: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.1 - Tragwerksgeometrie                                                                                                                             | 41           |
| Abbildung 10: Skizze Systemlinien zur Bewertung Tragwerksgeometrie Schleuse Horkheim                                                                                                                   | 42           |
| Abbildung 11: Bewertung Tragwerksgeometrie über L/H-Verhältnis Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                                                | 43           |
| Abbildung 12: Ausschnitte vorhandener Planunterlagen Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn                                                                                                                 | 43           |
| Abbildung 13: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                                              | 44           |
| Abbildung 14: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                                              | 45           |
| Abbildung 15: Bewertung Tragwerksgeometrie über L/H-Verhältnis Schleuse Bollensen                                                                                                                      | 46           |
| Abbildung 16: Ausschnitte aus vorliegenden Planunterlagen Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                        | 46           |
| Abbildung 17: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                 | 47           |
| Abbildung 18: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.2 – Innere statische Bestimmtheit                                                                                                                 | 48           |
| Abbildung 19: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Horkheim                                                                                                                     | 49           |
| Abbildung 20: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                                              | 50           |
| Abbildung 21: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr                                                                                                               | 51           |
| Abbildung 22: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                 | 52           |
| Abbildung 23: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.3 – Umlagerung Baugrund                                                                                                                           | 53           |
| Abbildung 24: Bewertungsskizze zur Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Horkheim                                                                                                                   | 54           |
| Abbildung 25: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Erl./Kriegenb.                                                                                                                 | 55           |
| Abbildung 26: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Erl./Kriegenb.                                                                                                                 | 56           |
| Abbildung 27: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Kanalbrücke Bollensen                                                                                                                   | 57           |
| Abbildung 28: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.4 – Bewehrung mit elast. Lastreserven                                                                                                             | 58           |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 29: Bewehrungsführung (links), Übersicht Kammerwand (rechts) Schleuse Horkheim                                        | 60  |
| Abbildung 30: Bewehrungsführung (links) und Übersicht Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                                            | 61  |
| Abbildung 31: Bewehrungsführung (links) und Übersicht Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                                            | 62  |
| Abbildung 32: Übersicht Regelbereiche (ob.), Bewehrungsführung (unt.) Kanalbrücke Bollensen                                     | 63  |
| Abbildung 33: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.1 – Ankündigungsverhalten                                                  | 65  |
| Abbildung 34: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Horkheim                                                  | 67  |
| Abbildung 35: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Erl./Kriegenbr.                                           | 68  |
| Abbildung 36: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Erl./Kriegenbr.                                           | 69  |
| Abbildung 37: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Kanalbrücke Bollensen                                              | 70  |
| Abbildung 38: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.2 - Duktilitätsklasse                                                      | 71  |
| Abbildung 39: Ausschnitt Plan Nr. 7888 (links, 1959) Sohlplatte Unterhaupt                                                      | 74  |
| Abbildung 40: Ausschnitt Bewehrungsplan Schleusenammer Erlangen, Anlage 1.1 – Anlagen-Nr. 1b (Lutz und Fleischer 2009)          | 75  |
| Abbildung 41: Bewehrung Kammerquerschnitt (Block 5) Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn                                           | 76  |
| Abbildung 42: Bewehrung Kammerquerschnitt (Block 5) Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn                                           | 77  |
| Abbildung 43: Auszug Materialangaben des verwendeten Betonstahls Kanalbrücke Bollensen (WvS Zivilingenieure Partnerschaft 2018) | 78  |
| Abbildung 44: Querschnitt der Kanalbrücke Bollensen (Baujahr 1975)                                                              | 78  |
| Abbildung 45: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.3 – Bewehrungsgrad                                                         | 80  |
| Abbildung 46: Höchstabstände der Schubbewehrung von Balken (Schneider 2014)                                                     | 83  |
| Abbildung 47: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche der Kanalbrücke Bollensen                                            | 90  |
| Abbildung 48: Definition schlanker und gedrungener Querschnitte (BAUSTATIK MediaWiki)                                           | 91  |
| Abbildung 49: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.4 – Rotationsvermögen                                                      | 92  |
| Abbildung 50: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim                                                    | 93  |
| Abbildung 51: Bewertung Rotationsvermögen über h/l-Verhältnis Schleuse Horkheim                                                 | 94  |
| Abbildung 52: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                                       | 95  |
| Abbildung 53: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                                       | 96  |
| Abbildung 54: Bewertung Rotationsfähigkeit über h/l-Verhältnis Schleuse Erl./Kriegenbr.                                         | 97  |
| Abbildung 55: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen                                                | 99  |
| Abbildung 56: Bewertung Rotationsfähigkeit über h/l-Verhältnis Schleuse Bollensen                                               | 100 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 57: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.5 – Mindestdruckzone                               | 101 |
| Abbildung 58: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim                            | 102 |
| Abbildung 59: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK4.1 – Nutzungsintensität                             | 106 |
| Abbildung 60: Jährliches Schiffsaufkommen Neckar 1999 [WSV]                                             | 108 |
| Abbildung 61: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim                            | 109 |
| Abbildung 62: Ermittlung der Nutzungsintensität i.V.m. der Anzahl von Schleusungen (Ehmann et al. 2006) | 110 |
| Abbildung 63: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbr.                 | 111 |
| <i>Abbildung 64: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbr.</i>          | 112 |
| Abbildung 65: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK5.1 – Instandsetzungsaufwand                         | 114 |
| Abbildung 66: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim                            | 115 |
| Abbildung 67: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erl./Kriegenbr.                     | 116 |
| Abbildung 68: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erl./Kriegenbr.                     | 117 |
| Abbildung 69: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen                        | 118 |
| Abbildung 70: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK5.2 – Bauwerkskomponenten                            | 120 |
| Abbildung 71: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen                        | 121 |
| Abbildung 72: Querschnitt Kanalbrücke Bollensen mit Kennzeichnung der Bauwerksfugen                     | 122 |
| Abbildung 73: Ausschnitt Zustandbericht Kanalbrücke Bollensen (WSVPruf)                                 | 123 |

## **Tabellenverzeichnis**

## **Seite**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Ablauf der Robustheitsbewertung                                                 | 3  |
| Tabelle 2: Kontrollliste aller erforderlichen Unterlagen zur Robustheitsbewertung          | 4  |
| Tabelle 3: Übersicht globaler bzw. lokaler (schnittbezogener) Bewertung der Unterkriterien | 7  |
| Tabelle 4: Zur Verfügung stehende Eingabe bei Erstellung eines neuen Projektes             | 8  |
| Tabelle 5: Übersicht der Stati mit zugehörigen Quellstatus, Rechte und Auswirkung          | 9  |
| <i>Tabelle 6: Zur Verfügung stehende Auswahl und seine Folgen der Objektart</i>            | 11 |
| <i>Tabelle 7: Zur Verfügung stehende Auswahl und seine Folgen des Baustoffs</i>            | 13 |
| Tabelle 8: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Art der Nachrechnung              | 14 |
| Tabelle 9: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Anzahl der Schleusenammern        | 16 |
| Tabelle 10: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen des Maschinenhauses                  | 16 |
| Tabelle 11: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Portal- oder Flügelwand          | 17 |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 12: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Bewehrungspläne                              | 17 |
| Tabelle 13: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Blickrichtung                                | 19 |
| Tabelle 14: Zur Verfügung stehende Angaben zum Querschnittsbild                                        | 21 |
| Tabelle 15: Definition der Regelbereiche von Schleusen (Untergliederung in Haupt- und Teilbereiche)    | 23 |
| Tabelle 16: Definition der Regelbereiche von Kanalbrücken (Untergliederung in Haupt- und Teilbereiche) | 23 |
| Tabelle 17: Zur Verfügung stehende Nachweise                                                           | 30 |
| Tabelle 18: Berechnungsregeln für die Auslastungsnote                                                  | 31 |
| Tabelle 19: Zur Verfügung stehende feste Werte für Auslastungsnoten                                    | 31 |
| Tabelle 20: Berechnungsregeln für die aggregierten Kennzahl der Auslastungsmatrix                      | 33 |
| Tabelle 21: Ausschnitt Ergebniszusammenstellung TbW-Nachrechnung Schleuse Horkheim                     | 36 |
| Tabelle 22: Auslastungsmatrix Schleuse Horkheim                                                        | 37 |
| Tabelle 23: Übersicht über die Robustheitskriterien 2 bis 5 (weitere Robustheitskriterien)             | 38 |
| Tabelle 24: Bewertungsmatrix (links) und Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                      | 42 |
| Tabelle 25: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.   | 44 |
| Tabelle 26: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.   | 45 |
| Tabelle 27: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen            | 47 |
| Tabelle 28: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                | 49 |
| Tabelle 29: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.   | 50 |
| Tabelle 30: Teil 2 Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.    | 51 |
| Tabelle 31: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen              | 52 |
| Tabelle 32: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                | 54 |
| Tabelle 33: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.   | 55 |
| Tabelle 34: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.   | 56 |
| Tabelle 35: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen            | 57 |
| Tabelle 36: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                | 60 |

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 37: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Kriegenbrunn                                                                                    | 61 |
| Tabelle 38: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Kriegenbrunn                                                                                            | 61 |
| Tabelle 39: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Kriegenbrunn                                                                                    | 62 |
| Tabelle 40: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Bollensen                                                                                               | 64 |
| Tabelle 41: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                                                                                  | 67 |
| Tabelle 42: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                   | 68 |
| Tabelle 43: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                   | 69 |
| Tabelle 44: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen                                                                                              | 70 |
| Tabelle 45: Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonstabstählen verschiedener Zeitperioden (Tabelle 6, TbW-Merkblatt (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016)) | 72 |
| Tabelle 46: Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonformstählen verschiedener Zeitperioden (Tabelle 7, TbW-Merkblatt (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016)) | 73 |
| Tabelle 47: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                                                                                  | 74 |
| Tabelle 48: Teil 1 Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                    | 76 |
| Tabelle 49: Teil 2: Teil 1 Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                            | 77 |
| Tabelle 50: Bewertungsmatrix UK 3.2 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen                                                                                            | 79 |
| Tabelle 51: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                                                                                | 87 |
| Tabelle 52: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                           | 88 |
| Tabelle 53: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                                                                                           | 89 |
| Tabelle 54: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen                                                                                            | 90 |
| Tabelle 55: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                                                                                | 93 |
| Tabelle 56: Berechnung h/l-Verhältnis des Rotationsvermögens Schleuse Horkheim                                                                                                         | 94 |
| Tabelle 57: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                                                                           | 95 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 58: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn            | 96  |
| Tabelle 59: Berechnung h/l-Verhältnis der Rotationsfähigkeit Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn                             | 97  |
| Tabelle 60: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Bollensen                                | 99  |
| Tabelle 61: Berechnung h/l-Verhältnis der Rotationsfähigkeit Kanalbrücke Bollensen                                      | 100 |
| Tabelle 62: Bewertungsmatrix UK 3.5 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                 | 102 |
| Tabelle 63: Bewertung der Nutzungsintensität der Schleuse Horkheim (oben) und der Schleusen am Main-Donau-Kanal (unten) | 107 |
| Tabelle 64: Bewertungsmatrix UK 4.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                 | 109 |
| Tabelle 65: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 4.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                    | 111 |
| Tabelle 66: Teil 2 Bewertungsmatrix UK 4.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.                     | 112 |
| Tabelle 67: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim                                 | 115 |
| Tabelle 68: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen                                 | 116 |
| Tabelle 69: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen                                 | 117 |
| Tabelle 70: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen                               | 118 |
| Tabelle 71: Bewertungsmatrix UK 5.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen                               | 121 |
| Tabelle 72: Formel zur Berechnung der Robustheitsbewertung                                                              | 124 |

## 1 Einleitung

### 1.1 Hintergrund

Die derzeitige Bewertung von Bestandsbauwerken erfolgt bisher ausschließlich aus reinen zustandsbasierten Betrachtungen der Bauwerksschäden. Für die Priorisierung von Instandsetzungs- und Erhaltungsmaßnahmen müssen die Schadenseinwirkungen zwar berücksichtigt, aber ergänzende Parameter mit einbezogen werden.

Ausschließlich aus der Verbindung zwischen den festgestellten Einzelschäden (Schadensausmaß), der daraus resultierenden Wahrscheinlichkeit eines Bauwerkversagens (Ausfallwahrscheinlichkeit) und der damit einhergehenden Schadensauswirkung (Schadensfolge) lässt sich die Zuverlässigkeit, die Vulnerabilität und das damit verbundene Risiko eines Bauwerks ableiten. Das Risiko wird nach DIN EN 1991 (EC1) als ein Maß für das Zusammenwirken von Auftretenswahrscheinlichkeit einer definierten Gefährdung und der Größe der Schadensfolge beschrieben.

Die Bauwerksausfallbewertung erfolgt bei einem risikobasierten Erhaltungsmanagement daher generell von zwei Seiten. Eine Seite bildet das Schadensausmaß und die damit verbundene Ausfallwahrscheinlichkeit des Bauwerks, die andere Seite die Konsequenzen eines Ausfalls, also die Versagensfolge. Hierbei können beide Seiten generell anhand statistischer Verfahren untersucht werden, was bei der Vielzahl von Infrastrukturbauwerken an den Bundeswasserstraßen einen enormen Aufwand darstellt und deshalb nicht zielführend ist.

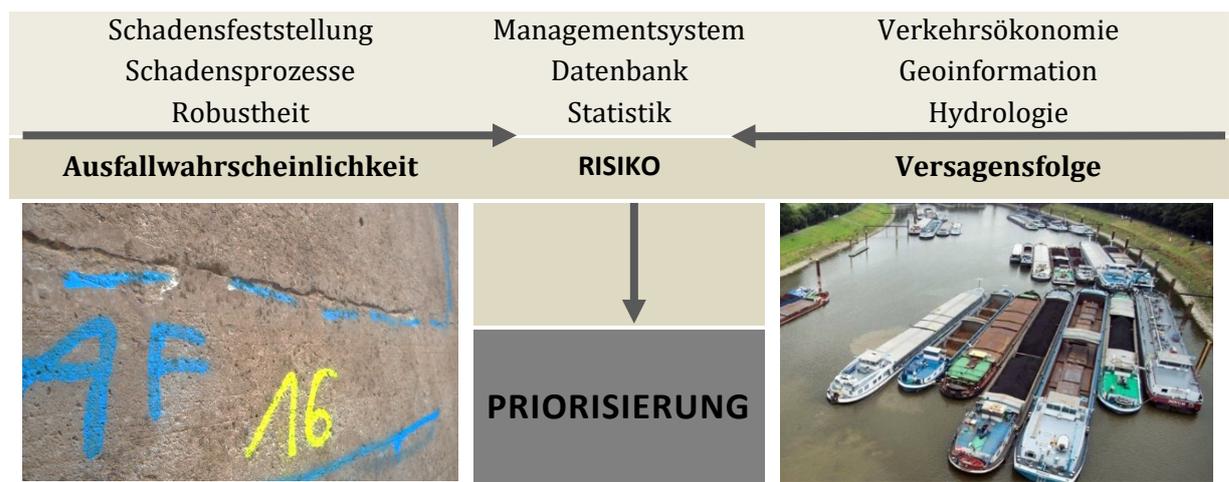


Abbildung 1: Grundprinzip einer risikobasierten Priorisierung

Die Ausfallwahrscheinlichkeit, welche die linke Seite in Abbildung 1 darstellt, ist wesentlich von dem Bauwerkstyp und dessen baulichen Zustand bestimmt. Die Versagensfolge kann einen wirtschaftlichen Schaden oder die Gefahr für Leib und Leben darstellen. Für beide Seiten sind Verfahren zu erarbeiten, um die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Infrastrukturbauwerken genauer zu prognostizieren. Im Kontext eines risikobasierten Erhaltungsmanagements wäre es vorteilhaft, wenn zwecks Priorisierung von Erhaltungsmaßnahmen eine möglichst große, aber gleichzeitig auch homogene Informationsgesamtheit über den Bauwerkszustand vorläge. Hierzu zählt neben der Klassifikation von Schäden auch eine systematische Betrachtung der Bauwerksrobustheit.

Aus diesem Grund hat die Bundesanstalt für Wasserbau die Hochschule Karlsruhe mit der Entwicklung eines Bewertungssystem zur Quantifizierung der Robustheit von Wasserbauwerken beauftragt.

Die Vorgehensweise zur Bewertung wurde in ein IT-System namens Robustheit von Wasserbauwerken überführt und ist unter folgenden Links zu erreichen:

1. Produktivsystem: <https://robustheitsbewertung.baw.de> (Zugang über Rechnerlogin nach Freischaltung durch den Verfahrensbetreuer)
2. Testsystem: <https://robwb1-test.baw.de>

Verfahrensbetreuer des Systems ist derzeit:

- Annemarie Seiffert: [Annemarie.seiffert@baw.de](mailto:Annemarie.seiffert@baw.de)

Die Pflege des Systems läuft über:

- Bitfactory
- Unter Verwendung von Redmine

## 1.2 Gliederung

Der nachfolgende Bericht beschreibt schwerpunktmäßig den fachlichen Hintergrund des Verfahrens zur Robustheitsbewertung. Er besteht teilweise aus direkten Zitaten aus dem Abschlussbericht der Hochschule Karlsruhe zum Projekt und ist dadurch nur für den internen Gebrauch gedacht. Die Bedienung des IT-Systems wird nur in Einzelfällen erläutert, für seine ausführliche Beschreibung steht ein gesondertes Dokument zur Verfügung.

Die Dokumentation kann als Handbuch für die Bewertung der definierten Bauwerksrobustheit eingesetzt werden. Es beinhaltet eine Beschreibung des Verfahrens der Robustheitsbewertung und seine beispielhafte Anwendung auf die Schleuse Horkheim, die Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (baugleich) und die Kanalbrücke Bollensen.

Zu jedem Arbeitsschritt, somit zu jedem Robustheits- bzw. Unterkriterium, wird zunächst eine allgemeine Definition zur Beschreibung des Kriteriums angegeben. Darüber hinaus wird jedes Robustheitskriterium eingehend dargelegt und Bewertungshilfen hierzu generiert, die in Form von Checklisten als Leitfaden herangezogen werden können. Ergänzend wird jedes Kriterium um

Bewertungsbeispiele erweitert, um anhand ausgewählter Nachweisschnitte der Schleuse Horkheim, der Schleuse Erlangen bzw. Kriegenbrunn und der Kanalbrücke Bollensen verschiedene Fälle abzubilden und eine einheitliche Bewertungsstruktur zu generieren. Tabelle 1 zeigt den Ablauf der Robustheitsbewertung, der in den folgenden Kapiteln näher erläutert wird.

*Tabelle 1: Ablauf der Robustheitsbewertung*

| Ansicht                      | Unteransicht                          | Zweck                                                                                | Zugehörige Kapitelnummer |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1. Neues Projekt erzeugen    |                                       | Eintragung Basisdaten                                                                | 3                        |
| 2. Berechnung initialisieren | 2.1 Hauptregelbereiche initialisieren | Eingabe der Stammdaten, Hochladen der Querschnittsbilder, Auswahl Hauptregelbereiche | 4.1                      |
|                              | 2.2 Hauptregelbereiche konfigurieren  | Einzeichnung der Hauptregelbereiche in das Querschnittsbilder                        | 4.2                      |
|                              | 2.3 Teilregelbereiche konfigurieren   | Angabe der Anzahl der Nachweisschnitte / -punkte je Teilregelbereich                 | 4.3                      |
|                              | 2.4 Schnitt konfigurieren             | Einzeichnung der Nachweisschnitte / -punkte in die Querschnittsbilder                | 4.4                      |
| 3. Berechnung                | 3.1 Robustheitskriterium Auslastung   | Eintragung der Auslastungsgrade aus der Nachrechnung je Nachweis                     | 5.1                      |
|                              | 3.2 Weitere Robustheitskriterien      | Beurteilung weiterer Robustheitskriterien                                            | 5.2 bis 5.8.2            |

## 2 Vorarbeit

### 2.1 Erforderliche Unterlagen zur Durchführung der Robustheitsbewertung

Vor Beginn des Bewertungsverfahrens sind entsprechende Unterlagen zur Durchführung der Robustheitsermittlung zusammenzutragen, um sukzessive möglichst alle Robustheitskriterien vollständig und allumfassend bewerten zu können. Zur Übersicht aller erforderlichen bzw. vorliegenden Unterlagen dient die nachfolgende tabellarische Übersicht in Form einer Kontrollliste. Anhand dieser lässt sich ebenfalls die Bewertungsstufe (Stufe 0, Stufe I oder Stufe II) in Abhängigkeit des vorhandenen Datenbestandes nach Kapitel 4.1.1 klassifizieren.

Tabelle 2: Kontrollliste aller erforderlichen Unterlagen zur Robustheitsbewertung

| Erforderliche<br>Unterlagen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | RK<br>UK |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. aktuelle Planunterlagen / Zeichnungen nach akt. Bauwerksabmessungen v. Ort</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |
| <input type="checkbox"/> Bemaßte Querschnittszeichnung des Bauwerks<br><u>Schleusen:</u> Kammerquerschnitt mit Kammerwänden, Sohle(n), Grundläufe und Maschinenräume<br><u>Kanalbrücken:</u> Brückenquerschnitt mit Decke(n), Wände, Sohle(n), Fundamente, Flügel- bzw. Portalwände<br><input type="checkbox"/> aus Schal- oder Positionsplan (ggf. Scanqualität)<br><input type="checkbox"/> aus Kompendium Schleusenreuebau der BAW (standardisiert)<br><input type="checkbox"/> aus Gutachten/Machbarkeitsstudie/Nachrechnung (Qualität prüfen)<br><input type="checkbox"/> CAD-Dateien (höchster Qualitätsstandard, hohe Maßgenauigkeit) |          |
| zur Kennzeichnung und Festlegung der Regelbereiche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | RK 1     |
| zur maßgenauen Bestimmung von L/H-Verhältnissen (Systemlinien)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | UK 2.1   |
| zur Skizzierung interner Systemlinien (inneres statisches System)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | UK 2.2   |
| zur Bestimmung der Lage von anstehendem, umgebenden Baugrund                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | UK 2.3   |
| zur maßgenauen Bestimmung von H/B-Verhältnissen (Rotationsvermögen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | UK 3.4   |
| zur örtlichen Beurteilung von Instandsetzungsaufwand                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | UK 5.1   |
| zur Feststellung und Detektion von Bauwerksfugen/-lager bei Kanalbrücken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | UK 5.2   |
| <input type="checkbox"/> Bewehrungspläne der relevanten Stahlbetonbauteile<br>für Schleusenkammern: Bewehrungsangaben der Kammerwände, Sohle(n), Grundläufe und Maschinenräume<br>für Kanalbrücke: Bewehrungsangaben der Decke(n), Wände, Sohle(n), Fundamente, Flügel- bzw. Portalwände                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |          |
| zur Überprüfung elastischer Lastreserven d. Biege- und Querkraftbewehrung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | UK 2.4   |
| zur Bewertung der Duktilitätsklasse der Bewehrung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | UK 3.2   |
| ggf. zur Nachrechnung u. Überprüfung Mindest- und Höchstbewehrung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | UK 3.3   |
| zur Überprüfung einer umschnürten Druckzone durch Bewehrung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | UK 3.4   |
| <input type="checkbox"/> Lageplan (Lagepläne), Luftbild(er) oder Geoinformationskarten<br>zur Zuordnung, Benennung und Einteilung von Bauteilen zu Regel -und Teilbereiche mit entsprechenden Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | RK 1     |
| <b>2. statische Berechnungen mit Ergebnisaufstellung der Auslastungsgrade</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |
| <input type="checkbox"/> <b>statische Nachrechnungen / statische Berechnungen *</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | RK 1     |
| <input type="checkbox"/> vollständige TbW-Nachrechnung nach TbW-Merkblatt der BAW ( <u>Stufe II</u> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | RK 1     |
| <input type="checkbox"/> unvollständige TbW-Nachrechnung oder überprüfte Bestandsstatik ( <u>Stufe I</u> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | RK 1     |
| <input type="checkbox"/> Gutachten, Machbarkeitsstudien mit statischen Berechnungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | RK 1     |

| <b>Angabe Auslastungsgrade (<math>\mu</math>   <math>\eta</math>   <math>a_{s,erf}/a_{s,vorh}</math>   Einwirkung/Widerstand) aus</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Nachweise der inneren Standsicherheit</b>                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis gegen Biegeversagen (GZT)                                                                                                                                                                                                                                                                               | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis ausreichender Druckfestigkeit gegen Betondruckversagen (GZT)                                                                                                                                                                                                                                            | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis ausreichender Querkrafttragfähigkeit gegen Schubversagen (GZT)                                                                                                                                                                                                                                          | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis Gleiten in der Arbeitsfuge (GZT)                                                                                                                                                                                                                                                                        | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis Materialermüdung bei zyklisch beanspruchten Tragwerken                                                                                                                                                                                                                                                  | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis Begrenzung der Betondruckspannungen (GZG)                                                                                                                                                                                                                                                               | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis Begrenzung der Fugenklaffung (GZG)                                                                                                                                                                                                                                                                      | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis Begrenzung der Betonstahlspannung (GZG)                                                                                                                                                                                                                                                                 | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite                                                                                                                                                                                                                                                                           | RK 1          |
| <b>Nachweise der äußeren Standsicherheit</b>                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis der Grundbruchsicherheit (GEO-2)                                                                                                                                                                                                                                                                        | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis der Lagesicherheit (Kippen)                                                                                                                                                                                                                                                                             | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis der Gleitsicherheit (GEO-2)                                                                                                                                                                                                                                                                             | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis der Fugenklaffung (GZG)                                                                                                                                                                                                                                                                                 | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL)                                                                                                                                                                                                                                                                                | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis der Geländebruchsicherheit (GEO-3)                                                                                                                                                                                                                                                                      | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweis hydraulischer Grundbruch (HYD)                                                                                                                                                                                                                                                                          | RK 1          |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweise für Schleusenammern                                                                                                                                                                                                                                                                                    |               |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | Nachweise für Kanalbrücken                                                                                                                                                                                                                                                                                       |               |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | <b>Skizze bzw. Planausschnitt mit Darstellung und Kenntlichmachung aller geführten Nachweisschnitte im Zusammenhang mit statischer Berechnung d. Bauteile (ggf. Vereinheitlichung der Nachweisschnitte in Längs- und Querrichtung analog zur Ergebnisdarstellung der Nachrechnungsrichtlinie Straßenbrücken)</b> | <b>RK 1</b>   |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | <b>Nachweise bzw. Berechnungen konstruktiver Mindestbewehrung je Bauteil</b>                                                                                                                                                                                                                                     | <b>UK 3.3</b> |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | <b>Nachweise bzw. Berechnungen der Höchstbewehrung je Bauteil</b>                                                                                                                                                                                                                                                | <b>UK 3.3</b> |
| <input type="checkbox"/>                                                                                                              | <b>Rechnerischer Nachweis Überprüfung der Lastexzentrizität/Mindestdruckzone</b>                                                                                                                                                                                                                                 | <b>UK 3.5</b> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>3. Datenbeschaffung zur Ermittlung der Nutzungsintensität bei den zuständigen WSA und WSD</b>                                                                                                                                                                          |        |
| <input type="checkbox"/> Datenbestände zu Anzahl oder Summe bisher erfolgten Schleusungen/erfasste Daten zu Anzahl von durchquerten Schiffen (Güter-, Sport-, Passagierverkehr...) ggf. Durchsicht erstellter Verkehrsberichte und manuelle Ermittlung                    | UK 4.1 |
| <input type="checkbox"/> Angabe zu Baujahr/Nutzungsbeginn/Inbetriebnahme des jew. Bauwerks (Hinweis für Schleusen mit mehr als einer Schleusenkammer: Schleusenkammern können unterschiedliche Baujahre aufweisen)                                                        | UK 4.1 |
| <input type="checkbox"/> Prognosen über zukünftigen Schiffsverkehr / Verkehrsaufkommen / Schleusungsvorgängen der zum Bauwerk zugehörigen Bundeswasserstraße bzw. des Kanalabschnittes in Bezug auf die nächsten Betriebsjahre bis zum Ende der planmäßigen Nutzungsdauer | UK 4.1 |

Hinweis: Die Tabelle gibt den Optimalfall vor. Falls Unterlagen oder Daten fehlen, können die Kriterien nicht allumfassend bewertet werden und werden auf der sicheren Seite negativ angesetzt, bis das Gegenteil sichergestellt werden kann.

\* Bauwerke, zu denen keine Nachrechnungsergebnisse vorliegen werden der Stufe 0 (siehe Kapitel 3.4) zugeordnet.

Die Checkliste gibt einen Überblick über die vorliegenden, zur Verfügung stehenden oder auch fehlenden Unterlagen bzw. zur Bewertung benötigter Basisdaten. Es sei abschließend darauf hingewiesen, dass der Betrachtungsumfang und der damit verbundene und benötigte Datenbestand zur Durchführung einer Robustheitsbewertung in Abhängigkeit der jeweiligen Bauwerksgruppe festzulegen und zu bestimmen ist. Während bei der Bauwerksgruppe von Kanalbrücken das gesamte Beton- bzw. Stahlbetontragwerk (Brückenbauwerk mit den Bauteilen der Decken, Wände, Sohlen, Fundamente, Flügelwände im Ein- und Ausfahrtbereich) berücksichtigt wird, so werden bei Schleusenbauwerken zum aktuellen Stand ausschließlich die Schleusenkammern betrachtet. Querbauteile, wie Ober- und Unterhäupter, wie auch die Ein- und Ausfahrtbereiche, Vorhäfen oder von der Schleusenkammer abgekoppelte Bauwerke (Sparbecken, Betriebshäuser) sind u.a. aufgrund unvollständiger Daten- und Berechnungsgrundlage nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Zur vereinfachten Klassifizierung sämtlicher Robustheitskriterien in Bezug auf deren lokalen bzw. globalen Bewertung dient die nachfolgende Auflistung als tabellarische Übersicht.

*Tabelle 3: Übersicht globaler bzw. lokaler (schnittbezogener) Bewertung der Unterkriterien*

|                                |                              |                           |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| UK 2.1 Kraftfluss/D-Bereich    | UK 3.1 Ankündigungsverhalten | UK 3.5 Mindestdruckzone   |
| UK 2.2 stat. (Un-)Bestimmtheit | UK 3.2 Duktilitätsklasse     | UK 4.1 Nutzungsdauer      |
| UK 2.3 Umlagerung Baugrund     | UK 3.3 Mindestbewehrung      | UK 5.1 Funktionsfähigkeit |
| UK 2.4 Bewehrung (Reserven)    | UK 3.4 Rotationsvermögen     | UK 5.2 Lager/Fugen        |

### 3 Neuanlage eines Projekts

Der erste Schritt bei der Durchführung einer Robustheitsbewertung ist die Erzeugung eines neuen Projektes. Es geschieht über den Button *Neues Projekt*, angeordnet über der Projektliste in der Ansicht *Projekte*. Eine Übersicht der, die bei Neuanlage eines Projektes angegeben werden können, zeigt Tabelle 4. Davon sind *Name*, *Status* und *Objektart* verpflichtend anzugeben. Bestimmte Felder (*Objekt-ID*, *Objektbezeichnung*, *WSA*, *Baujahr*, *Bundeswasserstraße*, *Stationierung (Anfang) [km]*) werden zur Sicherstellung eines einheitlichen Datenbestandes aus dem IT-System *Wasserstraßen-Infrastruktur-Daten (WInD)* übernommen. Diese Daten können manuell nicht geändert werden. Die regelmäßige Überprüfung und Anpassung der WInD-Daten werden sichergestellt, wobei jede nachträgliche Anpassung der Daten im Protokoll hinterlegt wird. Die wichtigsten bzw. nicht ausschließlich anhand des Infotextes verständlichen Felder werden nachfolgend ausführlicher beschrieben.

Tabelle 4: Zur Verfügung stehende Eingabe bei Erstellung eines neuen Projektes

| Attribut                                | Datentyp       | Liste | Validierung                                                                                                        |
|-----------------------------------------|----------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name                                    | String         | x     | Mind. 5 Zeichen, max. 255 Zeichen                                                                                  |
| Status                                  | String         | x     | Dropdown: Test, in Bearbeitung, bitte prüfen, geprüft, veraltet (siehe auch Tabelle zu Status)                     |
| Objektart                               |                |       | Dropdown: Schiffsschleusenanlage (311), Kanalbrückenanlage (112), Dükeranlage (537), Durchlassanlage (535)         |
| Baustoff                                | String         |       | Dropdown: Beton, Stahlbeton, Beton und Stahlbeton                                                                  |
| Bauweise                                | String         |       | 100 Zeichen                                                                                                        |
| Anmerkung                               | String         |       | 3000 Zeichen                                                                                                       |
| Objekt-ID                               | Fremdschlüssel | x     | Format: Objektart (Ziffer, 3-stellig) + Teilidentnummer (Ziffer, 7-stellig): zzzzzzzzzz, Liste aus WInD übernommen |
| Objektbezeichnung                       | String         |       | Liste aus WInD übernommen                                                                                          |
| WSA                                     | String         |       | aus WInD übernommen                                                                                                |
| Baujahr                                 | Zahl           |       | aus WInD übernommen                                                                                                |
| Bundeswasserstraße                      | String         |       | aus WInD übernommen                                                                                                |
| Stationierung (Anfang) [km]             | Zahl           |       | aus WInD übernommen                                                                                                |
| Aufstellende Firma der Nachrechnung     | String         |       | 100 Zeichen                                                                                                        |
| Aufsteller der Nachrechnung             | String         |       | 100 Zeichen                                                                                                        |
| Datum der Nachrechnung                  | Zahl           |       | Datum                                                                                                              |
| TU-ID                                   |                |       | Zahl (3 Ziffern-7Ziffern)                                                                                          |
| Art der Nachrechnung                    | String         |       | Dropdown: Unvollständige TbW-Nachrechnung oder überprüfte Bestandsstatik, Vollständige TbW-Nachrechnung            |
| Untersuchungsstufe der TbW-Nachrechnung | String         |       | A, B, C, keine Angabe                                                                                              |

### 3.1 Status

Zur Beschreibung des Projektzustandes werden Stati eingeführt. Sie dienen zum einen dazu bei einer nachgelagerten Auswertung eine sinnvolle Filterung der Projekte vorzunehmen sowie zum anderen dazu einen Workflow zur Qualitätssicherung der Berechnungen zu ermöglichen. Die Stati sind mit bestimmten Restriktionen hinterlegt um ihre Nutzung zu vereinheitlichen. Das heißt es ist vorgegeben von welchem Status, nachfolgend bezeichnet als Quellstatus, in den gewünschten Status gewechselt werden kann. Beispielsweise kann bei einem Projekt, dass einmal auf den Status *veraltet* gesetzt wurde, der Status nicht mehr geändert werden, sondern muss zur Weiterbearbeitung des Projektes eine Kopie davon generiert werden. Weiterhin sind Nutzerrollen und Zeitpunkte festgelegt in denen nur bestimmte Stati ausgewählt werden können. Zu Projektbeginn handelt es sich z. B. für den Projektersteller um die Stati *Test* und *in Bearbeitung*. Zudem haben eine Stati eine Auswirkung wie ein E-Mail Versand, der z. B. verursacht wird, wenn ein Bearbeiter den Status auf *bitte prüfen* setzt. Eine Übersicht über die definierten Stati und ihre Eigenschaften ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht der Stati mit zugehörigen Quellstatus, Rechte und Auswirkung

| Pos | Status         | Quellstatus                                              | Recht                                                                                     | Auswirkung                                                                                                                                                    |
|-----|----------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | TEST           | Wird automatisch zu Projektbeginn (neu/kopiert) gesetzt. | Bearbeiter, Kann nur noch vom Verfahrensbetreuer von anderen Zuständen aus gesetzt werden | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.                                                                                                                |
| 2   | IN BEARBEITUNG | TEST                                                     | Bearbeiter                                                                                | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.                                                                                                                |
| 3   | BITTE PRÜFEN   | TEST oder IN BEARBEITUNG                                 | Bearbeiter                                                                                | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.<br><br>E-Mail an Verfahrensbetreuer.<br><br>Projekt wird von Verfahrensbetreuer geprüft und ggfs. freigegeben. |
| 4   | GEPRÜFT        | BITTE PRÜFEN                                             | Verfahrensbetreuer                                                                        | Projekt wird in der Auswertung beachtet.                                                                                                                      |

|   |                |                         |                                                    |                                                                                                                                                                                                                |
|---|----------------|-------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                |                         |                                                    | E-Mail an den Bearbeiter (cc, Betrachter) mit Status geprüft.                                                                                                                                                  |
| 5 | IN BEARBEITUNG | GEPRÜFT<br>BITTE PRÜFEN | Automatisch bei neuer Berechnung durch Bearbeiter. | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.<br><br>Hinweis für Bearbeiter dass sich Status geändert hat                                                                                                     |
| 6 | BITTE PRÜFEN   | GEPRÜFT                 | Automatisch bei Änderung der Berechnungsgrundlage. | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.<br><br>Sammel-E-Mail an Verfahrensbetreuer. Und E-Mail an Bearbeiter (cc, Betrachter)<br><br>Projekt wird von Verfahrensbetreuer geprüft und ggfs. freigegeben. |
| 7 | VERALTET       | Alle Zustände           | Bearbeiter, Verfahrensbetreuer                     | Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.<br><br>E-Mail an Bearbeiter (cc, Betrachter)                                                                                                                    |
| 8 | IN BEARBEITUNG | BITTE PRÜFEN            | Verfahrensbetreuer                                 | E-Mail an Bearbeiter mit Grund/Hinweis.<br><br>Projekt wird in der Auswertung nicht beachtet.                                                                                                                  |

### 3.2 Objektart

Mit der Objektart wird unterschieden, ob es sich beim betrachteten Bauwerk um eine Schiffschleusenanlage, eine Kanalbrückenanlage, eine Dükeranlage oder Durchlassanlage handelt. Weitere Objektarten stehen nicht zur Verfügung, da für sie noch keine Robustheitsbewertungssystematik entwickelt wurde. Sie bestimmt die Vorgehensweise der Robustheitsbewertung, die für Schiffschleusenanlagen und Kreuzungsbauwerke (Kanalbrücken, Düker, Durchlässe) unterschiedlich ist. Die Unterschiede liegen in voneinander abweichenden Haupt- und Teilregelbereichen, Nachweisen und Robustheitskriterien, welches vor allem durch die unterschiedliche Nutzung und in Folge unterschiedliche Konstruktion der Objekte resultiert.

Die Angabe der Objektart erfolgt stets mit der Objektart-Identnummer und der Objektartbezeichnung entsprechend dem Objektkatalog (VV-WSV 11 02). Die Objektart ist bei Erzeugung eines neuen Projektes anzugeben. Im Schritt der Initialisierung der Hauptregelbereiche wird sie lediglich zur Information zusätzlich dargestellt, da sie Einfluss auf die Form der Robustheitstabelle hat. Die zu Auswahl zur Verfügung stehenden Felder und der dadurch verursachte Infotext ist *Tabelle 6* zu entnehmen. Im IT-System findet sich eine Auflistung der hinterlegten Objektarten unter dem Reiter Basiskonfiguration – Objektart.

*Tabelle 6: Zur Verfügung stehende Auswahl und seine Folgen der Objektart*

| <b>Nr.</b> | <b>Auswahl</b>             | <b>Folge</b>                                                                                                                                        |
|------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | 311 Schiffsschleusenanlage | Verwendung der Haupt- und Teilbereiche, Nachweise und Robustheitskriterien für Schiffsschleusenanlagen (311).                                       |
| 2          | 112 Kanalbrückenanlage     | Verwendung der Haupt- und Teilbereiche, Nachweise und Robustheitskriterien für Kanalbrückenanlage (112) / Dükeranlage (537) / Durchlassanlage (535) |
| 3          | 537 Dükeranlage            |                                                                                                                                                     |
| 4          | 535 Durchlassanlage        |                                                                                                                                                     |

### **3.3 Baustoff**

Der Baustoff des Querschnitts bestimmt welche Nachweise bei der Nachrechnung geführt werden und über welche Merkmale die Robustheit des Querschnitts bestimmt wird. Aus diesen Gründen variieren die in der Bewertungstabelle dargestellten Robustheitskriterien in Abhängigkeit der verwendeten Baustoffe der betrachteten Querschnitte. Die Robustheitsbewertung wurde bisher für die Baustoffe Beton und Stahlbeton entwickelt, weshalb auch nur diese und ihre Mischform zur Verfügung steht.

Der Baustoff kann entweder bei Erzeugung eines neuen Projektes, bei Bearbeitung eines bereits bestehenden Projektes oder beim hier behandelten Schritt der Initialisierung des Hauptregelbereichs ausgewählt werden. Nach Abschluss der Initialisierung ist die Änderung des Baustoffs nicht möglich, da dies die Form der Bewertungstabelle und folglich alle bereits erfolgten Initialisierungs- und Berechnungsschritte verändern würde.

Tabelle 7 zeigt die zur Auswahl stehenden Werte und die Folge ihrer Auswahl. Die Folge besteht darin, dass einzelne Robustheitskriterien in der Bewertungstabelle nicht angezeigt werden, da sie für den angegebenen Baustoff nicht zutreffen. Aus diesem Grund kann die Zuordnung eines Baustoffs nur erfolgen, wenn alle betrachteten Bauteile des Bauwerks aus diesem Baustoff sind. Bei Vorliegen von nur einem Bauteil in einem anderen Baustoff soll die Mischbauweise *Beton und Stahlbeton* ausgewählt werden, da in diesem Fall keine Kriterien deaktiviert werden. In diesem Fall hat der Nutzer selber Kriterien, die nicht zum jeweiligen Baustoff passen, unausgefüllt zu belassen.

Tabelle 7: Zur Verfügung stehende Auswahl und seine Folgen des Baustoffs

| Nr. | Auswahl              | Folge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Auswahl, wenn                                                                                |
|-----|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Beton                | Deaktivierung der Felder (d. h. keine Wertung): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustheitskriterium Auslastung: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Biege (Nachweis gegen Biegeversagen)</li> </ul> </li> <li>- Weitere Robustheitskriterien: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Duktil. (Duktilitätsklasse)</li> <li>○ Mind. (Mindestbewehrung)</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                              | alle betrachteten Bauteile aus unbewehrtem Beton oder minderbewerteten Stahlbeton ausgeführt |
| 2   | Stahlbeton           | Deaktivierung der Felder (d. h. keine Wertung): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustheitskriterium Auslastung: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Druck (Nachweis gegen Betondruckversagen)</li> <li>○ Arbfuge (Nachweis gegen Gleiten in der Arbeitsfuge)</li> <li>○ Fugklafft (Begrenzung der Fugklaffung)</li> </ul> </li> <li>- Weitere Robustheitskriterien: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Druckz. (Mindestdruckzone)</li> </ul> </li> </ul> Einblendung der Abfrage <i>Bewehrungspläne</i> in Initialisierungsschritt 1 | alle betrachteten Bauteile aus bewehrtem Beton ausgeführt                                    |
| 3   | Beton und Stahlbeton | Einblendung der Abfrage <i>Bewehrungspläne</i> in Initialisierungsschritt 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | mind. ein betrachtetes Bauteil in unbewehrtem oder minderbewehrtem Stahlbeton ausgeführt     |

### 3.4 Art der Nachrechnung

Es werden Stufen der Robustheitsbewertung zur Abbildung des Datenbestandes der Bauwerke eingeführt, um den Umgang mit fehlenden, unvollständigen und/oder vorhandenen Bauwerksdaten klar zu systematisieren. Es handelt sich um die Stufen 0, I, II, die in Abhängigkeit der Vollständigkeit der vorliegenden Nachrechnung, im Folgenden bezeichnet als Art der Nachrechnung zur Anwendung kommen. Diese drei Stufen werden folgendermaßen unterteilt:

#### Stufe der Robustheitsbewertung 0 *Bauwerke ohne Nachrechnung*

Bauwerke, zu denen keine Nachrechnung oder überprüfte Bestandsstatik nach aktueller Normung vorhanden sind, werden der Stufe 0 zugeordnet und sind künftig nicht mit dem Robustheitsansatz zu bewerten. Eine Robustheitsbewertung mit pauschal angenommenen Auslastungsgraden berücksichtigt weder die genaue Robustheit des Bauwerks, noch werden hier statische Defizite am Bauwerk abgebildet. Um diese Defizite nicht zu vernachlässigen wird eine statische und allumfassende Nachrechnung sämtlicher Bauwerke empfohlen.

### Stufe der Robustheitsbewertung I

#### ***Bauwerke mit unvollständiger TbW-Nachrechnung oder überprüfter Bestandsstatik***

Bauwerke sind der Stufe I zugehörig, wenn eine teilweise bzw. unvollständige Nachrechnung nach TbW-Merkblatt (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016) oder nach einer überprüften Bestandsstatik aktueller Normung vorliegt. Die Berechnungsergebnisse (Auslastungsgrade) der teilweise geführten Nachweise können unmittelbar weiterverwendet werden, für nicht geführte Nachweise ist weiterhin eine Auslastungsnote von 3,0 (*n.a.*) bei den entsprechenden Nachweisschnitten anzunehmen. Nachweise, die aufgrund der Konstruktion (bewehrte oder unbewehrt) und entsprechender Materialeigenschaft (Stahlbeton oder Beton) des Bauwerks nicht zu führen sind, gilt es von dieser Annahme auszuschließen und in der IT-Umsetzung automatisch zu deaktivieren.

### Stufe der Robustheitsbewertung II

#### ***Bauwerke mit vollständiger TbW-Nachrechnung***

Liegt eine vollständige Nachrechnung nach TbW (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016) eines Bauwerkes vor, welches der optimalste Fall darstellt, so ist dieses der Stufe II zuzuweisen. Für nicht nachgewiesene Schnitte ist die angenommene Auslastungsnote (*Annahme*) an den entsprechenden Stellen mit der besten Note 1,0 zu versehen. Aufgrund von Lastverteilung in den Bauwerken ist davon auszugehen, dass der nachweisführende Ingenieur maßgebliche Nachweisschnitte detektiert und folglich auf die Nachweisführung von weniger brisanten Stellen gänzlich verzichtet. An diesen Stellen kann aufgrund der sonst ausführlichen TbW-Nachrechnung von einer allgemein hohen Robustheit mit plausiblen Lastreserven ausgegangen werden.

Während in Stufe 0 aufgrund fehlender Datenbasis keine Robustheitsbewertung durchgeführt werden kann, erfolgen die Robustheitsbewertungen in Stufe I und II nach dem üblichen Vorgehen. Ihre Auswahl geschieht entsprechend Tabelle 8 in Abhängigkeit der angegebenen Art der Nachrechnung.

Tabelle 8: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Art der Nachrechnung

| Nr. | Auswahl                                                        | Folgen der Auswahl                  | Auswahl, wenn                                                                                                     |
|-----|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Keine TbW-Nachrechnung oder überprüfte Bestandsstatik          | Stufe der Robustheitsbewertung = 0  | nicht auswählbar                                                                                                  |
| 2   | Unvollständige TbW-Nachrechnung oder überprüfte Bestandsstatik | Stufe der Robustheitsbewertung = I  | Nachrechnung nach BAW-Merkblatt TbW nicht zu allen notwendigen Nachweisen oder überprüfte Bestandsstatik vorliegt |
| 3   | Vollständige TbW-Nachrechnung                                  | Stufe der Robustheitsbewertung = II | Nachrechnung nach BAW-Merkblatt zu allen notwendigen Nachweisen vorliegt                                          |

## 4 Initialisierung

Der zweite Schritt bei der Durchführung einer Robustheitsbewertung ist die Initialisierung einer Berechnung genannt. Er ist unterteilt in die vier Unterschritte:

- Hauptregelbereiche initialisieren:
- Hauptregelbereiche konfigurieren
- Teilregelbereiche konfigurieren
- Schnitte konfigurieren.

### 4.1 Schritt 1: Hauptregelbereiche initialisieren

Der erste Schritt der Initialisierung von Hauptregelbereichen dient dazu die Form der Bewertungstabelle zu bestimmen. Dies geschieht in Abhängigkeit der vorhandenen Konstruktionsweise und den zum Bauwerk zur Verfügung stehenden Informationen. Des Weiteren werden in dem Schritt zur Vorbereitung auf die nachfolgenden Schritte die Querschnittspläne hochgeladen.

#### 4.1.1 Stammdaten

Mithilfe der Stammdaten wird die Konstruktionsweise des Bauwerks und die zum Bauwerk zur Verfügung stehenden Informationen definiert. Die Angabe geschieht mittels einer Dropdownliste. Die Folgen einer Auswahl wird dem Nutzer rechts neben der Auswahlliste in einem grauen Kasten mitgeteilt.

##### 4.1.1.1 Objektart

Siehe Abschnitt 3.2.

##### 4.1.1.2 Baustoff

Siehe Abschnitt 3.3.

##### 4.1.1.3 Anzahl der Schleusenammern

Handelt es sich bei der Objektart um *311 Schiffsschleusenanlage* ist die der Anzahl der Schleusenammern anzugeben. Sie ist notwendig um die richtigen Hauptregelbereiche zu erzeugen. Aus einer Kammer bestehende Schleusen verfügen über eine linke (L) und rechte Kammerwand (R), eine Sohle (S1) und über einen oder mehrere Grundbauten (G). Bei aus zwei Kammern bestehenden Schleusen kommen zu diesen eine zweite Sohle (S2) und eine mittlere Schleusenwand (M) dazu. Für Schiffsschleusenanlagen mit 3 Kammern ist die Nutzung des Programms momentan nicht vorgesehen.

Tabelle 9: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Anzahl der Schleusenammern

| Nr. | Auswahl | Folge                                        | Auswahl, wenn                                           |
|-----|---------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1   | 1       | Ohne Hauptregelbereiche:<br>- MI/2/3<br>- S2 | betrachtetes Schleusenbauwerk über eine Kammer verfügt  |
| 2   | 2       | Alle Hauptregelbereiche stehen zur Verfügung | betrachtetes Schleusenbauwerk über zwei Kammern verfügt |

#### 4.1.1.4 Position des Maschinenhauses

Handelt es sich bei der Objektart um 311 *Schiffschleusenanlagen* ist anzugeben ob ein Maschinen- oder Technikhaus an die Schleusenammern angrenzt und auf welcher Seite es sich befindet. Ein linksseitig vorhandenes Maschinenhaus führt zur Generierung des Hauptregelbereiches  $T_l$ , ein rechtsseitig vorhandenes Haus zum Hauptregelbereich  $T_r$ , siehe Tabelle 10.

Tabelle 10: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen des Maschinenhauses

| Nr. | Auswahl                | Folge                                                                                  | Auswahl, wenn                                             |
|-----|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1   | Nicht vorhanden        | Tabelle zur Robustheitsbewertung ohne Hauptregelbereich T                              | Nicht vorhanden                                           |
| 2   | Linksseitig vorhanden  | Tabelle zur Robustheitsbewertung mit Hauptregelbereich $T_l$ mit Teilbereichen l, m, r | Linksseitig, entsprechend Betrachtungsrichtung, vorhanden |
| 3   | Rechtsseitig vorhanden | Tabelle zur Robustheitsbewertung mit Hauptregelbereich $T_r$ mit Teilbereichen l, m, r | Rechtsseitig, entsprechend Betrachtungsrichtung vorhanden |

#### 4.1.1.5 Portal- oder Flügelwand

Handelt es sich bei der Objektart um 112 *Kanalbrückenanlagen*, 537 *Dükeranlagen*, 535 *Durchlassanlagen* ist anzugeben ob Portal- oder Flügelwände vorhanden sind oder nicht. Im Fall ihres Vorhandenseins wird er Hauptregelbereich P erzeugt.

Tabelle 11: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Portal- oder Flügelwand

| Nr. | Auswahl         | Folge                                                     | Auswahl, wenn   |
|-----|-----------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | Nicht vorhanden | Tabelle zur Robustheitsbewertung ohne Hauptregelbereich P | nicht vorhanden |
| 2   | Vorhanden       | Tabelle zur Robustheitsbewertung mit Hauptregelbereich P  | vorhanden       |

#### 4.1.1.6 Bewehrungspläne

Handelt es sich beim ausgewählten Baustoff um *Stahlbeton* oder *Beton und Stahlbeton*, ist das Feld *Bewehrungspläne* auszufüllen. Bauwerke der Stufe I oder II, für die keine Informationen zur genaueren Bewertung der Robustheitskriterien 2 - 5 (*weitere Robustheitskriterien*) vorhanden sind, sollen stets auf der sicheren Seite bewertet werden. Im Falle fehlender Bewehrungspläne, die im ersten Schritt der Berechnungsinitialisierung angegeben werden, wird daher für die Robustheitskriterien *Bewehrung mit Lastreserven*, *Duktilitätsklasse* und *Mindestbewehrung* ein Zuschlag vergeben.

Tabelle 12: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Bewehrungspläne

| Nr. | Auswahl               | Folge                                                                                                                                                                                                                                                    | Auswahl, wenn                                          |
|-----|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1   | (Teilweise) vorhanden | Keine                                                                                                                                                                                                                                                    | nicht zu allen Querschnitten Bewehrungspläne vorhanden |
| 2   | Nicht vorhanden       | Automatische Bewertung mit <i>Nein</i> bei Robustheitskriterien <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Bewehr.</i> (Bewehrung mit Lastreserven)</li> <li>- <i>Duktil.</i> (Duktilitätsklasse)</li> <li>- <i>Mind.</i> (Mindestbewehrung)</li> </ul> | zu allen Querschnitten Bewehrungspläne vorhanden       |

#### 4.1.1.7 Blickrichtung

Mit der Blickrichtung soll angegeben werden, wie das Querschnittsbild bezogen auf die Fließrichtung der Wasserstraße orientiert ist. Ihre Auswahl dient lediglich zur Information und hat keine Auswirkung auf die Berechnung, siehe

Tabelle 13.

*Tabelle 13: Zur Verfügung stehende Auswahl und Folgen der Blickrichtung*

| <b>Nr.</b> | <b>Auswahl</b>                      | <b>Folgen</b>                       | <b>Auswahl, wenn</b>                                                                               |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | In Fließrichtung                    | Keine Auswirkung auf die Berechnung | verwendeter Querschnitt des Bauwerks in Fließrichtung der Wasserstraße zeigt                       |
| 2          | Gegen Fließrichtung                 |                                     | verwendeter Querschnitt des Bauwerks gegen Fließrichtung der Wasserstraße zeigt                    |
| 3          | Fließrichtung von links nach rechts |                                     | verwendeter Querschnitt des Bauwerks in Fließrichtung der Wasserstraße von links nach rechts zeigt |
| 4          | Fließrichtung von rechts nach links |                                     | verwendeter Querschnitt des Bauwerks in Fließrichtung der Wasserstraße von rechts nach links zeigt |

#### **4.1.2 Querschnitte hochladen**

Bei jeder Initialisierung ist ein Querschnittsbild oder höchstens zwei Querschnittszeichnungen des Bauwerks entsprechend der Vorgaben in

Tabelle 2

Tabelle hochzuladen. Tabelle 14 zeigt die zur Verfügung stehenden Angaben, die optional zu den einzelnen Querschnittsbildern hinterlegt werden können.

*Tabelle 14: Zur Verfügung stehende Angaben zum Querschnittsbild*

| <b>Attribut</b>           | <b>Folgen</b> | <b>Datentyp</b>           |
|---------------------------|---------------|---------------------------|
| Bezeichnung laut Plankopf | keine         | String, max 255 Zeichen   |
| Stand laut Plankopf       | keine         | Datumsfeld                |
| Ausleседatum              | keine         | Datumsfeld                |
| Quelle                    | keine         | String, max.200 Zeichen   |
| TU-ID                     | keine         | Zahl (3 Ziffern-7Ziffern) |

#### **4.1.3 Hauptregelbereiche auswählen**

Die auswählbaren Hauptregelbereiche richten sich nach:

- Der Objektart
- Der Anzahl der Schleusenammern
- Dem Vorhandensein eines Maschinenhauses
- Dem Vorhandensein von Portal- oder Flügelwänden

Es sind jene Hauptregelbereiche auszuwählen, die an der Anlage vorhanden oder deren Robustheit bewertet werden sollen. Die Bedeutung der Bereiche ist Abschnitt 4.2 zu entnehmen.

#### **4.2 Schritt 2: Hauptregelbereiche konfigurieren**

Vor der eigentlichen Bewertung der Robustheitseigenschaften des Bauwerks gilt es jedes zu untersuchende Bauwerk in definierte Regelbereiche zu untergliedern. Die Definition der Regelbereiche sei hier an den Querschnitten der Schleuse Horkheim am Neckar (Abbildung 2), der Schleuse Erlangen am MDK (Abbildung 3) sowie der Kanalbrücke Bollensen (Abbildung 4) dargestellt. Die eingezeichneten Nachweisschnitte oder -punkte werden hierbei direkt mit der ursprünglichen Bezeichnung von der statischen Nachrechnung übernommen, die Regelbereiche gilt es analog der genannten Beispiele gleichwertig für sämtliche Bauwerke zu generieren. Um die Vergleichbarkeit von Robustheitsbewertungen unterschiedlicher Bauwerke gewährleisten zu können sollte je Hauptregelbereich mindestens ein Nachweisschnitt oder -punkt geführt werden. Sowohl Einzelkammerschleusen, Mehrkammerschleusen und auch weitere Bauwerksgruppen, wie bspw. Kanalbrücken oder Durchlassbauwerke, sind manuell und nach identischem Schema in bauwerkspezifische Bereiche zu unterteilen.

Durch eine einheitliche Festlegung der Regelbereiche kann allgemein auch ohne Visualisierung der Regelbereiche eine eindeutige Zuordnung der Schnitte und folglich eine Aussage über die Lage der betrachteten Stellen im Bauwerk getroffen werden. Zudem ermöglichen die festgelegten Bereiche den abschnittsweisen und übergeordnet globalen Vergleich verschiedener Bauwerke einer Bauwerksgruppe. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Konstruktion und Querschnittsausbildung unterscheiden sich auch die entsprechenden Bauteilbezeichnungen der zu betrachtenden Verkehrswasserbauwerken. In den nachfolgenden Tabellen erfolgen zur genauen Erläuterung die bauwerksspezifischen Legenden der definierten Regelbereiche für Schleusen (Tabelle 15) und Kanalbrücken (Tabelle 16). Im IT-System sind die Hauptregelbereiche unter dem Reiter Basiskonfiguration – Hauptregelbereiche aufgelistet und unter Basiskonfiguration – Liste Hauptregelbereich - Objektart mit der jeweiligen Objektart verknüpft.

Die exakte Definition der Hauptbereiche (Tabelle 15) teilt das Schleusenbauwerk in die verschiedenen Bereiche  $L1, L2, L3, M1, M2, M3, R1, R2, R3, Tr, Tl, S1, S2, G1, G2$  und  $G3$ . Der Großbuchstabe der Hauptbereiche ( $L, M, R, T, S$  und  $G$ ) steht für die Verortung und als ergänzende Lagekennzeichnung im Querschnitt. Die zu den Hauptbereichen  $L, M$  und  $R$  zugehörigen Zahlen beschreiben verschiedene Bauwerksabschnitte in vertikaler Bauwerkshöhe. Die Bereiche  $L3, M3$  und  $R3$  begrenzen den unteren Bereich der Kammerwand bis zum Unterwasserstand. Die halbe Höhe zwischen Unter- und Oberwasserstand bildet die Grenze zwischen den Bereichen  $L1, M1$  und  $R1$  sowie  $L2, M2, R2$ . Somit sind  $L1, M1, R1$  die Hauptbereiche der oberen und  $L2, M2, R2$  die Hauptbereiche der mittleren Kammerwandhöhe. Die zu den Hauptbereichen  $S$  und  $G$  zugehörigen Zahlen beschreiben verschiedene Bauwerksabschnitte in horizontaler Bauwerksbreite. Das zum Hauptbereich  $T$  zugehörige  $r$  bzw.  $l$  bezeichnet wiederum die Lage des Maschinenhauses rechts bzw. links vom Querschnitt in Blickrichtung.

Die übergeordneten Hauptbereiche *L, M, R, T, S* und *G* können wiederum in kleinere Teilbereiche untergliedert werden, um die genaue Lage am Bauwerk noch spezifischer zu kategorisieren.

Tabelle 15: Definition der Regelbereiche von Schleusen (Untergliederung in Haupt- und Teilbereiche)

| Definition Hauptregelbereiche |                             |                              |                 |                                |                  |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|
| L                             | M                           | R                            | T               | S                              | G                |
| Kammerwand<br><u>L</u> inks   | Kammerwand<br><u>M</u> itte | Kammerwand<br><u>R</u> echts | <u>T</u> echnik | <u>S</u> ohle / Funda-<br>ment | <u>G</u> rundbau |
| Definition Teilregelbereiche  |                             |                              |                 |                                |                  |
| <u>l</u>                      |                             | <u>m</u>                     | <u>r</u>        |                                |                  |
| <u>l</u> inks                 |                             | <u>m</u> itte                | <u>r</u> echts  |                                |                  |

Auch die Definition der Regelbereiche für die Bauwerksgruppe von Kanalbrücken gilt es einheitlich und übergreifend für verschiedene Querschnittsausbildungen festzulegen. Auch bei der Definition der Regelbereiche erfolgt eine Unterteilung in Haupt- und kleinere Nebenbereiche. Im Abgleich zu den Regelbereichen von Schleusenbauwerken unterscheiden sich die Begrifflichkeiten jedoch in Abhängigkeit der unterschiedlichen Bauteile der Bauwerkskonstruktionen, siehe Tabelle 16.

Tabelle 16: Definition der Regelbereiche von Kanalbrücken (Untergliederung in Haupt- und Teilbereiche)

| Definition Hauptregelbereiche |                                |                                       |                                    |                  |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| D                             | W                              | S                                     | P                                  | G                | A                                    |
| <u>D</u> eckenplatte          | <u>W</u> and                   | <u>S</u> ohle / Funda-<br>ment        | <u>P</u> ortalwand /<br>Flügelwand | <u>G</u> rundbau | <u>A</u> usstei-<br>fungs-<br>platte |
| Definition Teilbereiche       |                                |                                       |                                    |                  |                                      |
| <u>o</u>                      | <u>m</u>                       | <u>u</u>                              | <u>L</u>                           | <u>m</u>         | <u>r</u>                             |
| <u>o</u> ben<br>(Wandkopf)    | <u>m</u> itte (Wand-<br>mitte) | <u>u</u> nten<br>(Anschnitt<br>Sohle) | <u>L</u> inks                      | <u>m</u> itte    | <u>r</u> echts                       |

Zur Einzeichnung der Regelbereiche ist je ausgewähltem Regelbereich das betroffene Querschnittsbild auszuwählen und im Anschluss durch Aufziehen eines Rechtecks mit der Maus der entsprechende Bereich zu markieren. Die Beschriftung der Rechtecke geschieht automatisch und kann in ihrer Platzierung nicht verändert werden. Der gerade gezeichnete Bereich wird stets in Rot dargestellt, alle übrigen Bereiche in einer festgelegten Einfärbung. Über die Werte *Linker Werte [%]*, *Breite [%]*, *unterer Wert [%]* und *Höhe [%]*, die vom System aus der Zeichnung ermittelt werden, kann eine Feinjustierung der Größe der entstandenen Rechtecke geschehen.

Die Werte *Links + Breite [%]* und *Unten + Höhe [%]* können nicht verändert werden jedoch kopiert werden und dienen damit als Hilfestellung um mehrere Regelbereiche bündig aneinander zu legen.

### Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Am Beispiel der Schleuse Horkheim liegt eine vollständige statische Nachrechnung nach TbW vor und folglich kann das Bauwerk in Stufe II (siehe Stufendefinition Kapitel 2.1.1) zugeordnet werden. Im Zuge der Nachrechnung wurde das Bauwerk anhand von 15 Nachweisschnitten auf dessen innere, an weiteren vier Stellen auf dessen äußere Standsicherheit hin überprüft. Um jeden Regelbereich bewerten und auf seine Robustheit hin untersuchen zu können sowie zur späteren Kopplung mit den örtlichen Bauwerksschäden, wurde der Querschnitt (Abbildung 2) um weitere "Annahmeschnitte" (a1, a2, a3 und a4) erweitert. Die Doppelschleuse Horkheim verfügt über eine Mittelwand, im Gegensatz zur Schleuse Erlangen bzw. Kriegenbrunn jedoch über keinen Technik- bzw. Maschinenraum.

Bei der Einteilung des Bauwerkquerschnitts in Regelbereiche ist folglich darauf zu achten, dass alle möglichen Bauwerksausbildungen und -varianten abgedeckt sind, sowie Elemente einheitlich zu ergänzen oder variabel zu entfernen sind.

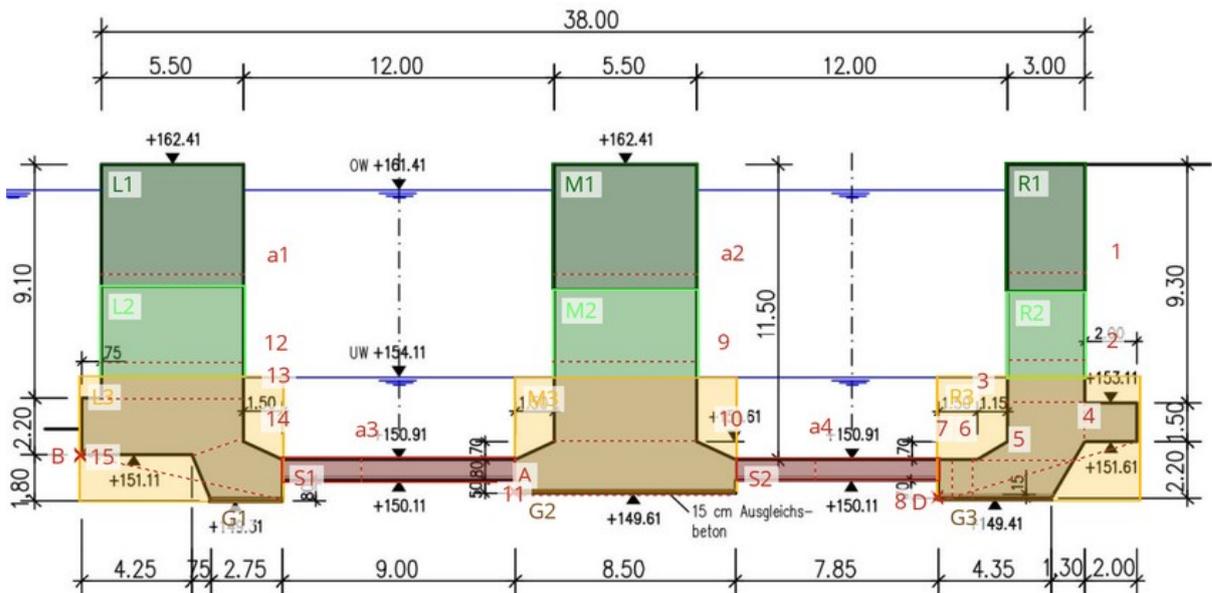


Abbildung 2: Definition der Regelbereiche Schleuse Horkheim

**Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)**

Zur Schleuse Erlangen liegt eine FEM-Berechnung am zweidimensionalen Scheibenmodell nach Bearbeitungsstufe C (Akkermann und Becker 2007), jedoch keine Nachrechnung nach TbW vor. Im Rahmen der Nachrechnung wurden insgesamt 39 Nachweisschnitte (siehe Abbildung 3) auf ihre Biege- und Querkrafttragfähigkeit sowie auf Ermüdung überprüft.

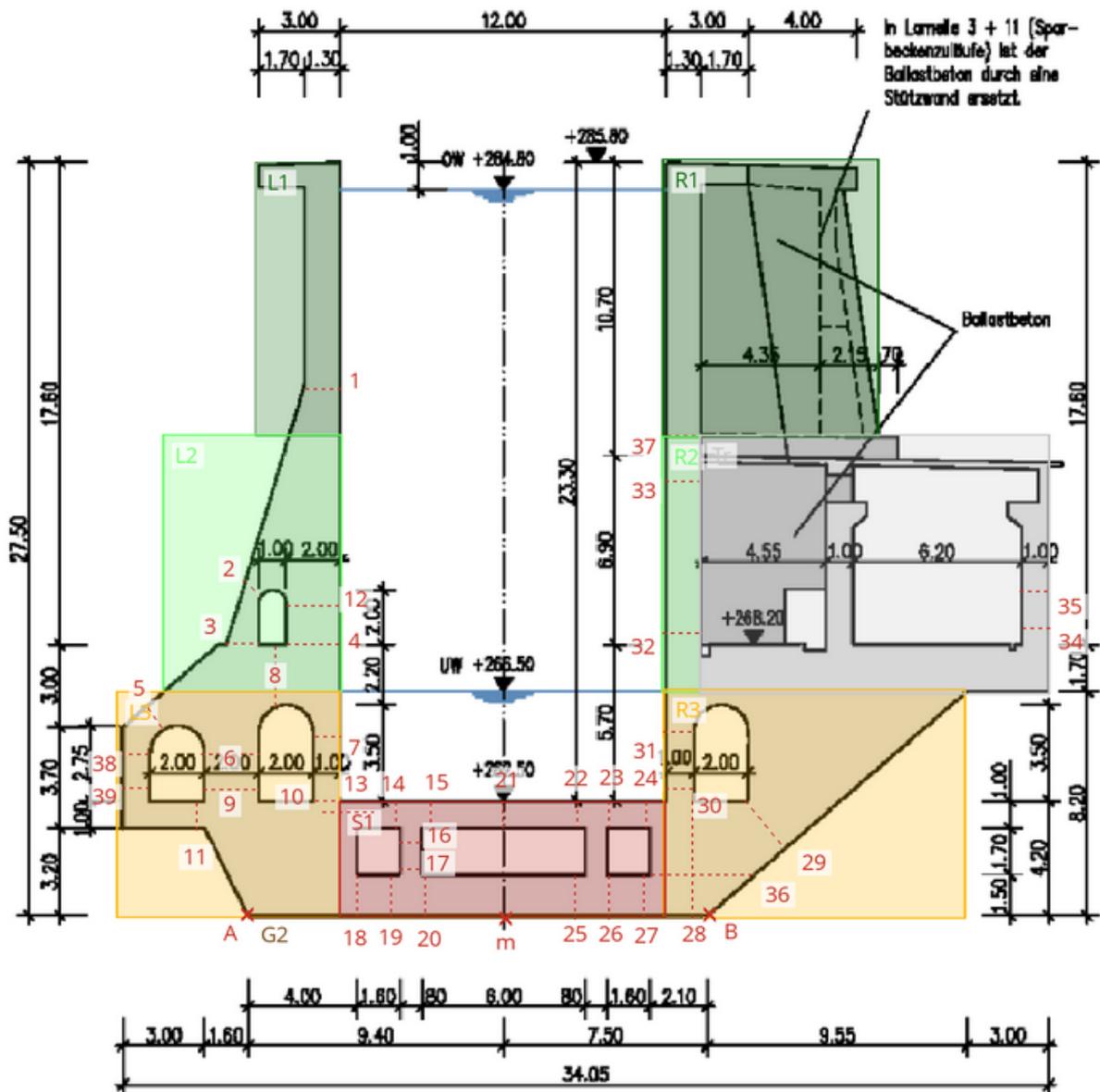


Abbildung 3: Definition der Regelbereiche Schleuse Erlangen und Kriegenbrunn

Die Definition der Regelbereiche orientiert sich an den Bereichen der Schleuse Horkheim. Da es sich bei den Schleusen am Main-Donau-Kanal um Einkammerschleusen handelt, entfallen die Regelbereiche der Mittelwand ( $M1, M2, M3$ ) sowie der zweite Sohlbereich  $S2$ , die Regelbereiche werden hingegen um den Technikbereich  $Tr$  (grau) erweitert.

### Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

Zur Kanalbrücke Bollensen steht eine ausführliche, teils nach TbW geführte Nachrechnung des Bauwerks zur Verfügung. Hierbei wurden sämtliche Nachweise der inneren und äußeren Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit in verschiedenen Querschnittsebenen in Längsrichtung geführt. Die in Abbildung 4 angegebenen Schnitte sind manuell, jedoch in Anlehnung an die Nachweisstellen der Nachrechnung eingefügt.

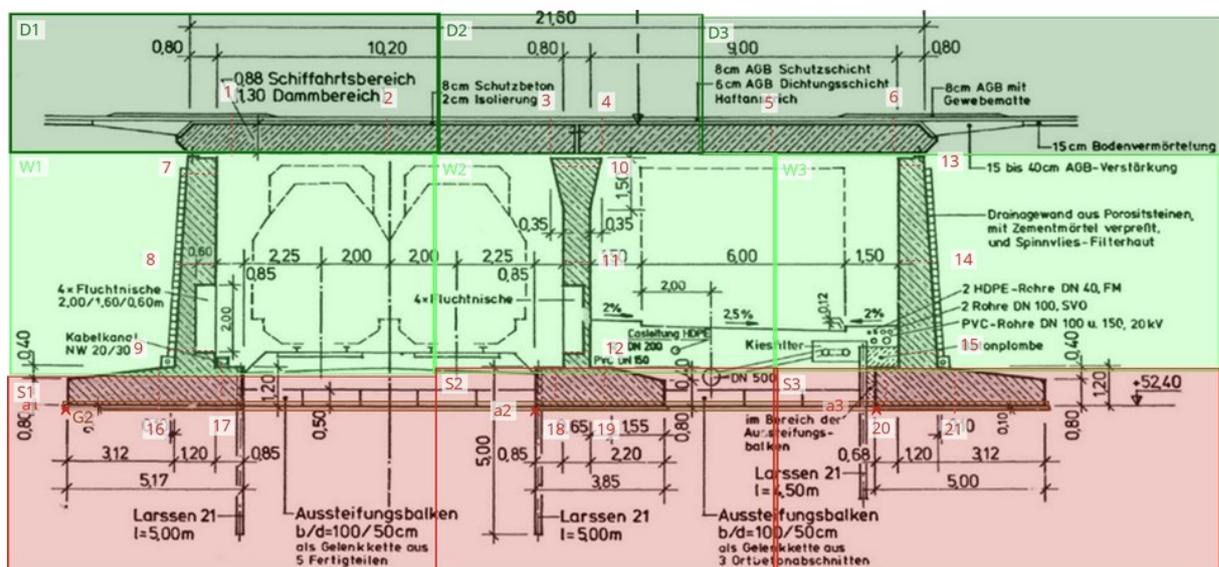


Abbildung 4: Regelbereiche Rahmenquerschnitt Kanalbrücke Bollensen

Allgemein wird der Brückenquerschnitt unterteilt in Deckenbereiche  $D$ , Wandbereiche  $W$ , Sohl- bzw. Fundamentbereiche  $S$ , Portalwände/Flügelwände  $P$  sowie Grundbau  $G$  und Aussteifungsplatten  $A$ . Die Systemgrenzen sind Abbildung 4 und Abbildung 5 zu entnehmen. Verfügt das Bauwerk über Portal- oder Flügelwände sind diese mit einer zusätzlichen Zeichnung darzustellen und als Portalwände  $P$  zu bezeichnen. Anzulegen sind stets die zwei Portalwände mit der nach Nachrechnung stärksten Auslastung. Eine örtliche Höhenlage unterscheidet die Hauptbereiche  $P$  von den Teilbereichen der Portalwand oben  $o$ , mittig  $m$ , und unten  $u$ .

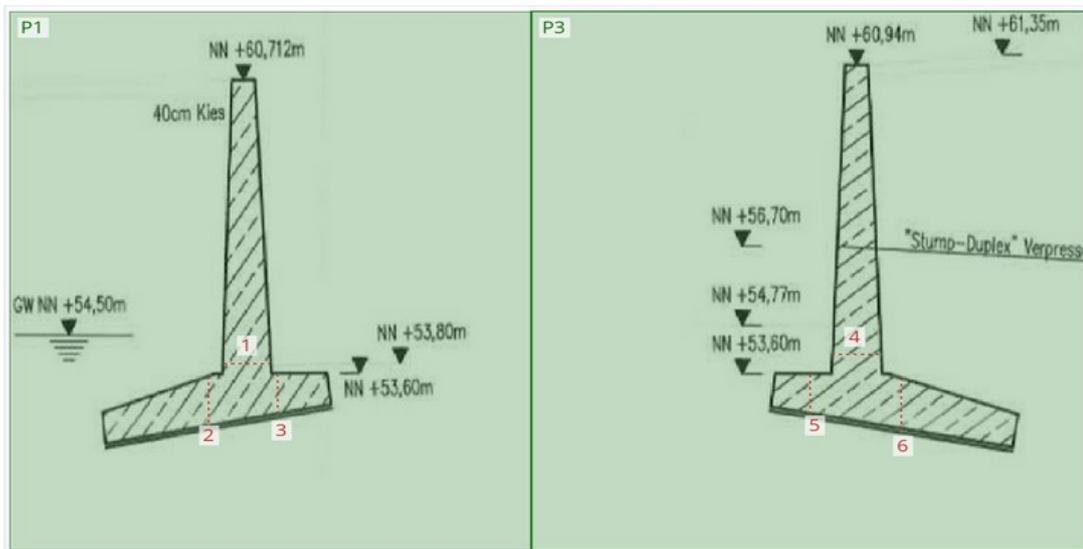


Abbildung 5: Regelbereiche Portalwände (Querschnitt) Kanalbrücke Bollensen

### 4.3 Schritt 3: Teilbereiche konfigurieren

Nach der Initialisierung der Hauptregelbereiche, sind diese wie in Abschnitt 4.2 beschrieben in Teilregelbereiche zu unterteilen. Sie ermöglichen in dem übergeordneten Bereich eine genauere Lokalisierung und Zuordnung der Robustheitskenngrößen, wie auch künftig eine mögliche Eingrenzung bzw. spezifischere Verortung von Bauwerksschäden. In der Regel handelt es sich um die Teilbereiche links, mittig und rechts, die die Lage des Bereichs auf dem Querschnittsbild beschreiben. Mit der Angabe der Blickrichtung des Querschnittes in Schritt 1 ist damit der Ort eindeutig definiert.

Die speziell für Kreuzungsbauwerke eingeführten Teilbereiche oben, mitte, unten sind bei den Hauptbereichen P und W in Abhängigkeit der Höhenlage zu verwenden. Die Abgrenzung der Teilbereiche o/m/u entsprechen jeweils genau einem Drittel der vertikalen Bauwerkshöhe (1/3 Wandhöhe ab UK Decke = o, 1/3 Wandhöhe ab OK Sohle bzw. Fundament = u, 1/3 Wandhöhe zwischen o und u = m).

Die zu den Hauptregelbereichen zugehörigen Teilregelbereiche sind im IT-System bereits implementiert und können unter Basiskonfiguration – Hauptregelbereiche nachgelesen werden. Damit besteht die Aufgabe im Initialisierungsschritt 3 nur noch in der Zuordnung der Nachweisschnitte / -punkte zu den einzelnen Teilregelbereichen. Konkret ist die Anzahl der Schnitte oder Punkte je Teilregelbereich je Hauptregelbereich anzugeben, wobei nur Teilregelbereiche mit Eintragungen generiert werden. Je Hauptregelbereich sollte mindestens ein Schnitt oder Punkt angegeben werden, woraus folgt, dass mindestens ein Teilregelbereich je Hauptregelbereich existieren sollte.

#### 4.4 Schritt 4: Schnitte konfigurieren

Im letzten Initialisierungsschritt, Schritt Nr. 4, werden schlussendlich die in der Nachrechnung bzw. überprüften Bestandsstatik nachgewiesenen Schnitte oder Punkte in die Querschnittsbilder eingetragen. Hierzu werden vom IT-System die einzelnen Teilregelbereiche mit jeweiligem Querschnittsbild mit eingetragenem Bereich in einer definierten Reihenfolge untereinander gereiht. Der Nutzer kann mit der Maustaste für die Schnitte eine Linie aufziehen oder unter Aktion auf Punkt zeichnen umstellen um einen Punkt zu zeichnen. Die Linie und der Punkt werden automatisch beschriftet, wobei die Lage der Beschriftung über die Aktion Text verschieben änderbar ist. Über die Auswahl einer Richtung kann die gezeichnete Linie vertikal gespiegelt werden. Die Bezeichnung wird unter Bez. Automatisch generiert, kann aber geändert werden. Die Schnitte und Punkte sollten äquivalent zur Nachrechnung bzw. überprüften Bestandsstatik bezeichnet werden. Ist dies nicht möglich oder nicht sinnvoll sollten die Umbenennungen später in der Berechnungstabelle als Zeilenkommentar hinterlegt werden. Die Werte *Text links [%]* und *Text unten [%]* sind rein informativ. Die Werte *linker Wert [%]*, *Breite [%]*, *unterer Wert [%]* und *Höhe [%]* dienen zur Feinjustierung der Darstellung.

Nach Eintragung aller Schnitte bzw. Punkte kann die Initialisierung abgeschlossen werden. Dabei ist zu beachten, dass solange keine Eintragung in der Berechnungstabelle vorgenommen wird, die Initialisierung noch geändert werden kann. Danach ist das nicht mehr möglich, da eine Änderung in der Initialisierung sich auf die Berechnung auswirken würde.

## 5 Berechnung

### 5.1 Robustheitskriterium 1 (RK1) Auslastungsgrad

*Das Robustheitskriterium dient zur Bewertung der systemimmanenten Last- und Widerstandsreserven ( $\triangleq$  systemabhängigen Tragreserven) im betrachteten Bemessungs- bzw. Nachweisschnitt. Jedem Regelschnitt sind die maximal maßgebenden Auslastungsgrade nach den normativen Nachweisen i.V.m. dem BAW-Merkblatt "TbW" zuzuordnen. Das Kriterium dient als grundlegende Basis für das weitere Bewertungsverfahren zur Ermittlung der Bauwerksrobustheit je Regelschnitt und je Regelbereich.*

Mit dem ersten Robustheitskriterium werden die maximalen Auslastungsgrade der zum Bauwerk vorliegenden statischen Berechnung verarbeitet und Robustheitsnoten in Abhängigkeit des Nachweises und der örtlichen Lage am Bauwerk generiert. Der Anwender der Systematik trägt nach aktuellem Stand die maßgebenden Nachrechnungsergebnisse der inneren und äußeren Standsicherheit manuell sowie sequentiell in eine Auslastungsmatrix ein. Die Auslastungsmatrix unterscheidet spaltenweise die zu führenden Nachweise, deutlich separiert für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) bzw. im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG). Darüber hinaus sind zu jedem Nachweisschnitt zeilenweise die maximalen Auslastungsgrade in Bezug auf deren Nachweis einzutragen. Die auszufüllenden Nachweise, siehe Tabelle 17, variieren bei Schiffsschleusenanlage und Kreuzungsbauwerk.

Tabelle 17: Zur Verfügung stehende Nachweise

| Hauptgruppe                             | Zwischengruppe            | Untergruppe                  | Nachweis                                    | Abkürzung | Bauwerk     |
|-----------------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|-----------|-------------|
| 1 Auslastungsgrad                       | Innere Standsicherheit    | GZT                          | Nachweis gegen Biegeversagen                | Biege     | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Betondruckversagen           | Druck     | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Schubversagen                | Schub     | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Gleiten in der Arbeitsfuge   | Arbfuge   | Schl        |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Ermüdung                     | Ermü      | Schl        |
|                                         |                           | GZG                          | Begrenzung der Betondruckspannung           | Drucksp   | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Begrenzung der Fugenklaffung                | Fugklaf1  | Schl        |
|                                         |                           |                              | Begrenzung der Betonstahlspannung           | Stahlsp   | Kreuz       |
|                                         | Begrenzung der Rissbreite |                              | Rissbr                                      | Kreuz     |             |
|                                         | Äußere Standsicherheit    | GZT                          | Nachweis der Grundbruchsicherheit           | Grund     | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Nachweis der Lagesicherheit                 | Lage      | Schl, Kreuz |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Gleiten in der Sohlfuge      | Sohlf     | Schl        |
|                                         |                           |                              | Nachweis der Gleitsicherheit (Geo-2)        | Gleiten   | Kreuz       |
|                                         |                           |                              | Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL)           | Aufschw   | Kreuz       |
|                                         |                           |                              | Nachweis der Geländebruchsicherheit (Geo-3) | Gelände   | Kreuz       |
| Nachweis gegen hydraulischer Grundbruch |                           |                              | Hydr                                        | Kreuz     |             |
| GZG                                     |                           | Begrenzung der Fugenklaffung | Fugklaf2                                    | Schl      |             |

Die Berechnung und Angabe der Auslastungsnoten aus Robustheitskriterium 1 (RK1) erfolgt automatisch und selbständig im Hintergrund nach der in Tabelle 18 dargestellten Systematik.

Tabelle 18: Berechnungsregeln für die Auslastungsnote

| Min. Auslastungsgrad | Max. Auslastungsgrad | Min Auslastungsnote | Max Auslastungsnote | Berücksichtigung der Robustheitskriterien bei der Endnote                          |
|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,00                 | 0,00                 | 0                   | 0                   | Durch die Robustheitskriterien kann die <b>Note nicht geändert werden.</b>         |
| 0,01                 | 0,70                 | 1,0                 | 1,0                 | Durch die Robustheitskriterien kann die <b>Note erhöht werden.</b>                 |
| 0,71                 | 0,99                 | 1,0                 | 4,9                 | Durch die Robustheitskriterien kann die <b>Note erhöht oder verringert werden.</b> |
| 1,00                 | 1,09                 | 5,0                 | 5,0                 | Durch die Robustheitskriterien kann die <b>Note verringert werden.</b>             |
| 1,10                 | 9,99                 | 5,0                 | 5,0                 | Durch die Robustheitskriterien kann die <b>Note nicht geändert werden.</b>         |

Neben der freien Eingabe der numerischen Auslastungsgrade stehen dem Anwender definierte feste Werte von Auslastungsnoten zur Verfügung, um verschiedene Sonderfälle zu berücksichtigen. Diese sind der Tabelle 19 zu entnehmen und werden im Folgenden allgemein und anhand von Eingabebeispielen erläutert. Im IT-System sind die Werte in der Basiskonfiguration – Auslastungsberechnungen (Auswahl) hinterlegt.

Tabelle 19: Zur Verfügung stehende feste Werte für Auslastungsnoten

| Auslastung                  | -   | Annahme | n.a. | überlastet |
|-----------------------------|-----|---------|------|------------|
| Auslastungsnote (Note RK 1) | 0,0 | 1,0     | 3,0  | 5,0        |

Solange keine Eingaben getätigt wurden, ist in jedem Eingabefeld standardisiert keine Auslastung (-) eingetragen, die Auslastungsnote des 1. Robustheitskriteriums bleibt zunächst neutral (Note RK1 = 0).

Liegt eine ausführliche, statische Nachrechnung eines Bauwerks nach Merkblatt "TbW" vor, einzelne Nachweise je Regelschnitt jedoch aus ingenieurmäßigen Überlegungen nicht überprüft oder fallen die Auslastungsgrade so gering aus, dass diese an nicht maßgebenden Stellen nicht explizit ausgewiesen werden, so kann diesem Nachweis an dem entsprechenden Schnitt mit dem Wert Annahme die bestmögliche Auslastungsnote von 1,0 zugeteilt werden. Angrenzende Bereiche und Schnitte sind hierbei auf deren Auslastungsgrad hin zu betrachten und auf Tendenzen zu untersuchen, um mögliche Defizite nicht zu vernachlässigen. Eine Auslastungsnote von 1,0 entspricht nach aktuellem Stand der Forschung einer statischen Auslastung  $\leq 80$  Prozent.

Fehlen bei einer statischen Nachrechnung Nachweise des gesamten Bauwerks bzw. eines großen Teiles (z.B. gesamte Kammerwand) davon oder liegt eine unvollständige, stark lückenhafte Nachrechnung nach TbW vor, so ist der jeweilige Regelschnitt mit der Angabe *n.a.* zu versehen. Für diesen Fall wird für den Nachweisschnitt automatisch eine Auslastungsnote von 3,0 generiert. Diese Note entspricht der Annahme eines normativ nachgewiesenen Querschnitts, eine genaue Nachrechnung kann zu einem späteren Zeitpunkt die jeweiligen Noten anheben und die rechnerische Bauwerksrobustheit verbessern.

Sowohl bei einer Überschreitung einer maximalen, definierten Auslastung (aktueller Stand: Auslastung  $>1,10$ , siehe Basiskonfiguration – Auslastungsberechnungen (freie Eingabe)) als auch bei der begrifflichen Eingabe *überlastet* wird in der Systematik unmittelbar eine fette 5,0 ausgegeben und demnach eine weitere Modifikation der Auslastungsnote aus RK1 ausgeschlossen. Die Eingabe *überlastet* erfolgt sobald in der statischen Berechnung bzw. in der Bauwerksnachrechnung keine genauen Angaben zu dem jeweiligen überschrittenen Auslastungsgrad angegeben sind, die Nachweise aber deutlich überlastet bzw. nicht erbracht oder eingehalten werden können.

Direkt nach getätigter Eingabe aller maximalen Auslastungsgrade je Schnitt und je Nachweis berechnet das System die verschiedenen Noten automatisch und gibt diese am Ende der Matrix je Spalte und je Zeile aus. Die Ergebnisausgabe der Zeile unterscheiden zusätzlich die zwei Untersuchungskategorien der Tragfähigkeit (T) sowie der Gebrauchstauglichkeit (G), als zusätzliche Information dient die spaltenweise Angabe einer ermittelten Durchschnitts- und Maximalnote je Regelschnitt. Maßgebend für die weitere Berechnung der Bauwerksrobustheit sind die Maximalnoten je Regelschnitt. Die Maximalnoten je Regelschnitt werden jeweils separiert, sowohl für die maximale Robustheitsnote RK1 der Tragfähigkeit (T) als auch für die maximale Robustheitsnote RK1 der Gebrauchstauglichkeit (G), ausgegeben.

Am Ende der Auslastungsmatrix wird weiterführend die Anzahl der kritischen Nachweise je Regelschnitt (zeilenweise) gesondert angegeben und ausgewertet. Durch diese Angabe entstehen zusätzliche Kennwerte mit weiterführenden Informationen zur Bauwerksrobustheit. Es gilt: Je höher die Anzahl an kritischen Auslastungen und zugehörigen Nachweisen, desto geringer ist die Bauwerksrobustheit in dem jeweiligen Regelschnitt anzusehen. Durch die Ausgabe der

verschiedenen Noten wird der Zusammenhang zwischen Gesamtsystem und den verschiedenen Einflüssen auf die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks ersichtlich. Die Auslastungsmatrix ermöglicht einen ersten Überblick über mögliche Lastreserven auf Querschnittsebene und zur Identifikation von kritischen sowie unkritischen Regelschnitten. Die genauen Berechnungsregeln der Auslastungsnoten und Anzahl kritischer Nachweise ist Tabelle 20 zu entnehmen.

*Tabelle 20: Berechnungsregeln für die aggregierten Kennzahl der Auslastungsmatrix*

| <b>Bezeichnung</b> | <b>Berechnungsregel</b>                                         |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Max. Note (T)      | Maximum der Auslastungsnoten der GZT-Nachweise je Schnitt/Punkt |
| Max. Note (G)      | Maximum der Auslastungsnoten der GZG-Nachweise je Schnitt/Punkt |
| Max. Note          | Maximum der Auslastungsnoten aller Nachweise je Schnitt/Punkt   |
| Anz. krit. NW      | Anzahl an Auslastungsnoten mit einer 5,0 je Schnitt/Punkt       |

Für den weiteren Ablauf zur gesamten Bewertung der Bauwerksrobustheit wird die Matrix um die zusätzlichen Robustheitskriterien und deren Unterkriterien sukzessiv erweitert, die ermittelten Noten aus den Auslastungsgraden je Schnitt dienen hierbei als grundlegenden Ausgangspunkt für die weiteren Bewertungen und Berechnungen. Aufgrund der überwiegend tragfähigkeitsrelevanten Robustheitskriterien RK2 – RK5 werden sämtliche Unterkriterien auf die max. resultierende Robustheitsnote RK1 der Tragfähigkeit (T) angerechnet, während die Robustheitskennwerte der max. Robustheitsnote RK1 der Gebrauchstauglichkeit (G) vollständig und unverändert bis an das Ende der Robustheitsermittlung beibehalten werden und sich folglich keine weiteren Robustheitskriterien auf diese Größen auswirken.

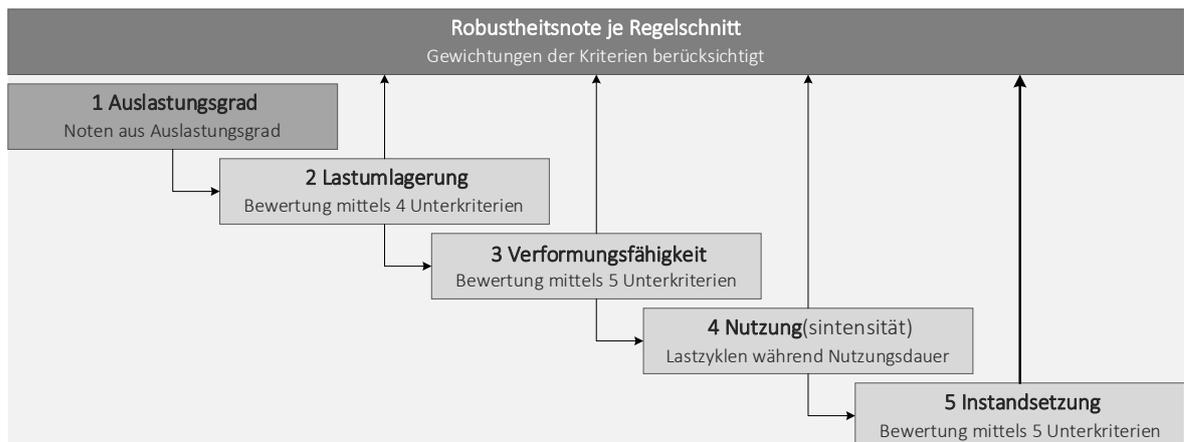


Abbildung 6: Robustheitsnote je Regelschnitt

Abschließend zu diesem Kapitel erfolgt ein Beispiel, um die Systematik zur Eingabe der Auslastungsgrade praxisnah an dem ausgewählten Bauwerk der Schleuse Horkheim zu verdeutlichen.

### Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Zur Schleuse Horkheim liegt eine allumfassende TbW-Nachrechnung vor. Mit Hilfe dieser wird in der Dokumentation die Ermittlung der maßgebenden Auslastungsgrade am Nachweisschnitt 3 der landseitigen Kammerwand (rechte Kammerwand in der Querschnittszeichnung) genauer erläutert. Sukzessive wird die Auslastungsmatrix anhand der Berechnungsergebnisse befüllt.

Für den Nachweisschnitt 3 im unteren Regelbereich R3 (Teilbereich m) wurde kein **Biegenachweis** geführt. Da aber alle anderen Nachweise der inneren Standsicherheit vollständig überprüft wurden und Berechnungsergebnisse gewissenhaft vorliegen, kann für den Nachweis der Biegung angenommen werden, dass dieser in der Stelle nicht maßgebend sein wird. Folglich wird hier die Angabe einer **Annahme** eingefügt und die nachweisbezogene Auslastungsnote automatisch auf **1,0** gesetzt. Der Nachweis des **Betondruckversagens** wurde für unterschiedliche Einwirkungskombinationen und Bemessungssituationen berechnet, der maximale Auslastungsgrad liegt hier bei **0,03** (Tabelle 21, Zeile Nr.: 14/15). Der nachfolgende **Querkraftnachweis** hat im GZT, unter Einwirkungskombination 1 und in der ständigen Bemessungssituation einen maximalen, in die Auslastungsmatrix einzutragenden Auslastungsgrad von **0,37**. Der Nachweis zum **Gleiten in der Arbeitsfuge** ist mit einem Auslastungsgrad von **1,62** (Maximalwert von 1,37/1,57/1,62) der am höchsten ausgereizten Nachweis in diesem Teilbereich und überschreitet deutlich eine für die Bauwerksrobustheit tolerierbare Auslastungsgrenze. An dieser Stelle wird automatisch die maximal schlechteste Auslastungsnote (hier: Auslastungsnote 5,0) zugeteilt.

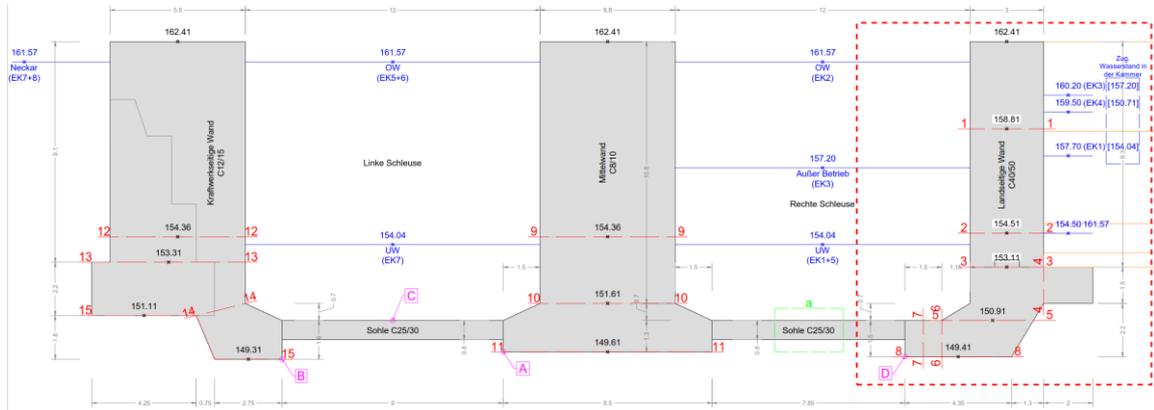
Der letzte einzutragende Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit liefert einen Auslastungsgrad von **0,24** und überprüft den Nachweisschnitt 3 auf dessen **Ermüdungsversagens (FAT)** der Querkraft. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist der Nachweis der **Betondruckspannungen** mit einem Auslastungsgrad von **0,01** sehr gering, der Nachweis der **Fugenklaffung** ist mit **0,50** an die jeweilige Stelle in der Systematik einzutragen.

Für sämtliche nachgerechneten Schnitte erfolgt die Eingabe der Auslastungsgrade analog zu dem obigen Beispielschnitt 3. Falls mehrere Ergebnisse zu einem Nachweis vorliegen, so gilt es den Maximalwert zu detektieren und in die Systematik zu übertragen.

Ergänzend erfolgt für die Regelbereiche S1 und S2 die Systemeingabe *n.a.* für **vollständige Abschnitte**, zu denen keine statischen Ergebnisse vorliegen und zu denen keine weitere quantitative Aussage getroffen werden kann.

Im direkten Vergleich hierzu erhalten Schnitte, zu denen zwar ebenfalls keine vollständigen Auslastungsgrade oder Nachweisführungen vorliegen, jedoch aufgrund ihrer Lage und angrenzender Ergebnisse eine Aussage getroffen werden kann, eine quantitative Beurteilung in Orientierung an die benachbarten Bereiche. Dieser Konstellation lässt sich an den eingeführten Annahmeschnitten a1 (Regelbereich L1) und a2 (Regelbereich M1) genauer darstellen. Beide Schnitte befinden sich, wie auch Schnitt 1, im oberen Bereich der Kammerwand und wurden ergänzend eingefügt, um auch hier Robustheitskennwerte mit der tatsächlichen Bauwerksschädigung lokal zu vergleichen. Da hier die direkt angrenzenden Bereiche (L2 und M2) und die darin enthaltenen Schnitte nahezu konsistent eine geringe Auslastung aufweisen, werden auch für die **Annahmeschnitte** analoge **Annahmen** getroffen. Dies entspricht überwiegend einer Auslastungsnote von 1,0 mit Ausnahme des **Querkraftnachweises** von Nachweisschnitt 9. Hier liegt die Auslastung bei **0,96**.

Tabelle 21: Ausschnitt Ergebniszusammenstellung TbW-Nachrechnung Schleuse Horkheim



Bauwerk: Schleuse Horkheim  
Baujahr: 1951 + 1960  
Bauteil: Landseitige Wand (Kammer)

| Nr.: | Schnitt / Bereich / Punkt | Einwirkungskombination (EK) | Grenzzustand | Bemessungssituation | Nachweisart          | Auslastungsgrad (μ) | Bemerkungen / Abweichungen / Besonderheiten                                                                                                |
|------|---------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 1                         | 1, 3                        | GZT          | BS-P                | Betondruckversagen   | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 2    | 1                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Betondruckversagen   | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 3    | 2                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen        | 0,81                |                                                                                                                                            |
| 4    | 2                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen (FAT)  | 0,57                |                                                                                                                                            |
| 5    | 2                         | 3                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen        | 0,62                |                                                                                                                                            |
| 6    | 2                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Schubversagen        | 0,64                |                                                                                                                                            |
| 7    | 3                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Betondruckversagen   | 0,02                |                                                                                                                                            |
| 8    | 3                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen        | 0,37                |                                                                                                                                            |
| 9    | 3                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen (FAT)  | 0,24                |                                                                                                                                            |
| 10   | 3                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Gleiten in AF        | 1,37                | Ohne Berücksichtigung der vorhandenen Bewehrung                                                                                            |
| 11   | 3                         | 3                           | GZT          | BS-P                | Gleiten in AF        | 1,62                | Ohne Berücksichtigung der vorhandenen Bewehrung                                                                                            |
| 12   | 3                         | 1, 3                        | GZG          | selten              | Betondruckspannungen | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 13   | 3                         | 1, 3                        | GZG          | quasi-ständig       | Fugenklaffung        | 0,50                |                                                                                                                                            |
| 14   | 3                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Betondruckversagen   | 0,03                |                                                                                                                                            |
| 15   | 3                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Betondruckversagen   | 0,03                |                                                                                                                                            |
| 16   | 3                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Gleiten in AF        | 1,57                | Ohne Berücksichtigung der vorhandenen Bewehrung                                                                                            |
| 17   | 3                         | 4                           | GZG          | selten              | Betondruckspannungen | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 18   | 3                         | 4                           | GZG          | quasi-ständig       | Fugenklaffung        | 0,50                |                                                                                                                                            |
| 19   | 4                         | 1, 3                        | GZT          | BS-P                | Biegung              | 0,71                |                                                                                                                                            |
| 20   | 4                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Biegung              | 0,69                |                                                                                                                                            |
| 21   | 5                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Betondruckversagen   | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 22   | 5                         | 3                           | GZT          | BS-P                | Betondruckversagen   | 0,02                |                                                                                                                                            |
| 23   | 5                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Betondruckversagen   | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 24   | 5                         | 1, 3                        | GZG          | selten              | Betondruckspannungen | 0,01                |                                                                                                                                            |
| 25   | 5                         | 1                           | GZG          | quasi-ständig       | Fugenklaffung        | 0,50                |                                                                                                                                            |
| 26   | 5                         | 3                           | GZG          | quasi-ständig       | Fugenklaffung        | 0,57                |                                                                                                                                            |
| 27   | 5                         | 4                           | GZG          | quasi-ständig       | Fugenklaffung        | 0,50                |                                                                                                                                            |
| 28   | 6                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Biegung              | 0,37                |                                                                                                                                            |
| 29   | 6                         | 3                           | GZT          | BS-P                | Biegung              | 0,79                |                                                                                                                                            |
| 30   | 6                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Biegung              | 0,50                |                                                                                                                                            |
| 31   | 7                         | 1                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen        | 0,88                |                                                                                                                                            |
| 32   | 7                         | 3                           | GZT          | BS-P                | Schubversagen        | 1,72                | Aufgrund der gedregenen Form des Fußsporns und der vorhandenen Bewehrung ist mit einem Versagen des Bauteils nicht zu rechnen. (D-Bereich) |
| 33   | 7                         | 4                           | GZT          | BS-T                | Schubversagen        | 1,07                | Aufgrund der gedregenen Form des Fußsporns und der vorhandenen Bewehrung ist mit einem Versagen des Bauteils nicht zu rechnen. (D-Bereich) |
| 34   | 8                         | 1                           | GZT (EC7)    | BS-P                | Grundbruch (GEO2)    | 0,19                | Der Nachweis ohne Ansatz der Sohplatte nicht erfüllt. (Annahme: Horizontaler Lastabtrag bis zu 50% über die Sohplatte.)                    |
| 35   | 8                         | 1                           | GZT (EC7)    | BS-P                | Gleiten (GEO2)       | 0,56                | Der Nachweis ohne Ansatz der Sohplatte nicht erfüllt. (Annahme: Horizontaler Lastabtrag bis zu 50% über die Sohplatte.)                    |
| 36   | 8                         | 1                           | GZT (EC7)    | BS-P                | Gleiten (GEO2)       | 0,64                | Der Nachweis ohne Ansatz der Sohplatte nicht erfüllt. (Annahme: Horizontaler Lastabtrag bis zu 50% über die Sohplatte.)                    |
| 37   | 8                         | 1                           | GZT (EC7)    | BS-T                | Gleiten (GEO2)       | 0,61                | Der Nachweis ohne Ansatz der Sohplatte nicht erfüllt. (Annahme: Horizontaler Lastabtrag bis zu 50% über die Sohplatte.)                    |
| 38   | D                         | 1                           | GZT (EC7)    | BS-P                | Kippen (EQU)         | 0,79                |                                                                                                                                            |
| 39   | D                         | 3                           | GZT (EC7)    | BS-P                | Kippen (EQU)         | 0,98                |                                                                                                                                            |
| 40   | D                         | 4                           | GZT (EC7)    | BS-T                | Kippen (EQU)         | 0,82                |                                                                                                                                            |
| 41   | 8                         | 1                           | GZG (EC7)    | selten              | Fugenklaffung        | 0,53                |                                                                                                                                            |
| 42   | 8                         | 3                           | GZG (EC7)    | selten              | Fugenklaffung        | 0,75                |                                                                                                                                            |
| 43   | 8                         | 4                           | GZG (EC7)    | selten              | Fugenklaffung        | 0,63                |                                                                                                                                            |
| ...  |                           |                             |              |                     |                      |                     |                                                                                                                                            |

LEGENDE DER WICHTIGSTEN ABKÜRZUNGEN

|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| GZT       | Grenzzustand der Tragfähigkeit                             |
| GZG       | Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit                     |
| GZT (EC7) | Grenzzustand der Tragfähigkeit für geotechnische Nachweise |
| GZG (EC7) | Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit                     |
| BS-P      | Ständige Bemessungssituation                               |
| BS-T      | Vorübergehende Bemessungssituation                         |
| BS-A      | Außergewöhnliche Bemessungssituation                       |
| BS-E      | Bemessungssituation bei Erdbeben                           |
| FAT       | Ermüdungsversagen                                          |

(Landseitige Kammerwand, rechts) [BAW, Referat Massivbau, Abteilung Bautechnik]

2: Auslastungsmatrix Schleuse Horkheim

| Spalten        |                    | Robustheitskriterium Auslastung |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        | Weitere Robustheitskriterien |           |               |               | Ergebnis  |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
|----------------|--------------------|---------------------------------|--------|--------|-----------|-------|----------|-----------|--------|-------|--------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|--------|------------------------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|                |                    | Biege.                          | Druck. | Schub. | Arbfrage. | Ermü. | Drucksp. | Fugklaf1. | Grund. | Lage. | Sohlf. | Fugklaf2. | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
| Schnittbereich | 1. Auslastungsgrad | Innen                           |        |        |           |       |          |           |        | Außen |        |           |               |               |           |               |        | GZG                          | Fugklaf2. | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW |           |     |     |     |     |     |     |   |
|                |                    | Biege.                          | Druck. | Schub. | Arbfrage. | Ermü. | Drucksp. | Fugklaf1. | Grund. | Lage. | Sohlf. | Fugklaf2. | Drucksp.      | Fugklaf1.     | Grund.    | Lage.         | Sohlf. |                              |           |               |               |           |               | Fugklaf2. |     |     |     |     |     |     |   |
| L1 m a1        |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 0   | 1.0 | 1.0 | 0   |     |   |
| L2 m 12        |                    | 1.0                             | 1.0    | 0.43   | 1.0       | 0.17  | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0   |   |
| L3 113         |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 0.04   | 1.0       | 0.65          | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0   |   |
| L3 m 14        |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 0.13   | 1.0       | 0.50          | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1   |   |
| M1 m a2        |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0   |   |
| M2 m 9         |                    | 1.0                             | 1.0    | 0.96   | 4.5       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 0.23  | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 4.5 | 0 |
| M3 m 10        |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 0.09   | 1.0       | 1.24          | 5.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3   |   |
| R1 m 1         |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0   |   |
| R2 m 2         |                    | 1.0                             | 1.0    | 0.81   | 1.0       | 0.57  | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.4 | 0 |
| R3 17          |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.72   | 5.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5.0 | 1 |
| R3 16          |                    | 0.79                            | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.1 | 0 |
| R3 m 3         |                    | 1.0                             | 1.0    | 0.37   | 1.0       | 0.24  | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 0.01   | 1.0       | 0.50          | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5.0 | 1 |
| R3 m 5         |                    | 1.0                             | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 0.01   | 1.0       | 0.57          | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 |
| R3 r 4         |                    | 0.71                            | 1.0    | 1.0    | 1.0       | 1.0   | 1.0      | 1.0       | 1.0    | 1.0   | 1.0    | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0    | 1.0                          | 1.0       | 1.0           | 1.0           | 1.0       | 1.0           | 1.0       | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 |
| S1 m a3        |                    | 3.0                             | 3.0    | 3.0    | 3.0       | 3.0   | 3.0      | 3.0       | 3.0    | 3.0   | 3.0    | 3.0       | 3.0           | 3.0           | 3.0       | 3.0           | 3.0    | 3.0                          | 3.0       | 3.0           | 3.0           | 3.0       | 3.0           | 3.0       | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 0 |
| S2 m a4        |                    | 3.0                             | 3.0    | 3.0    | 3.0       | 3.0   | 3.0      | 3.0       | 3.0    | 3.0   | 3.0    | 3.0       | 3.0           | 3.0           | 3.0       | 3.0           | 3.0    | 3.0                          | 3.0       | 3.0           | 3.0           | 3.0       | 3.0           | 3.0       | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 0 |
| G1 m B         |                    |                                 |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
| G1 m 15        |                    |                                 |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
| G2 m A         |                    |                                 |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
| G2 m 11        |                    |                                 |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |
| G3 m D         |                    |                                 |        |        |           |       |          |           |        |       |        |           |               |               |           |               |        |                              |           |               |               |           |               |           |     |     |     |     |     |     |   |

## 5.2 Robustheitskriterium 2-5 (RK2-RK5) (weitere Robustheitskriterien)

Die definierten Robustheitskriterien 2- 5, auch als weitere Robustheitskriterien bezeichnet, sind Tabelle 23 zu entnehmen. Dort sind auch die Gewichtung und die Darstellung der Symbols zur Auswahl des Kriteriums enthalten.

Tabelle 23: Übersicht über die Robustheitskriterien 2 bis 5 (weitere Robustheitskriterien)

| Hauptgruppe            | Zwischengruppe | Kriterium                                                                    | Abkürzung | Gewichtung Schl | Gewichtung Kreuz | Auswahl           |
|------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|------------------|-------------------|
| 2 Lastumlagerung       | Allgemein1     | Kraftflussorientierte Tragwerksgeometrie (K) oder Diskontinuitätsbereich (D) | Kraftfl.  | 0,062           | 0,062            | -: K<br>+: D      |
|                        |                | Innerlich statisch unbestimmt (U) oder statisch bestimmt (B)                 | St. best. | 0,055           | 0,055            | -: U<br>+: B      |
|                        |                | Umlagerung auf Baugrund durch stabilisierende Bettung möglich?               | Baugr.    | 0,033           | 0,033            | -: Ja<br>+: Nein  |
|                        |                | Bewehrung mit elastisch aufnehmbaren Lastreserven vorhanden?                 | Bewehr.   | 0,044           | 0,044            | -: Ja,<br>+: Nein |
| 3 Verformungsfähigkeit | Allgemein2     | Ankündungsverhalten bei Regelbetrieb erkennbar?                              | Ankünd.   | 0,033           | 0,033            | -: Ja,<br>+: Nein |
|                        |                | Rotationsvermögen: gedrungener Querschnitt, Umschnürung Druckzone vorhanden? | Rotat.    | 0,051           | 0,051            | -: Ja,<br>+: Nein |
|                        | Bewehrt        | Duktilitätsklasse der Bewehrung: hochduktil (B) oder keine Zuordnung (-)?    | Duktil.   | 0,018           | 0,018            | -: B<br>+: -      |
|                        |                | Mindest- und Höchstbewehrung eingehalten?                                    | Mind.     | 0,044           | 0,044            | -: Ja,<br>+: Nein |
|                        | Unbewehrt      | Mindestdruckzone / Lastexzentrizität nach DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04         | Druckz.   | 0,025           | 0,025            | -: Ja,<br>+: Nein |
| 4 Nutzung              | Allgemein3     | max. Nutzungsdauer $\diamond$ planmäßige Nutzungsdauer $\pm$ 5 Jahre         | Nutz.     | 0,018           | 0                | -: +<br>+: -      |
| 5 Instandsetzung       | Allgemein4     | Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit gering (G) (erheblich (E))           | Funkt.    | 0,018           | 0,018            | -: G<br>+: E      |
|                        |                | Wartungsintensive Lager/Fugen am Bauwerk vorhanden?                          | Lag./Fug. | 0               | 0,018            | -: Nein<br>+: Ja  |

### 5.3 Robustheitskriterium 2 (RK2) Lastumlagerung

*Die Ausbildung alternativer Lastpfade oder mögliche Lastpfadwechsel, resultierend aus Umlagerungs- und Umverteilungspotenzial des Tragsystems, werden anhand von vier Unterkriterien untersucht. Die Bewertung berücksichtigt primär die zusätzliche Redundanz auf Strukturebene und somit das Vorhandensein mehrerer unabhängigen Optionen für den Lastabtrag.*

Die Lastumlagerungsmatrix erweitert die Auslastungsmatrix um vier weitere Parameter, deren Eigenschaften und Gewichtungen unabhängig voneinander berücksichtigt werden können. Mit diesem Kriterium wird anhand von vier Unterkriterien die Ausbildung alternativer Lastpfade, mögliche Lastpfadwechsel und etwaiges Umlagerungs- sowie Umverteilungsvermögen innerhalb des Bauwerks untersucht. Die Auslastungsnoten bilden hierbei die Ausgangsbasis zur weiteren Ermittlung der Robustheitsnoten je Regelschnitt.

#### 5.3.1 Unterkriterium UK 2.1 – Kraftfl. (Kraftfluss)

*Es wird zwischen einer kontinuierlichen, kraftflussorientierten Tragwerksgeometrie mit **minimaler Formänderungsenergie** und einer Tragwerksform mit **geometrischen Diskontinuitätsbereichen** unterschieden, die durch **Richtungsänderung der Lastpfade bzw. der internen Systemlinien** zusätzliche Umlenkkräfte als auch Spannungen (Spannungsspitzen) in der Konstruktion erzeugen. Beispielsweise eine geeignete Eckausbildung (Eckausrundung) oder eine Voutung von Bauteilen beeinflussen günstig eine Konstruktion und deren Tragverhalten.*

Mit dem ersten Subkriterium erfolgt die Bewertung der Tragwerksgeometrie sowie deren Auswirkung auf den inneren Kraftfluss. Eine kontinuierliche, kraftflussorientierte Tragwerksform zeichnet sich durch einen Lastabtrag mit minimaler Formänderungsenergie aus, also folglich durch Bereiche, die keine signifikanten Richtungsänderungen der internen Lastpfade bzw. der internen Systemlinien aufweisen. Dem entgegen können Regelschnitte in statischen sowie geometrischen Diskontinuitätsbereichen liegen, in denen hohe Spannungen als Folge von Richtungsänderungen entstehen können, die optimalerweise durch eine ausreichende Bewehrung innerhalb des Tragwerks aufgenommen werden können. In der Systematik wirkt sich eine kraftflussorientierte Form (**K**) günstig auf die Robustheitsnote je Regelschnitt aus, führt also zu einer Verbesserung der Note um den Faktor von 0,1 x Gewichtsgröße. Vorhandene Diskontinuitätsbereiche wiederum werden in der Tabelle mit (**D**) gekennzeichnet, mindern die Robustheit und verschlechtern die Bewertungsnote um 0,1 x Gewichtsgröße.

Die Bewertung dieses Unterkriteriums kann mit Hilfe nachfolgender Bewertungshilfe und Gegenüberstellungen durchgeführt werden. Im Wesentlichen kann hier die Abbildung 7 zur Orientierung herangezogen werden, in der verschiedene Beispiele für geometrische, statische und kombinierte Diskontinuitäten bildlich dargestellt sind.

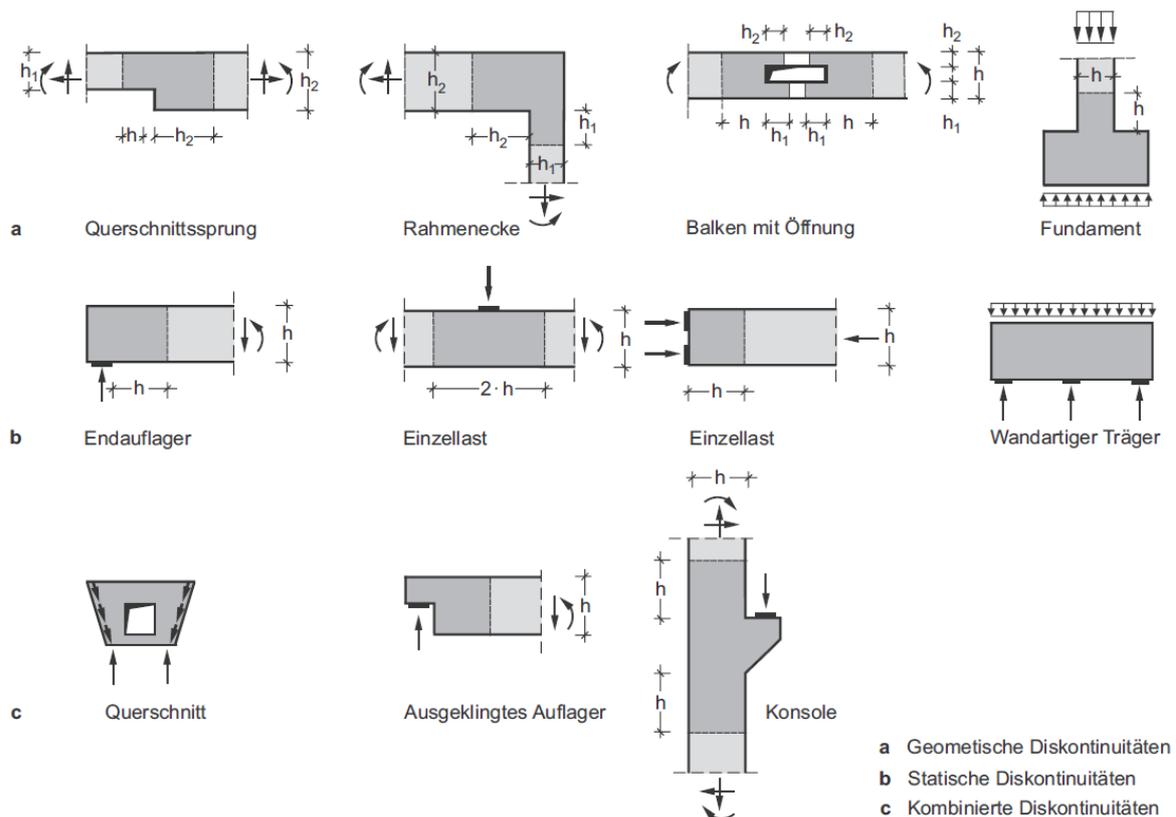


Abbildung 7: Diskontinuitätsbereiche in Tragwerken (Zilch und Zehetmaier)

Befindet sich ein Nachweisschnitt in einem solchen, dunkel eingefärbten Diskontinuitätsbereich so wird die Robustheit des Bauwerks an dieser Stelle abgemindert und in der Systematik ein Abschlag von 0,1 x Gewichtung angegeben.

Als weiteres Merkmal zur Überprüfung einer kraftflussorientierten Querschnittsgeometrie dient das geometrische Verhältnis  $L/H$  ( $L$  = Länge Systemlinie/Querschnitt,  $H$  = Höhe/Breite Querschnitt) als Anhaltswert für einen gestörten bzw. ungestörten Kraftfluss (Abbildung 2 10). Bei einem Verhältnis zwischen Länge zu Höhe von  $L/H \leq 2,0$  befindet sich die Konstruktion abschnittsweise in einem deutlichen Diskontinuitätsbereich, ab einer Relation  $L/H \geq 2,0$  liegt ein ungestörter Querschnittsbereich vor.

Abschließend erfolgt eine direkte Aufstellung der wichtigen Merkmale als Checkliste/Bewertungshilfe zur Beurteilung des Unterkriteriums UK 2.1.

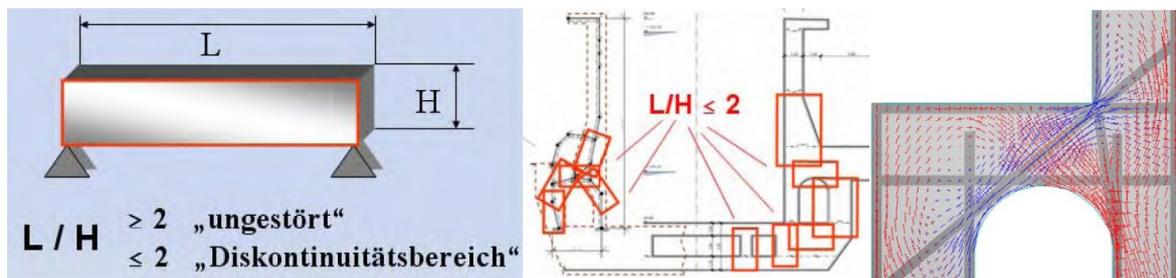


Abbildung 8: Diskontinuitätsbereiche, Definition und Auftreten am Kammerquerschnitt (Ehmann et al. 2007) und Darstellung Hauptzug (blau) bzw. -drucktrajektorien (rot) (Lutz und Fleischer 2009)

Abbildung 9: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.1 - Tragwerksgeometrie

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br>Robuste Eigenschaften → Verbesserung                                         | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung                                                   |
| Kraftflussorientierte Tragwerksgeometrie (K)<br><br><input type="checkbox"/> gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie (z.B. Voutung) | Diskontinuitätsbereich (D)<br><br><input type="checkbox"/> Sprünge der Geometrie, Richtungswechsel Systemlinie bzw. Diskontinuitätsbereich nach Abbildung 7 |

Trifft mindestens eine (oder mehrere) Aussagen auf der rechten Seite der Tabelle (Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1) zu, so ist die negative Seite maßgebend anzusetzen und folglich die Robustheit abzumindern sowie die Robustheitsnote zu erhöhen/zu verschlechtern.

Auf den anschließenden Seiten sind anhand der Schleuse Horkheim, der Schleuse Erlangen bzw. Kriegenbrunn und der Kanalbrücke Bollensen drei Bewertungsbeispiele aufgeführt. Neben der grafischen Abbildung der inneren Systemlinien erfolgt die zeilenweise Kurzerklärung und Auswertung entsprechend der Abbildung 9. Auch bei den Beispielen gilt es einen Bauwerksbereich negativ zu bewerten, wenn das L/H-Verhältnis zwar >2,0 ist, jedoch die Bauwerksgeometrie un stetig mit Sprüngen ist oder Nachweisschnitte in geometrischen oder statischen Diskontinuitätsbereiche liegen.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

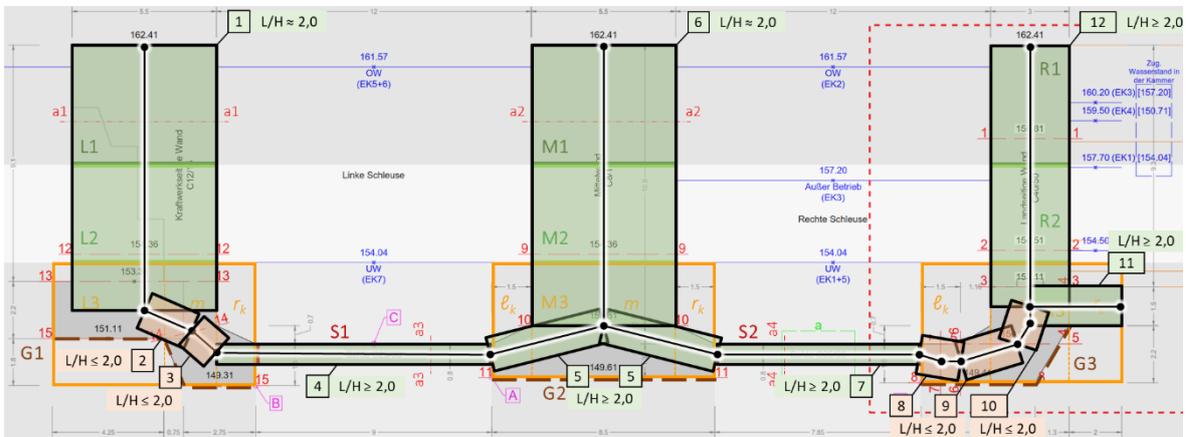


Abbildung 10: Skizze Systemlinien zur Bewertung Tragwerksgeometrie Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |          |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|----------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | Kraftfl. |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| L3 l 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0      |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0               | 0,0      |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| R3 l 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0      |
| R3 l 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,062             | 0,062    |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,062             | 0,062    |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,062             | 0,062    |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,062             | 0,062    |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0               | -0,062   |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                | --       |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                | --       |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                | --       |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                | --       |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                | --       |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                | --       |

| Bewertung | L/H   | Bemerkung                                              |
|-----------|-------|--------------------------------------------------------|
| K         | ≈ 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| K         | ≈ 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| K         | ≈ 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| -         | -     | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| K         | ≈ 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| K         | ≈ 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| -         | -     | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| K         | > 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| K         | > 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| -         | -     | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D         | < 2,0 | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| D         | -     | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| D         | < 2,0 | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| D         | -     | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| K         | > 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| K         | > 2,0 | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 24: Bewertungsmatrix (links) und Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

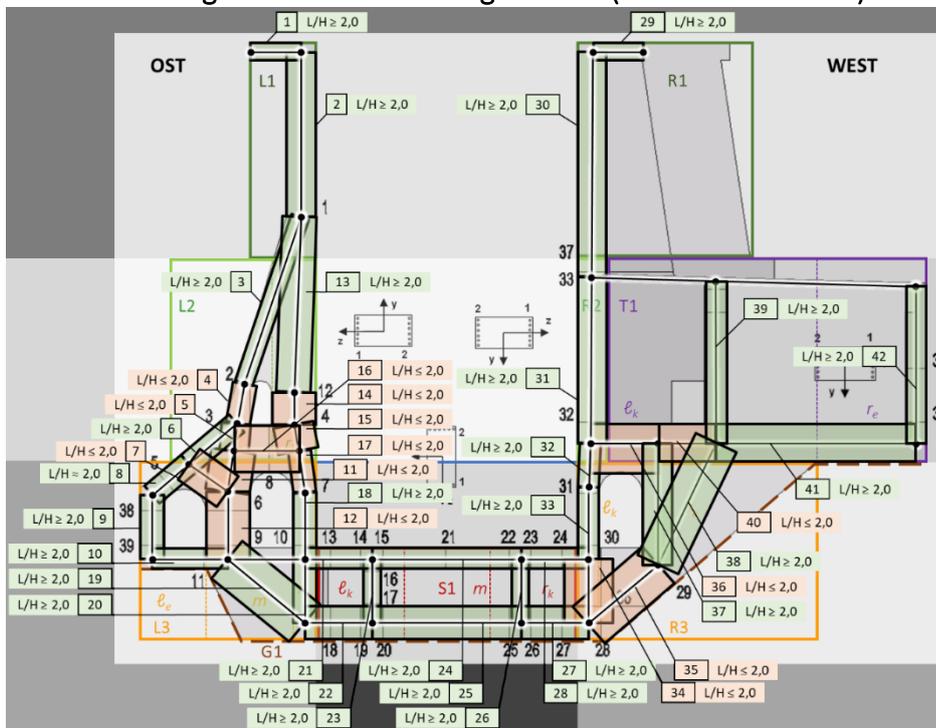


Abbildung 11: Bewertung Tragwerksgeometrie über L/H-Verhältnis Schleuse Erl./Kriegenbr.

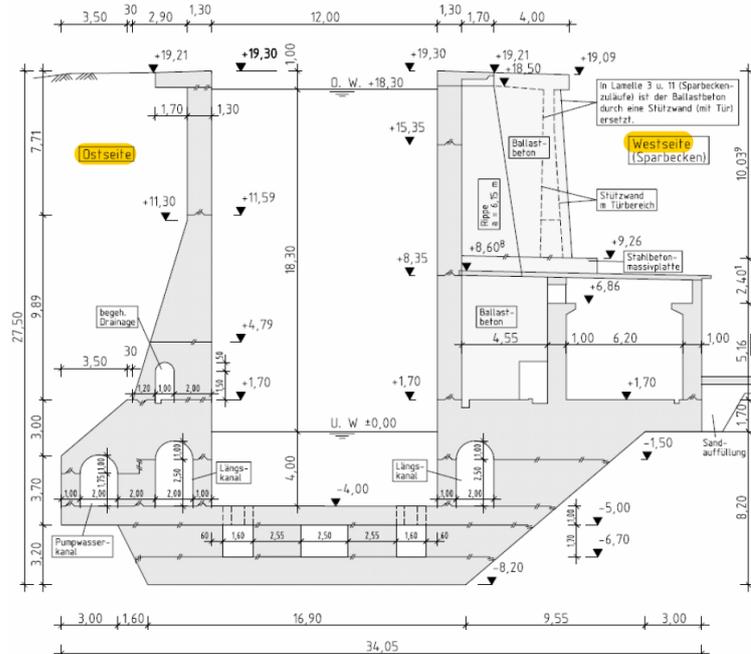


Abbildung 12: Ausschnitte vorhandener Planunterlagen Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn

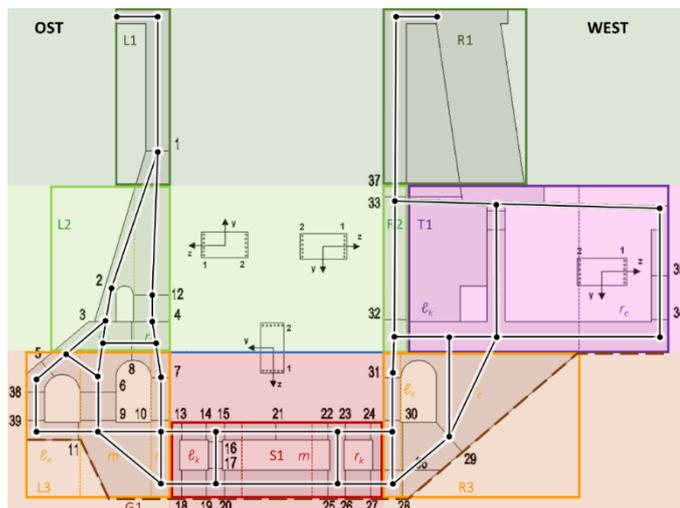


Abbildung 13: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Spalten          |               |               |           |               |                | <input checked="" type="checkbox"/> Kraftfl. | <input checked="" type="checkbox"/> St. best. | <input checked="" type="checkbox"/> Ba |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagen |                                              |                                               |                                        |
|                  |               |               |           |               | Allgemein      |                                              |                                               |                                        |
|                  |               |               |           |               | Kraftfl.       |                                              |                                               |                                        |
| Filter           |               |               |           |               | Filter         |                                              |                                               |                                        |
| L1 m 1           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L2 l 2           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L2 l 3           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L2 r 4           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L2 r 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L2 r 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L3 l 5           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L3 l 38          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L3 l 39          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L3 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| L3 m 6           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,062          |                                              |                                               |                                        |
| L3 m 9           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,062          |                                              |                                               |                                        |
| L3 r 7           | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,062          |                                              |                                               |                                        |
| L3 r 10          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,062          |                                              |                                               |                                        |
| R1 m 37          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| R2 m 33          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| R2 m 32          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |                                              |                                               |                                        |
| R3 l 31          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |                                              |                                               |                                        |

| Bewertung | L/H     | Bemerkung                                              |
|-----------|---------|--------------------------------------------------------|
| -         | -       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D         | < 2,0   | Diskontinuitätsbereich                                 |
| D         | (> 2,0) | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| D         | (> 2,0) | Siehe L3 r 7                                           |

Tabelle 25: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

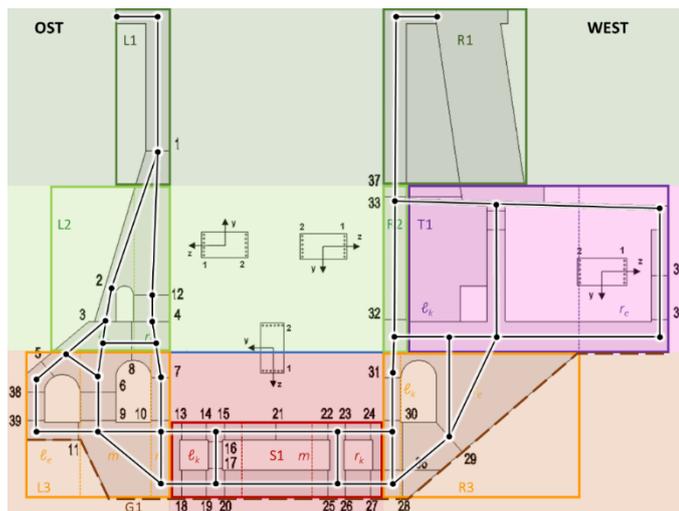


Abbildung 14: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlager |          |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|----------------|----------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein      | Kraftfl. |
| Filter           | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter         | Filter   |
| R3 l 30          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |          |
| R3 l 36          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |          |
| R3 r 29          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| R3 r 28          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| Tr r 34          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| Tr r 35          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 l 13          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |          |
| S1 l 14          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |          |
| S1 l 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |          |
| S1 l 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 l 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 l 18          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |          |
| S1 l 19          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |          |
| S1 l 20          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,062          |          |
| S1 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,062          |          |
| S1 r 22          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 r 23          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 r 24          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |          |
| S1 r 25          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |          |
| S1 r 26          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |          |
| S1 r 27          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |          |
| G2 l A           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --             |          |
| G2 m m           | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             | --             |          |
| G2 r B           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --             |          |

| Bewertung                                                                                                                                                               | L/H     | Bemerkung                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------|
| D                                                                                                                                                                       | (> 2,0) | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
|                                                                                                                                                                         |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D                                                                                                                                                                       | (> 2,0) | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
|                                                                                                                                                                         |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |         |                                                        |

Tabelle 26: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.



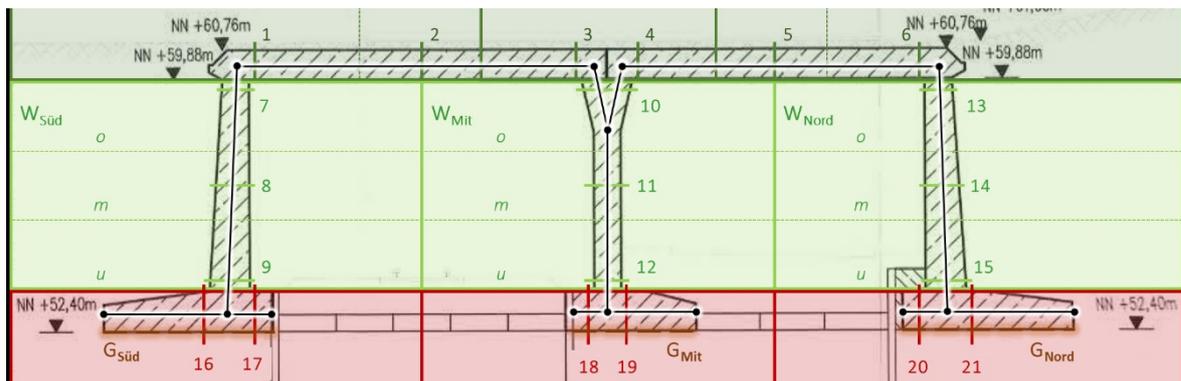


Abbildung 17: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerun |          |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------------|----------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein        | Kraftfl. |
| Filter           | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter           | Filter   |
| D1 m 1           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,062            |          |
| D1 m 2           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | -0,062           |          |
| D2 m 3           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,062            |          |
| D2 m 4           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,062            |          |
| D3 m 5           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | -0,062           |          |
| D3 m 6           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,062            |          |
| W1 o 7           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| W1 m 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| W1 u 9           | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,062            |          |
| W2 o 10          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| W2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| W2 u 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| W3 o 13          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,062            |          |
| W3 m 14          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | -0,062           |          |
| W3 u 15          | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,062            |          |
| S1 m 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| S1 m 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| S2 m 18          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,062            |          |
| S2 m 19          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,062            |          |
| S3 m 20          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| S3 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |          |
| G2 l a1          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --               |          |
| G2 m a2          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --               |          |
| G2 r a3          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --               |          |

| Bewertung | L/H     | Bemerkung                                              |
|-----------|---------|--------------------------------------------------------|
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
| K         | > 2,0   | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| D         | (> 2,0) | Richtungswechsel Systemlinie/Sprung Tragwerksgeometrie |
| K         | > 2,0   | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
|           |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
|           |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
| K         | > 2,0   | gerade bzw. kontinuierliche Tragwerksgeometrie         |
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
|           |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| D         | < 2,0   | Diskontinuitätsbereich                                 |
| D         | (> 2,0) | Siehe D2 m 3                                           |
|           |         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 27: Bewertungsmatrix UK 2.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

### 5.3.1.1 Unterkriterium UK 2.2 – St. best. (Statische Bestimmtheit)

Das Unterkriterium beurteilt, ob ein Regelschnitt innerlich statisch bestimmt oder innerlich statisch unbestimmt ausgebildet ist. Die statische Unbestimmtheit bietet aufgrund von Zwangsbedingungen zusätzliches Potential zur Lastumlagerung und Ausbildung alternativer Lastpfade. Das Unterkriterium berücksichtigt unmittelbar, ob eine gegliederte oder monolithische Bauweise vorliegt.

Das zweite Unterkriterium, welches sich direkt auf die Bauwerksrobustheit auswirkt, ist das innere statische System des Tragwerkes. In statisch unbestimmten Bereichen (**U**) kann das Tragsystem durch zusätzliche Kraftgrößen und Zwangsbedingungen mehrere alternative Lastpfade zur Umlagerung von Lasten ausbilden. Bei statisch bestimmten Bereichen (**B**) sind keine zusätzlichen Reserven zur Lastumlagerung vorhanden. Auch bei diesem Subkriterium wirkt sich die statische Unbestimmtheit positiv und die statische Bestimmtheit negativ auf die Robustheit aus, was in der Systematik automatisch zu einer Verbesserung bzw. Verschlechterung der Note um den Wert  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$  je Nachweisschnitt führt.

Abbildung 18: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.2 – Innere statische Bestimmtheit

|                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                  | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                                             |
| Innerlich statisch unbestimmt (U)<br><br><input type="checkbox"/> $n > 0$ <u>oder</u><br><input type="checkbox"/> <u>gegliederte</u> Konstruktion / Bauweise <u>mit</u> Ausbildung alternativer Lastpfade innerhalb des statischen Systems | Innerlich statisch bestimmt (B)<br><br><input type="checkbox"/> $n = 0$ <u>oder</u><br><input type="checkbox"/> <u>monolithische</u> Konstruktion / Bauweise <u>ohne</u> Ausbildung alternativer Lastpfaden innerhalb des statischen Systems |

#### Gleichung zur Bestimmung des Grades der statischen Unbestimmtheit (Romberg und Hinrichs 2020)

Notwendige (nicht hinreichende) Bedingung für den Grad der statischen Unbestimmtheit eines ebenen Systems:

Stabwerk: 
$$n = (r + z) - 3 \cdot t$$

- n = Grad der statischen Unbestimmtheit
- r = Anzahl der Auflagerreaktionen (Kräfte und Momente)
- z = Anzahl der Zwischenreaktionen (Gelenkkräfte)
- t = Anzahl der Tragwerksteile

Zur Bewertung dieses Unterkriteriums UK 2.2 dienen ebenfalls die skizzierten statischen Systeme in Abbildung 10, Abbildung 13 und Abbildung 17 bzw. analog die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 19 und Abbildung 20).

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

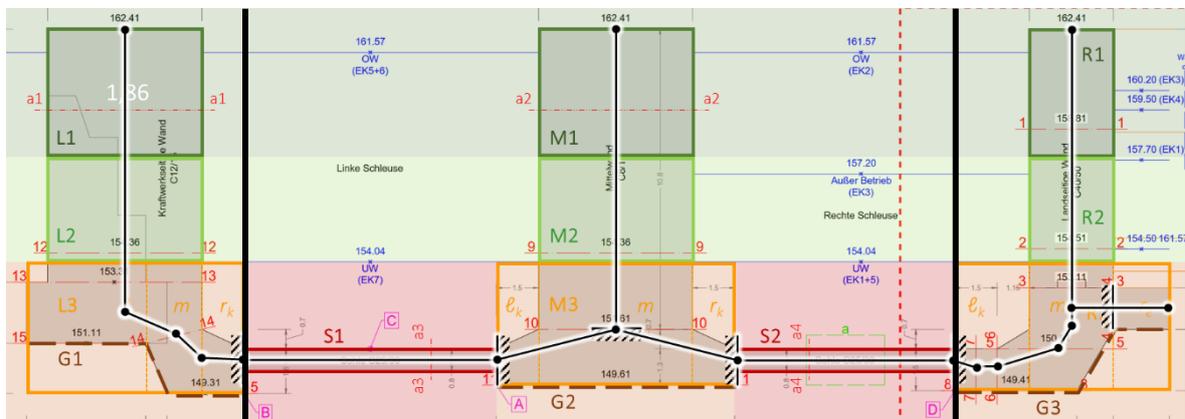


Abbildung 19: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |           |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|-----------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | St. best. |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| L3 I 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |           |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,055             |           |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0               |           |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | 0,055             |           |
| R3 I 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |           |
| R3 I 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,055             |           |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,055             |           |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,055             |           |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,055            |           |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,055            |           |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                |           |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                |           |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                |           |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                |           |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                |           |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                |           |

| Bewertung | Grad n (stat. Unbest.) | Bemerkung                                             |
|-----------|------------------------|-------------------------------------------------------|
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| -         | -                      | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden       |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| -         | -                      | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden       |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| -         | -                      | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden       |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| B         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U) |
| U         | > 0                    | „interne Einspannung“ der Sohlplatte zw. Kammerwänden |
| U         | > 0                    | „interne Einspannung“ der Sohlplatte zw. Kammerwänden |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurchsondern entlanggeführt ist.

Tabelle 28: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

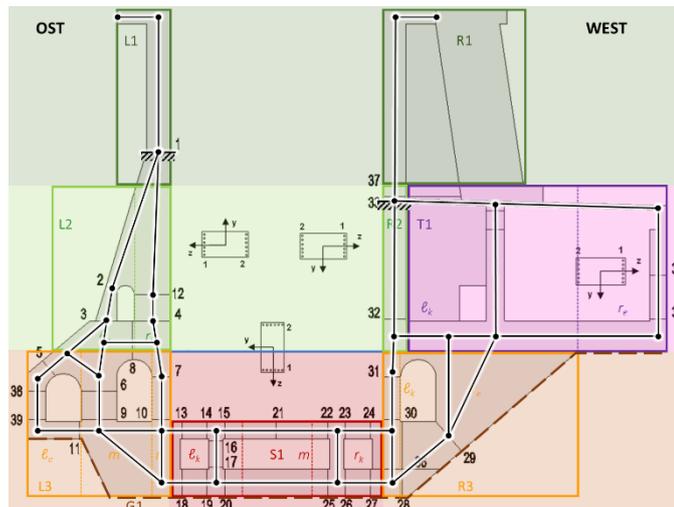


Abbildung 20: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlager |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|----------------|
|                  | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter         |
| L1 m 1           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |
| L2 l 2           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |
| L2 l 3           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |
| L2 r 4           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |
| L2 r 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0            |
| L2 r 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |
| L3 l 5           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0            |
| L3 l 38          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| L3 l 39          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| L3 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| L3 m 6           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,055         |
| L3 m 9           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,055         |
| L3 r 7           | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | -0,055         |
| L3 r 10          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | -0,055         |
| R1 m 37          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| R2 m 33          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| R2 m 32          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0            |
| R3 l 31          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,055         |

| Bewertung | Grad n (stat. Unbest.) | Bemerkung                                              |
|-----------|------------------------|--------------------------------------------------------|
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| U         | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
| U         | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
| U         | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
| U         | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| U         | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |

Tabelle 29: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

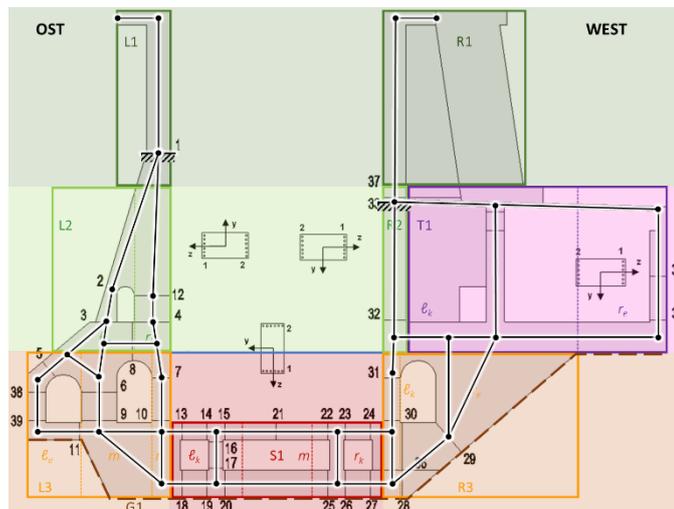


Abbildung 21: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Schleuse Erl./Kriegenbr

| Schnitt, Bereich                    | Max. Note (T)            | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung                   |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------------------|--------------------------|
|                                     |                          |               |           |               | Allgemein                           | St. best.                |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |           |               | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> |
| Filter                              | Filt                     | Filt          | Filt      | Filt          | Filter                              | Filter                   |
| R3 l 30                             | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| R3 l 36                             | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| R3 r 29                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| R3 r 28                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| Tr r 34                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| Tr r 35                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 13                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 14                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 15                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 16                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 17                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 l 18                             | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| S1 l 19                             | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| S1 l 20                             | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| S1 m 21                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input checked="" type="checkbox"/> | -0,055                   |
| S1 r 22                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 r 23                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 r 24                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 r 25                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 r 26                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| S1 r 27                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/>            | 0,0                      |
| G2 l A                              | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | --                                  |                          |
| G2 m m                              | 3,0                      | 3,0           | 3,0       | 0             | --                                  |                          |
| G2 r B                              | 3,0                      | 0,0           | 3,0       | 0             | --                                  |                          |

| Bewertung                                                                                                                                                               | Grad n (stat. Unbest.) | Bemerkung                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------|
| U                                                                                                                                                                       | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
|                                                                                                                                                                         |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| U                                                                                                                                                                       | > 0                    | angrenzende, alternative Lastpfade + monolith. Bereich |
|                                                                                                                                                                         |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden        |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |                        |                                                        |

Tabelle 30: Teil 2 Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Krie-

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

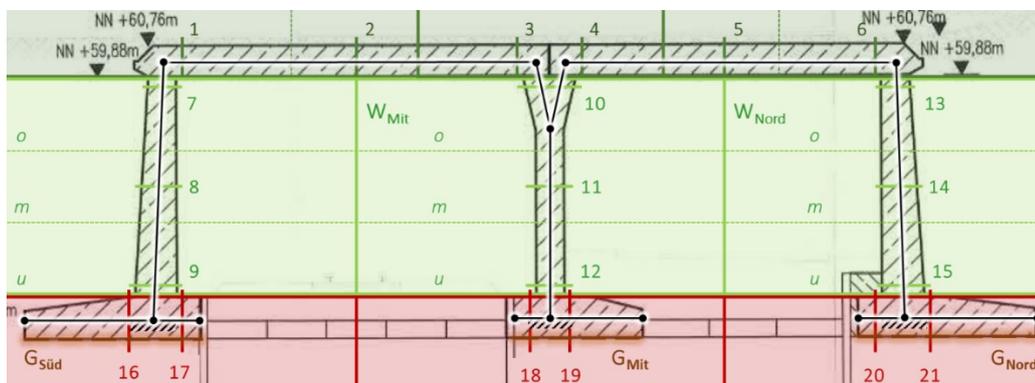


Abbildung 22: Inneres statisches System bzw. Skizze Systemlinien Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerer |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------------|
| D1 m 1           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,055            |
| D1 m 2           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,055            |
| D2 m 3           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,055            |
| D2 m 4           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,055            |
| D3 m 5           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,055            |
| D3 m 6           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,055            |
| W1 o 7           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| W1 m 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| W1 u 9           | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,055            |
| W2 o 10          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| W2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| W2 u 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| W3 o 13          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,055            |
| W3 m 14          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,055            |
| W3 u 15          | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,055            |
| S1 m 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| S1 m 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| S2 m 18          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,055            |
| S2 m 19          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,055            |
| S3 m 20          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| S3 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |
| G2 l a1          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -                |
| G2 m a2          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -                |
| G2 r a3          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -                |

| Bewertung | Grad n (stat. Unbest.) | Bemerkung                                                   |
|-----------|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| U         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Einfeldträger=U) |
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| U         | = 0                    | abschnittsw. k. alt. Lastpfad (Kragarm/Winkelstützw.=U)     |
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| U         | = 0                    | abschnittsw. k. alt. Lastpfad (Kragarm/Winkelstützw.=U)     |
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| U         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U)       |
| U         | = 0                    | abschnittsweise kein alternativ. Lastpfad (Kragarm=U)       |
|           |                        | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 31: Bewertungsmatrix UK 2.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

### 5.3.2 Unterkriterium UK 2.3 – Baugr. (Umlagerung auf Baugrund)

*Es wird bewertet, ob eine Lastumlagerung der Tragwerkslasten auf den umliegenden Baugrund am untersuchten Regelschnitt ermöglicht oder nicht ermöglicht werden kann. Bedingt durch ein entsprechendes Umlagerungsvermögen können bei Tragwerken mit Erddrucklasten, Bettungen bzw. vergleichbaren Baugrundeigenschaften vor dem Eintritt des Gesamtversagens erkennbare Verformungen auftreten.*

Durch eine stabilisierende Bettung des Baugrundes ist dieser in der Lage, Lasten aus dem Tragwerk aufzunehmen und auftretende Beanspruchungen auf das anliegende Erdreich umzulagern. Dieser Aspekt kann mithilfe des dritten Subkriteriums UK 2.3 berücksichtigt werden, um dadurch die Robustheit des Bauwerks im betrachteten Regelschnitt zu erhöhen oder abzumindern.

Abbildung 23: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.3 – Umlagerung Baugrund

|                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                      | <b>Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                            |
| <b>Umlagerung auf Baugrund durch stabilisierende Bettung möglich?</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                    |
| <p style="text-align: center;"><b>JA</b></p> <input type="checkbox"/> unmittelbar angrenzender, ggf. stützender Baugrund an Nachweisschnitt vorhanden | <p style="text-align: center;"><b>NEIN</b></p> <input type="checkbox"/> <u>kein</u> unmittelbar angrenzender bzw. stützender Baugrund an Nachweisschnitt vorhanden |

Ein Bauwerk oder Abschnitte einer Tragkonstruktion, die durch umliegenden Baugrund bereichsweise oder vollständig in das Erdreich eingebettet sind und in direktem Kontakt zum Erdreich stehen, können sich hier positiv auf die Bauwerksrobustheit auswirken und zusätzliche Lasten in dem Baugrund umlagern.

Allgemein sind hier Schleusenbauwerke, aufgrund ihrer unmittelbaren Einbettung ins Erdreich robuster zu bewerten, als beispielweise Kanalbrücken, bei denen gerade die Brückendecke unter dem Kanalbett keine Umlagerung auf einen anliegenden Baugrund generieren kann und somit keine zusätzliche Sicherheit vorhanden ist.

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass die Bewertung und die Vorteile der Lastumlagerung auf den Baugrund nur in Abhängigkeit der betrachteten Lastfallkombination zum Tragen kommen. Daher betrifft dieses Kriterium nicht jeden angesetzten Lastfall, sondern deckt pauschal die baugrundbelastenden Lastfälle ab.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

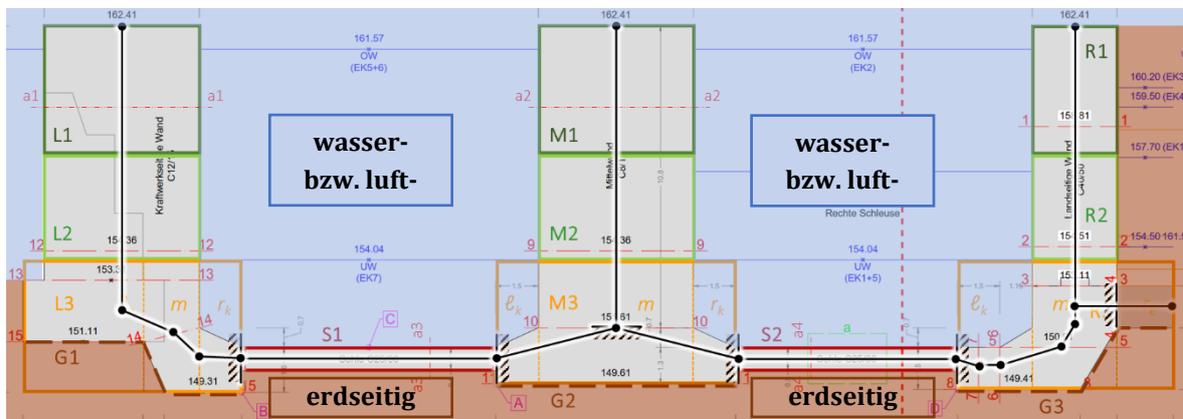


Abbildung 24: Bewertungsskizze zur Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |        |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|--------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | Baugr. |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,033             | 0,033  |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,033             | 0,033  |
| L3 l 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,033             | 0,033  |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0    |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,033             | 0,033  |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,033             | 0,033  |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0               | 0,0    |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| R3 l 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0    |
| R3 l 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | -0,033            | -0,033 |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0    |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,033            | -0,033 |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | -0,033            | -0,033 |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | -0,033            | -0,033 |

| Bewertung | Bemerkung                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |

Tabelle 32: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

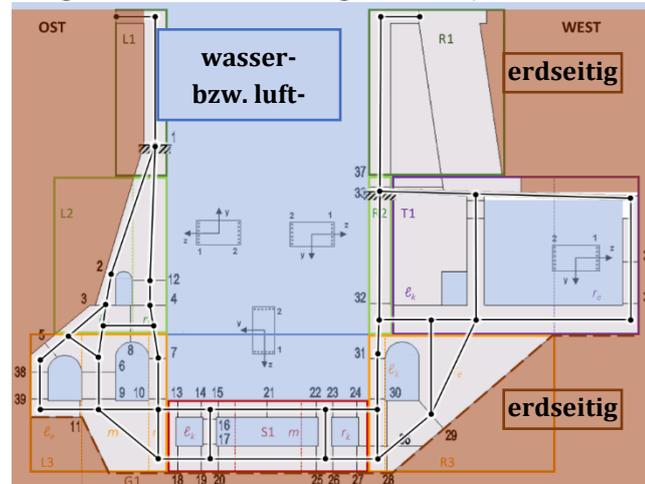


Abbildung 25: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerun |        |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------------|--------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein        | Baugr. |
| Filter           | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter           | Filter |
| L1 m 1           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| L2 l 2           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| L2 l 3           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| L2 r 4           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| L2 r 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| L2 r 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0              |        |
| L3 l 5           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0              |        |
| L3 l 38          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| L3 l 39          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| L3 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| L3 m 6           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,033            |        |
| L3 m 9           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,033            |        |
| L3 r 7           | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,033            |        |
| L3 r 10          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,033            |        |
| R1 m 37          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| R2 m 33          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| R2 m 32          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| R3 l 31          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,033            |        |

| Bewertung | Bemerkung                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------|
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |

Tabelle 33: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

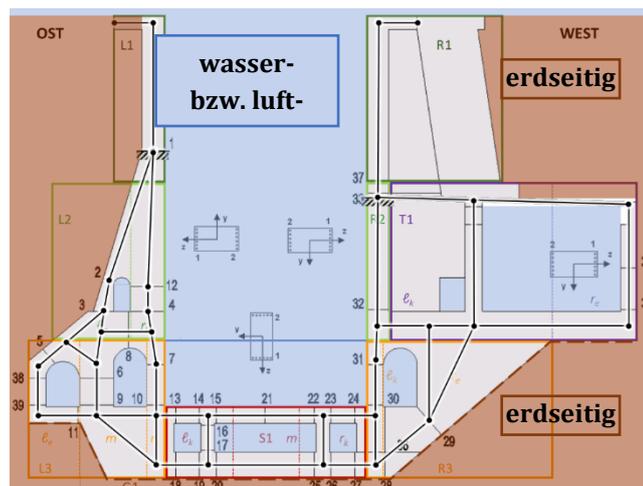


Abbildung 26: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerun |        |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------------|--------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein        | Baugr. |
| R3 l 30          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,033            |        |
| R3 l 36          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| R3 r 29          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| R3 r 28          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| Tr r 34          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| Tr r 35          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 l 13          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0              |        |
| S1 l 14          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0              |        |
| S1 l 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0              |        |
| S1 l 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 l 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 l 18          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| S1 l 19          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| S1 l 20          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| S1 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,033            |        |
| S1 r 22          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 r 23          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 r 24          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              |        |
| S1 r 25          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| S1 r 26          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| S1 r 27          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0              |        |
| G2 l A           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| G2 m m           | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |
| G2 r B           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,033           |        |

| Bewertung | Bemerkung                                                 |
|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden           |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweisschnitt      |

Tabelle 34: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

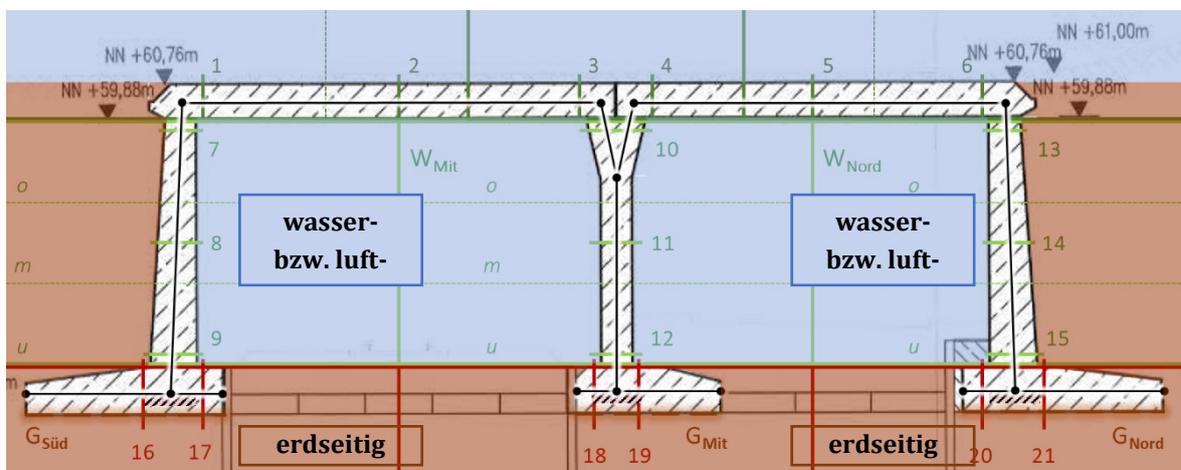


Abbildung 27: Bewertungsskizze Beurteilung Umlagerungsvermögen Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich                    | Max. Note (T)            | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlageru                            |        |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|---------------|--------------------------------------------|--------|
|                                     |                          |               |           |               | Allgemein                                  | Baugr. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |           |               | 0,0                                        |        |
| Filter                              | Filt                     | Filt          | Filt      | Filt          | Filter                                     |        |
| D1 m 1                              | 4,5                      | 0,0           | 4,5       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| D1 m 2                              | 4,5                      | 0,0           | 4,5       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| D2 m 3                              | 4,5                      | 0,0           | 4,5       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| D2 m 4                              | 4,8                      | 0,0           | 4,8       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| D3 m 5                              | 4,8                      | 0,0           | 4,8       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| D3 m 6                              | 4,8                      | 0,0           | 4,8       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033  |        |
| W1 o 7                              | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| W1 m 8                              | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| W1 u 9                              | 1,0                      | 0,0           | 1,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| W2 o 10                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| W2 m 11                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| W2 u 12                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| W3 o 13                             | 4,6                      | 0,0           | 4,6       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| W3 m 14                             | 4,6                      | 0,0           | 4,6       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| W3 u 15                             | 1,0                      | 0,0           | 1,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| S1 m 16                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| S1 m 17                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| S2 m 18                             | 3,8                      | 0,0           | 3,8       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| S2 m 19                             | 3,8                      | 0,0           | 3,8       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> -0,033 |        |
| S3 m 20                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |
| S3 m 21                             | 5,0                      | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0               |        |

| Bewertung | Bemerkung                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------|
| Nein      | kein unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweischnitt |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Ja        | Siehe W3 o 13                                            |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweischnitt      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Ja        | unmittelbar anstehender Baugrund bei Nachweischnitt      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |

Tabelle 35: Bewertungsmatrix UK 2.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

### 5.3.3 Unterkriterium UK 2.4 – Bewehr. (Bewehrungsführung)

*Durch eine günstige und robuste Bewehrungsführung, die anhand der statischen Bemessung zusätzliche Lastreserven besitzt, können unplanmäßige und unerwartet hohe Belastungen aufgenommen und ggf. innerhalb des Tragsystems umgeleitet werden. Es gilt daneben zu evaluieren, ob im jeweiligen Regelschnitt und in den angrenzenden Abschnitten Bewehrung mit ausreichenden Lastreserven vorhanden ist, damit im Falle einer Überlastung oder einer gravierenden Schädigung, Lasten innerhalb der Konstruktion in die vorhandene, angrenzende Bewehrung übertragen und von dieser aufgenommen werden können.*

Mit dem vierten Subkriterium können Schnitte, in denen Bewehrung vorhanden ist, erneut eine bessere Bewertung als Regelschnitte ohne Bewehrungsstahl erhalten. Voraussetzung hierfür sind ausreichende Reserven aus der Bemessung, um zusätzliche Lasten aufnehmen zu können. Wenn diese Reserven bereits durch die Auslastungsgrade überschritten sind, kann auch die Bewehrung nicht zur Verbesserung der Robustheitsnote je Regelschnitt herangezogen werden. Wie bereits bei den vorherigen Unterkriterien, führt eine ansetzbare Bewehrung zu einer Verbesserung der Note um  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$ . Falls keine Bewehrung vorhanden ist, wie dies beispielsweise bei Schwergewichtswänden i.d.R. der Fall ist, geht das Kriterium neutral in die Robustheitsbewertung ein und die Robustheitsnote ist unverändert zu belassen.

Abbildung 28: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK2.4 – Bewehrung mit elast. Lastreserven

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Bewehrung mit elastisch aufnehmbaren Reserven vorhanden?</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p style="text-align: center;"><b>JA</b></p> <input type="checkbox"/> Bewehrung anhand Bewehrungspläne an Nachweisschnitt <b>beidseitig</b> vorhanden <b>und</b><br><input type="checkbox"/> zusätzliche Reserven anhand Auslastungsgrade (Auslastungsgrad < 1,00) des Biege- und Querkraftnachweises unmittelbar an Nachweisschnitt oder in angrenzenden Schnitten vorhanden | <p style="text-align: center;"><b>NEIN</b></p> <input type="checkbox"/> <b>keine</b> oder <b>einseitige</b> Bewehrung anhand Bewehrungsplänen an Nachweisschnitt beidseitig vorhanden <b>und/oder</b><br><input type="checkbox"/> <b>keine</b> zusätzlichen Reserven anhand Auslastungsgrade (Auslastungsgrad $\geq 1,00$ ) des Biege- und Querkraftnachweises unmittelbar an Nachweisschnitt oder in angrenzenden Schnitten vorhanden <b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Keine Angaben, Ergebnisse in statischen Nachrechnungen vorhanden oder fehlende Unterlagen |

Bei diesem Kriterium wird anhand von Bewehrungsplänen und des 1. Robustheitskriteriums (Auslastungsgrad) überprüft, ob in den angrenzenden Nachweisschnitten oder Bereichen des

Tragwerks ausreichend Bewehrung in Längs- und Querrichtung vorhanden ist, die über zusätzliche Reserven in den statischen Nachweisen bzw. Auslastungsgraden verfügen.

Maßgeblich gilt es hier die Nachweise der inneren Standsicherheit zu betrachten, bei denen unmittelbar Bewehrungsmengen berechnet bzw. überprüft werden. Im speziellen Anwendungsfall betrifft dies unmittelbar die Nachweise der Biege- und der Querkraftbewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Sind hier die Auslastungen direkt am Nachweisschnitt bzw. in naheliegenden, angrenzenden Nachweisschnitten gering (vorliegende Auslastungsgrade  $< 1,0$ ), so kann hier zusätzlich eine Lastumlagerung im Falle einer größeren Schädigung angenommen werden, falls dies zusätzlich die Bewehrungsführung kontinuierlich ermöglicht.

Für die Bewertung dieses Unterkriteriums sind das Vorhandensein ausreichender Bewehrungspläne oder vergleichbarer Konstruktionsangaben unumgänglich. Liegen keine Bewehrungszeichnungen vor, so gilt es auch hier die Bewertung auf der sicheren Seite vorzunehmen, entsprechende Nachweisschnitte mit einem Notenzuschlag zu versehen und folglich die Robustheit zu verringern. Eine Verbesserung der Robustheitsnote je Nachweisschnitt ist bei nachträglicher Berücksichtigung von Bewehrungsplänen jederzeit möglich.

Liegt zu dem Bauwerk eine statische Nachrechnung der Bearbeitungsstufe C vor, so werden bereits plastische Reserven zur Lastumlagerung berücksichtigt und folglich ist dieses Unterkriterium nicht anwendbar zu setzen bzw. bei der Bewertung zu vernachlässigen.

### Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Zur Schleuse Horkheim liegen zum aktuellen Stand der Forschung lediglich Bewehrungspläne der rechten Kammerwand vor. Diese wurde in Stahlbetonweise errichtet und kann folglich mit Hilfe des Robustheitsansatzes positive Bauwerkseigenschaften zur zusätzlichen Lastumlagerung aufweisen.

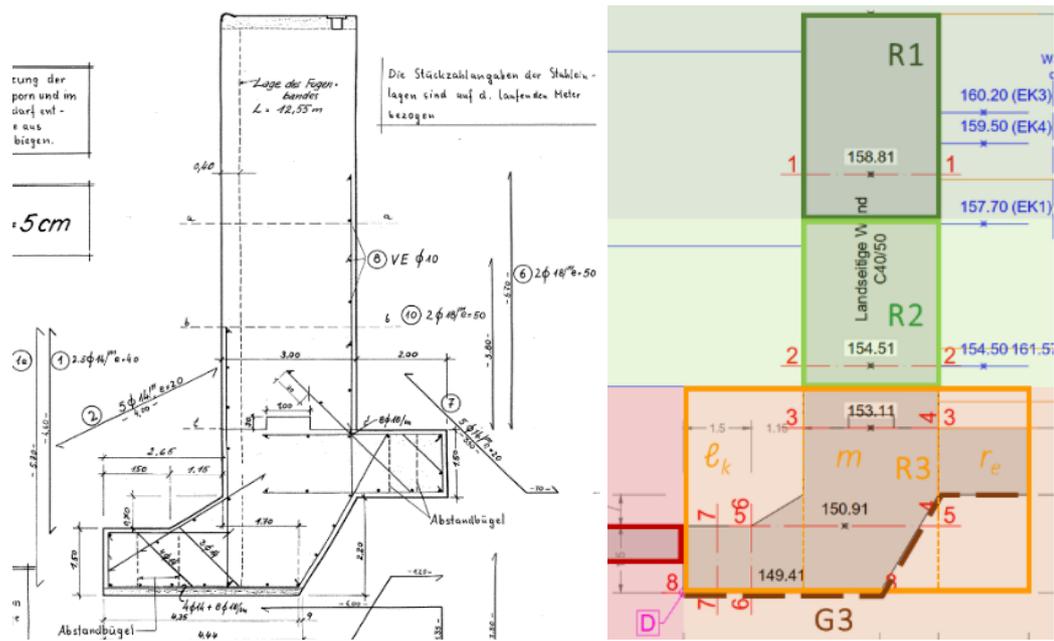


Abbildung 29: Bewehrungsführung (links), Übersicht Kammerwand (rechts) Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |         |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|---------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | Bewehr. |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| L3 I 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0               | 0,0     |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | -0,044            | -0,044  |
| R3 I 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| R3 I 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | -0,044            | -0,044  |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | -0,044            | -0,044  |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,044            | -0,044  |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,044            | -0,044  |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,044             | 0,044   |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                | --      |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                | --      |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                | --      |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                | --      |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                | --      |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                | --      |

| Bewertung                                                                                                                                                               | Bemerkung                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Nein                                                                                                                                                                    | Fehlende Bewehrungspläne → Linke Kammerwand unbewehrt    |
|                                                                                                                                                                         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Nein                                                                                                                                                                    | Fehlende Bewehrungspläne → Mittlere Kammerwand unbewehrt |
|                                                                                                                                                                         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Nein                                                                                                                                                                    | keine Bewehrung bei Nachweisschnitt                      |
| Ja                                                                                                                                                                      | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS2 und NS3               |
|                                                                                                                                                                         | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden          |
| Ja                                                                                                                                                                      | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS5 u. NS6 (tlw. NS7)     |
| Ja                                                                                                                                                                      | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS2, NS3 und NS4          |
| Ja                                                                                                                                                                      | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS4, NS5 und NS6          |
| Ja                                                                                                                                                                      | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS3, NS4 und NS5          |
| Nein                                                                                                                                                                    | Fehlende Bewehrungspläne → Sohle unbewehrt               |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |                                                          |

Tabelle 36: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

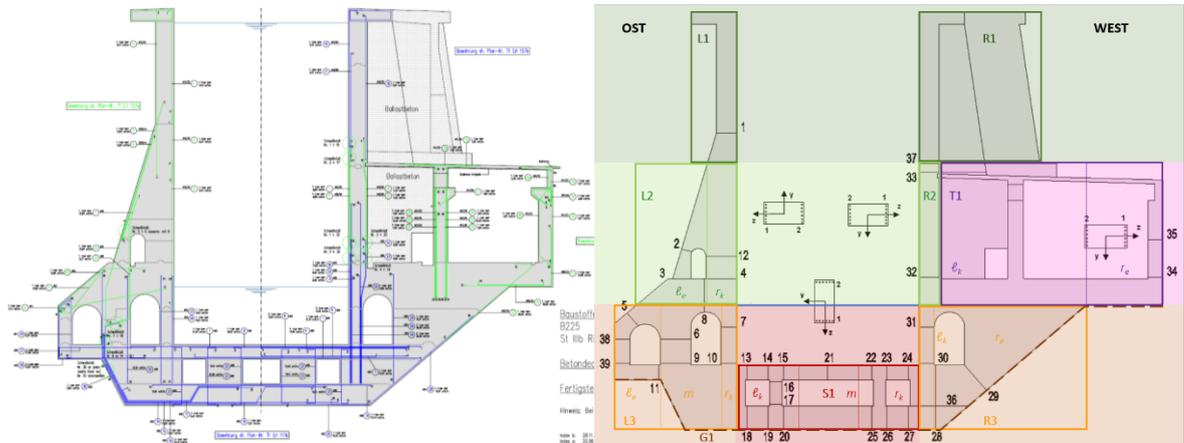


Abbildung 30: Bewehrungsführung (links) und Übersicht Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

| Schnitt, Bereich         | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |         |
|--------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|---------|
|                          |               |               |           |               | Allgemein         | Bewehr. |
| <input type="checkbox"/> | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter            | Filter  |
| L1 m 1                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0               |         |
| L2 l 2                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0               |         |
| L2 l 3                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0               |         |
| L2 r 4                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0               |         |
| L2 r 12                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0               |         |
| L2 r 8                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0               |         |
| L3 l 5                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0               |         |
| L3 l 38                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| L3 l 39                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| L3 m 11                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| L3 m 6                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,044            |         |
| L3 m 9                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,044            |         |
| L3 r 7                   | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | -0,044            |         |
| L3 r 10                  | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | -0,044            |         |
| R1 m 37                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| R2 m 33                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| R2 m 32                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               |         |
| R3 l 31                  | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,044            |         |

| Bewertung | Bemerkung                                                      |
|-----------|----------------------------------------------------------------|
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS6/9, NS11 und NS38/39         |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS6/9, NS11 und NS38/39         |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS7/10                          |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS7/10                          |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS22/23/24, NS30/31 und NS32/33 |

Tabelle 37: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Kriegenbrunn

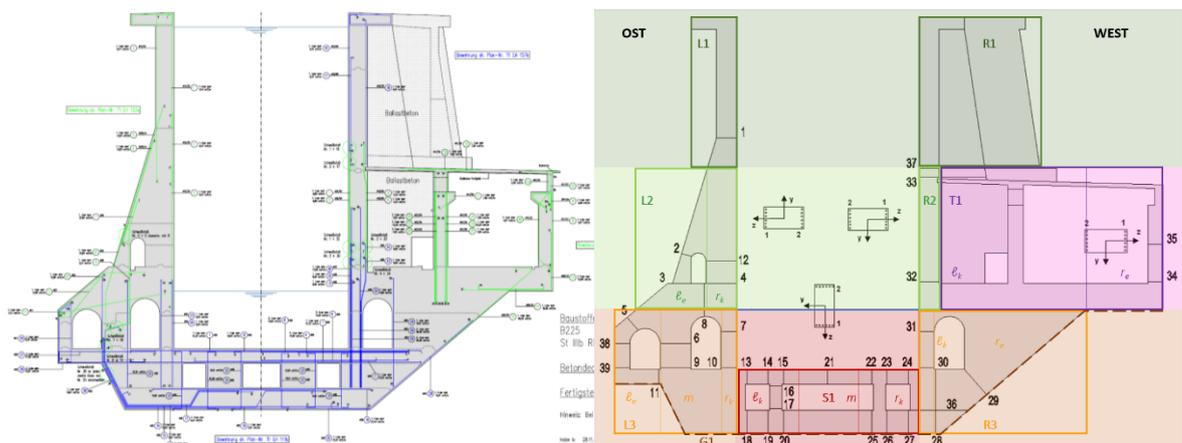


Abbildung 31: Bewehrungsführung (links) und Übersicht Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |         |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|---------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | Bewehr. |
| R3 l 30          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | ✓                 | -0,044  |
| R3 l 36          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | ✓                 | -0,044  |
| R3 r 29          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| R3 r 28          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| Tr r 34          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| Tr r 35          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 13          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 14          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 l 18          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | ✓                 | -0,044  |
| S1 l 19          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | ✓                 | -0,044  |
| S1 l 20          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | ✓                 | -0,044  |
| S1 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ✓                 | -0,044  |
| S1 r 22          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 r 23          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 r 24          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | ○                 | 0,0     |
| S1 r 25          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | ○                 | 0,0     |
| S1 r 26          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | ○                 | 0,0     |
| S1 r 27          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | ○                 | 0,0     |
| G2 l A           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --                |         |
| G2 m m           | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             | --                |         |
| G2 r B           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --                |         |

| Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                                               |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS22/23/24, NS30/31 und NS32/33                                                                                                          |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS25/26/27, NS28/NS29, NS30/31                                                                                                           |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                         |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS16/17 und NS18/19/20                                                                                                                   |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS16/17 und NS18/19/20                                                                                                                   |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS16/17 und NS18/19/20                                                                                                                   |
| Ja        | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS21 und NS22/23/24                                                                                                                      |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                         |
|           | Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |

Tabelle 39: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Kriegenbrunn

### Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

Zur Kanalbrücke Bollensen liegen aktuell keine Bewehrungspläne zur eindeutigen Bewertung des Unterkriteriums UK2.4 vor. Da bei den Nachrechnungsergebnissen jedoch allumfassend eine Gegenüberstellung zwischen vorhandenen und erforderlichen Bewehrungsquerschnitten erfolgt, wird bei der Bewertung an diesen Stellen von bewehrten Bereichen ausgegangen. Nahezu alle Nachweisschnitte der Wand- und Sohlbereiche überschreiten die zulässigen Auslastungsgrade in den Biegenachweisen. Da auf Seiten der Querkraftnachweise diese überwiegend gering ausgelastet sind können hier ggf. zusätzliche Lasten aufgenommen und ggf. in der Konstruktion intern umgeleitet werden. Es gilt abzustimmen, ob die getroffene Annahme zur Bewehrungsführung genügt oder das Unterkriterium auf der sicheren Seite liegend abzumindern ist, solange keine eindeutigen Bewehrungspläne vorliegen.

Aufgrund der zeichnerischen Darstellung einer Fuge zwischen Deckenplatte und der Brückenwände sowie fehlender Bewehrungspläne ist nicht erkennbar, ob eine monolithische Verbindung über die Bewehrung (Eckbewehrung) sichergestellt werden kann. Daher wird auch hier auf der sicheren Seite liegend keine lastumlagernden Eigenschaften der angrenzenden Nachweisschnitte berücksichtigt.

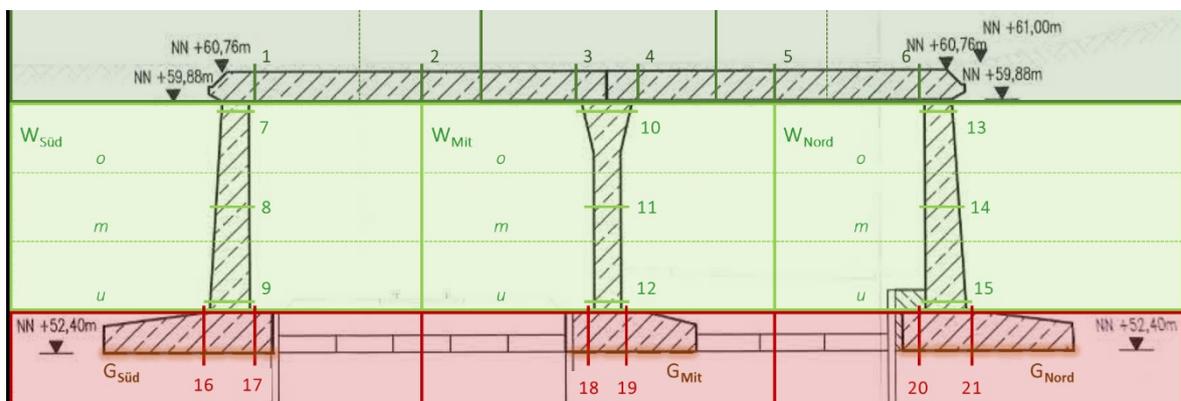
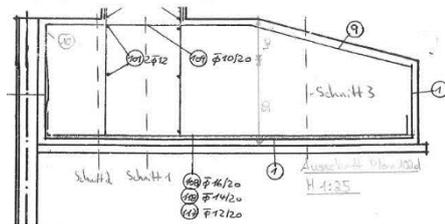


Abbildung 32: Übersicht Regelbereiche (ob.), Bewehrungsführung (unt.) Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt,<br>Bereich | Max. Note (T) |      | Max. Note (G) |      | Anz. krit. NW | 2. Lastumlagerung |         |
|---------------------|---------------|------|---------------|------|---------------|-------------------|---------|
|                     | Filter        | Filt | Filter        | Filt |               | Allgemein         | Bewehr. |
| D1 m 1              | 4,5           | 0,0  | 4,5           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| D1 m 2              | 4,5           | 0,0  | 4,5           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| D2 m 3              | 4,5           | 0,0  | 4,5           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| D2 m 4              | 4,8           | 0,0  | 4,8           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| D3 m 5              | 4,8           | 0,0  | 4,8           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| D3 m 6              | 4,8           | 0,0  | 4,8           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| W1 o 7              | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| W1 m 8              | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| W1 u 9              | 1,0           | 0,0  | 1,0           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| W2 o 10             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| W2 m 11             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| W2 u 12             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| W3 o 13             | 4,6           | 0,0  | 4,6           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| W3 m 14             | 4,6           | 0,0  | 4,6           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| W3 u 15             | 1,0           | 0,0  | 1,0           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| S1 m 16             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| S1 m 17             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| S2 m 18             | 3,8           | 0,0  | 3,8           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| S2 m 19             | 3,8           | 0,0  | 3,8           | 0    | 0,0           | -0,044            |         |
| S3 m 20             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| S3 m 21             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | 0,0           |                   |         |
| G2 l a1             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | --            |                   |         |
| G2 m a2             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | --            |                   |         |
| G2 r a3             | 5,0           | 0,0  | 5,0           | 1    | --            |                   |         |



**Bewertung**  
**Bemerkung**

|                                                                                                                                                                       |                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS1 (Biegnachweis)              |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS2 (Biegnachweis)              |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS3 (Biegnachweis)              |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS4 (Biegnachweis)              |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS5 (Biegnachweis)              |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS6 (Biegnachweis)              |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS9, NS16, NS17 (Querkraftn.)   |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS13 und NS14 (Querkraftnachw.) |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS13, NS14, NS15 (Querkraftn.)  |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS15, NS20, NS21 (Querkraftn.)  |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS12, NS18, NS19 (Querkraftn.)  |
| <b>Ja</b>                                                                                                                                                             | Bewehrung mit tlw. Reserven in NS12, NS18, NS19 (Querkraftn.)  |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurchsondern entlanggeführt ist. |                                                                |

Tabelle 40: Bewertungsmatrix UK 2.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Bollensen

## 5.4 Robustheitskriterium 3 (RK3) Verformungsfähigkeit

*Die Verformungsfähigkeit ist eine wichtige Bauwerkseigenschaft, um internen Zwangsspannungen vorzubeugen, nachgiebig auf Beanspruchungen zu reagieren und hierdurch ein mögliches Bauteilversagen frühzeitig anzukündigen. Es wird zwischen der elastischen und plastischen Verformungsfähigkeit differenziert, wobei die plastische Verformungsfähigkeit die Duktilität des Tragwerks als auch des Materials miteinschließt.*

Zur Bewertung des Robustheitskriteriums der Verformungsfähigkeit erfolgt mittels fünf Unterkriterien (UK3.1 – UK3.5), die in den folgenden Abschnitten genauer erläutert und exemplarisch anhand ausgewählter Bauwerke evaluiert werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Unterkriterien UK 3.2 und UK 3.3 lediglich für bewehrte Querschnitte zu bewerten sind, UK 3.5 hingegen für die Bewertung von unbewehrten Querschnitten. Handelt es sich bei dem untersuchten Bauwerk um eine unbewehrte Konstruktion so sind folglich UK 3.2 und UK 3.3 neutral und unverändert zu belassen.

### 5.4.1 Unterkriterium UK 3.1 – Ankünd. (Ankündigungsverhalten)

*Mit dem Unterkriterium wird die Lage des Regelschnittes in Bezug zu einem sichtbaren bzw. erkennbaren Ankündigungsverhalten während der Nutzungsdauer des Bauwerks bewertet. Eine Verformung, die sich in einem schlechten oder nicht einsehbaren Bereich des Bauwerks auUildet, kann an dieser Stelle nicht wahrnehmbar einen Schaden ankündigen.*

Abbildung 33: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.1 – Ankündigungsverhalten

| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                                                                              | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ankündigungsverhalten bei Regelbetrieb erkennbar/einsehbar?</b>                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>JA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>NEIN</b>                                                                                                                                                                                                      |
| <input type="checkbox"/> Stelle des Nachweisschnittes <u>überwiegend</u> und <u>mindestens einseitig</u> gut einsehbar <u>oder</u><br><input type="checkbox"/> Vorhandensein eines <u>Monitoringsystems</u> zum schnellen und/oder frühzeitigen Erkennen von Fugenbandschäden, Verformungen, Setzungen | <input type="checkbox"/> Stelle des Nachweisschnittes <u>schlecht</u> , <u>selten</u> oder <u>nicht</u> einsehbar <u>und</u><br><input type="checkbox"/> kein Monitoringsystem zur Bauwerksüberwachung vorhanden |

Das erste Subkriterium des Ankündigungsverhaltens bezieht sich allgemein auf die Lage des Regelschnittes am Bauwerk und ob an dieser Stelle eine vorzeitige Versagensankündigung durch Bauwerksverformungen überhaupt ersichtlich werden kann. Wenn ein Schnitt mindestens einseitig oder sogar beidseitig in einem gut einsehbaren Bereich des Bauwerks liegt, dann ist das Bauteil an dieser Stelle besser zu bewerten, im Vergleich zu Bereichen, die diesem Subkriterium nicht gerecht werden können. Ist ein Regelschnitt während der gesamten Nutzungsdauer nicht oder nur sehr selten einsehbar, können sich Verformungen zwar ausbilden, bleiben aber un bemerkt. Es können keine Gegenmaßnahmen in die Wege geleitet werden, um einem ggf. voranschreitenden, sich weiter ausbreitenden Versagen dieser Stelle entgegenzuwirken.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

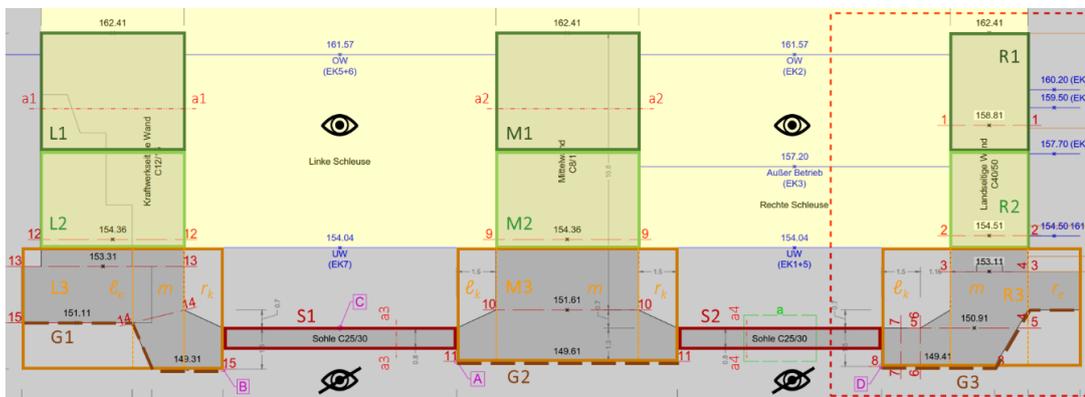


Abbildung 34: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfä |         | Bewertung | Bemerkung                                         |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------------|---------|-----------|---------------------------------------------------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein        | Ankünd. |           |                                                   |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | -0,033  | Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar  |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | -0,033  | Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar      |
| L3 l 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0              | 0,0     |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden   |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | -0,033  | Ja        | Bereich während Regelbetrieb beidseitig einsehbar |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0              | -0,033  |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden   |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0              | 0,0     |           |                                                   |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | -0,033  | Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar  |
| R2 m 2           | 3,4           | 1,0           | 3,4       | 0             | 0,0              | -0,033  |           |                                                   |
| R3 l 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0              | 0,0     |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden   |
| R3 l 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | 0,033   | Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar      |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0              | 0,033   |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden   |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              | 0,0     |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden   |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0              | 0,033   | Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar      |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0              | 0,033   |           |                                                   |

Tabelle 41: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

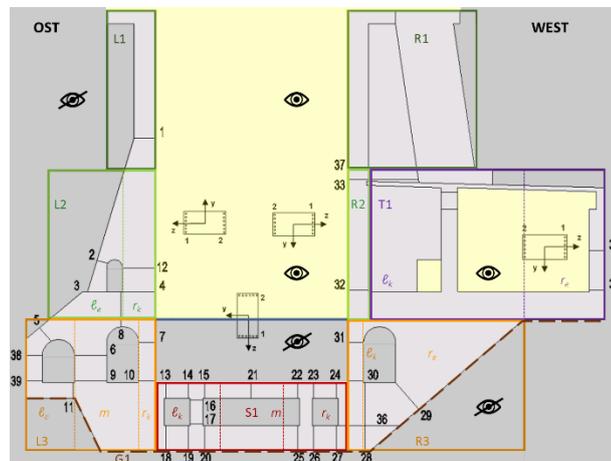


Abbildung 35: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt,<br>Bereich      | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähig |         |
|--------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------------|---------|
|                          |               |               |           |               | Allgemein           | Ankünd. |
| <input type="checkbox"/> | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter              | Filter  |
| L1 m 1                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                 |         |
| L2 l 2                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                 |         |
| L2 l 3                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                 |         |
| L2 r 4                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                 |         |
| L2 r 12                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                 |         |
| L2 r 8                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                 |         |
| L3 l 5                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                 |         |
| L3 l 38                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| L3 l 39                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| L3 m 11                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| L3 m 6                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,033               |         |
| L3 m 9                   | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,033               |         |
| L3 r 7                   | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,033               |         |
| L3 r 10                  | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,033               |         |
| R1 m 37                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| R2 m 33                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| R2 m 32                  | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                 |         |
| R3 l 31                  | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,033               |         |

| Bewertung | Bemerkung                                       |
|-----------|-------------------------------------------------|
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |

Tabelle 42: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

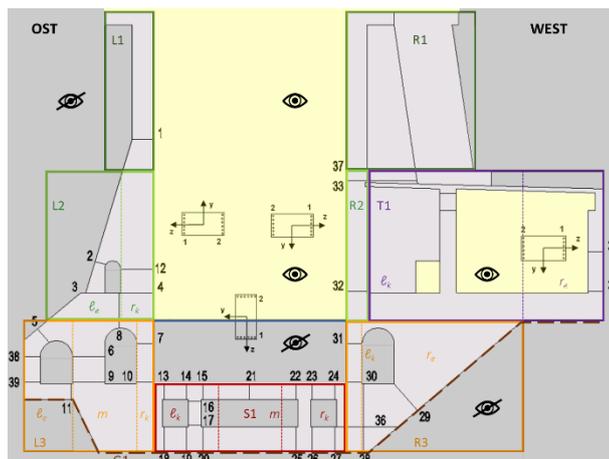


Abbildung 36: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt, Bereich                    | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähig                       |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------------------------|
|                                     |               |               |           |               | Allgemein                                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> |               |               |           |               | Ankünd. <input type="text" value="0.0"/>  |
| Filter                              | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                                    |
| R3 l 30                             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| R3 l 36                             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| R3 r 29                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| R3 r 28                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| Tr r 34                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| Tr r 35                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 13                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 14                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 15                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 16                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 17                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 l 18                             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| S1 l 19                             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| S1 l 20                             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| S1 m 21                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| S1 r 22                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 r 23                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 r 24                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 r 25                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 r 26                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| S1 r 27                             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | <input type="checkbox"/> 0,0              |
| G2 l A                              | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| G2 m m                              | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |
| G2 r B                              | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | <input checked="" type="checkbox"/> 0,033 |

| Bewertung | Bemerkung                                       |
|-----------|-------------------------------------------------|
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |
| Nein      | Bereich während Regelbetrieb nicht einsehbar    |

Tabelle 43: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

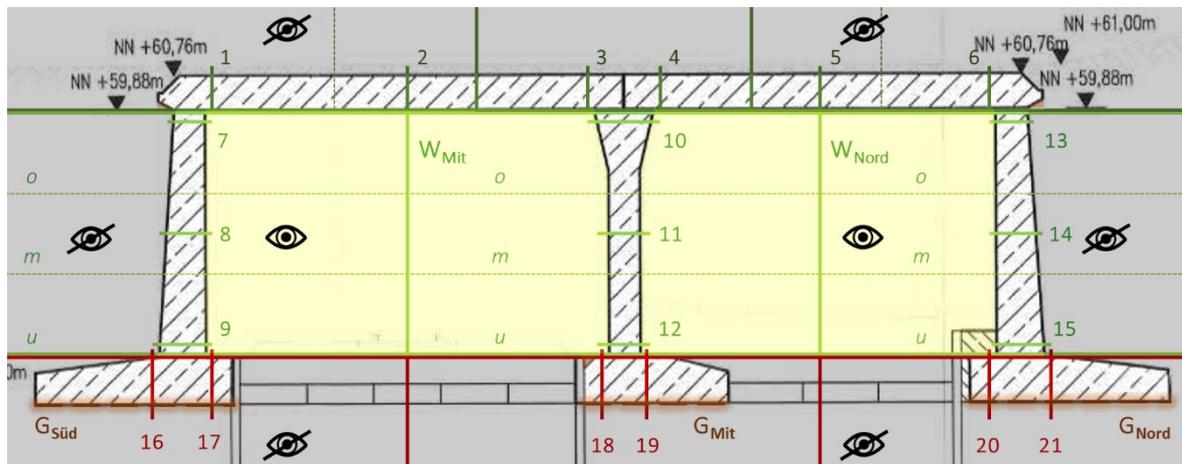


Abbildung 37: Übersicht (nicht) einsehbarer Nachweisschnitte Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfäh |         |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|---------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein         | Ankünd. |
| D1 m 1           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| D1 m 2           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| D2 m 3           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| D2 m 4           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| D3 m 5           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| D3 m 6           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| W1 o 7           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| W1 m 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| W1 u 9           | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| W2 o 10          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| W2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| W2 u 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| W3 o 13          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| W3 m 14          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| W3 u 15          | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| S1 m 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| S1 m 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| S2 m 18          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| S2 m 19          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,0               | -0,033  |
| S3 m 20          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| S3 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| G2 l a1          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| G2 m a2          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |
| G2 r a3          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0               | 0,0     |

| Bewertung | Bemerkung                                        |
|-----------|--------------------------------------------------|
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden  |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden  |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden  |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
| Ja        | Bereich während Regelbetrieb einseitig einsehbar |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden  |

Tabelle 44: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

## 5.5 Unterkriterium UK 3.2 – Duktil. (Duktilitätsklasse)

Bei Verkehrswasserbauwerken aus Stahlbeton besteht die eingebrachte Bewehrung i.d.R. aus normalduktilen, kaltverformten Stählen (Einteilung in Duktilitätsklasse A) oder hochduktilen, warmverformten Stählen (Einteilung in Duktilitätsklasse B). Je höher die Duktilitätsklasse, umso duktiler ist das Bauteil- und Materialverhalten zu beurteilen.

Mit diesem Unterkriterium können bewehrte Stahlbetonkonstruktionen auf ihre Duktilität untersucht und bewertet werden. Bei dem Subkriterium verbessert hochduktiler Bewehrungsstahl der Duktilitätsklasse B die Robustheitsnote mit  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$ , normalduktiler Stahl der Duktilitätsklasse A wirkt sich neutral mit  $\pm 0,00$  auf die Bewertung aus. Für die Zuordnung von charakteristischen Streckgrenzen sowie Duktilitätsklassen von Betonstabstählen und Betonformstählen mit Zulassung zu verschiedenen Zeitperioden dienen hier die Tabelle 6 und Tabelle 7 des BAW-Merkblattes "TbW" (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016). Kann der vorhandene Bewehrungsstahl weder zur Duktilitätsklasse A oder B zugeordnet werden, so wird die Note im Regelschnitt mit  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$  verschlechtert. Wird darüber hinaus eine negative Bewertung getätigt, beispielsweise wenn lokal keine verlegte Bewehrung in dem Regelschnitt vorhanden ist, wirkt sich das Kriterium ebenfalls abmindernd auf die Bauwerksrobustheit und die resultierende, erhöhende Robustheitsnote aus. Somit ist die Robustheit bei unbewehrten, begrenzten Bauwerksabschnitten oder bei lokalen Bereichen ohne Bewehrung örtlich abzumindern. Liegt ein vollständig unbewehrter Querschnitt vor, gilt es keine Bewertung vorzunehmen und das Kriterium wird neutral behandelt.

Es sei darauf hingewiesen, dass das Unterkriterium UK 3.2 unabhängig von Robustheitskriterium RK1 (Auslastungsgrad) zu bewerten ist. Trotz der Entkopplung des Kriteriums von den nachweisbaren Auslastungsgraden werden schlecht ausfallende Auslastungsnoten in RK 1 bei Erreichen der definierten Maximalnote ohnehin maßgebend für die Robustheitsnote und die folgenden Unterkriterium (hier auch UK 3.2 eingeschlossen) werden im entsprechenden Nachweischnitt nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 38: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.2 - Duktilitätsklasse

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br/>- <math>0,1 \times</math> Gewichtung<br/><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i></p>                                     | <p><b>Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br/>+ <math>0,1 \times</math> Gewichtung<br/><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i></p>                                                                                                                               |
| <p><b>Duktilitätsklasse (B) hochduktil</b></p> <p><input type="checkbox"/> Angabe (B) aus Bewehrungsplänen/Statik bzw. Abgleich Tabelle 6 und 7 TbW mit Verwendungszeitraum</p> | <p><b>Keine Zuordnung (-) einer Duktilitätsklasse</b></p> <p><input type="checkbox"/> Keine Angabe in Plänen/Statik bzw. Abgleich mit Tabelle 6 und 7 TbW-Merkblatt (= Angabe "-") <b>oder</b></p> <p><input type="checkbox"/> <u>Lokal</u> keine Bewehrung bei Regelschnitt</p> |
| <p>kein Zu- oder Abschlag auf Auslastungsnote aus RK 2 → <i>Neutrale Bewertung</i><br/><b>Duktilitätsklasse (A) normalduktil</b></p>                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tabelle 45: Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonstabstählen verschiedener Zeitperioden (Tabelle 6, TbW-Merkblatt (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016))

| Betonstabstahl                                                                                           |                                                            | Verwendungs-<br>zeitraum | Charakteristische<br>Streckgrenze $f_{yk}$ | Duktilitätsklasse<br>nach EC 2 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Bezeichnung                                                                                              | Stahlbezeichnung                                           | Jahr                     | N/mm <sup>2</sup>                          | -                              |
| Glatte Rundstäbe<br>DIN 1000<br>DIN 1612<br>DIN 488                                                      | Schweißisen                                                | vor 1923                 | 180                                        | -                              |
|                                                                                                          | Flusseisen, Flussstahl<br>(Bauwerkseisen,<br>Handelseisen) | vor 1925                 | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | Flussstahl (Handelseisen:<br>St 37, St 37.12, St 00.12)    | 1925-1943                | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | Betonstahlgruppe I                                         | 1943-1972                | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | BSt 220/340 GU                                             | 1972-1984                | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | Hochwertiger Baustahl<br>St 48                             | 1925-1932                | 290                                        | B                              |
|                                                                                                          | Hochwertiger Beton- und<br>Baustahl St 52                  | 1932-1943                | 340 <sup>1)</sup>                          | B                              |
| Glatte Rundstäbe<br>TGL 101-054<br>TGL 12530<br>TGL 33403                                                | Betonstahlgruppe IIa                                       | 1943-1972                | 340 <sup>1)</sup>                          | B                              |
|                                                                                                          | St A-0 Betonstahl I                                        | 1965-1985                | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | St A-I Betonstahl I                                        | 1965-1990                | 240                                        | B                              |
| Betonrippenstäbe<br>DIN 488                                                                              | St B-IV / St B-IV S                                        | 1972-1990                | 490                                        | -                              |
|                                                                                                          | BSt 420/500 RU (III)                                       | 1972-1984                | 420                                        | B                              |
|                                                                                                          | BSt 420/500 RK (III)                                       |                          |                                            | A                              |
|                                                                                                          | BSt 420 S (III)                                            | seit 1984                | 420                                        | B                              |
|                                                                                                          | BSt 420 S (III) verwunden                                  |                          |                                            | A                              |
|                                                                                                          | BSt 500 S (IV)                                             |                          |                                            | B                              |
| BSt 500 S (IV) verwunden                                                                                 | A                                                          |                          |                                            |                                |
| Betonrippenstäbe<br>TGL 101-054<br>TGL 12530<br>TGL 33403                                                | BSt 500 S (IV) verwunden                                   | 500                      | A                                          |                                |
|                                                                                                          | St A-III                                                   | 1965-1990                | 390                                        | B                              |
|                                                                                                          | St T-III                                                   | 1976-1985                | 400                                        | B                              |
|                                                                                                          | St T-IV                                                    | 1976-1990                | 490                                        | B                              |
| St B-IV RDP<br>St B-IV S-RDP                                                                             | 1979-1990                                                  | -                        |                                            |                                |
| Quergerippter<br>Betonformstahl mit<br>Zulassung von 1952:<br>QUERI-Stahl<br>Ilseder-Stahl<br>NORI-Stahl | Betonstahlgruppe I                                         | 1952-1963                | 220                                        | B                              |
|                                                                                                          | Betonstahlgruppe IIa                                       |                          | 340 <sup>1)</sup>                          |                                |
|                                                                                                          | Betonstahlgruppe IIIa                                      |                          | 400 <sup>2)</sup>                          |                                |
|                                                                                                          | Betonstahlgruppe IVa                                       |                          | 500                                        |                                |

| Betonstabstahl  |                                    | Verwendungs-<br>zeitraum | Charakteristische<br>Streckgrenze $f_{yk}$ | Duktilitätsklasse<br>nach EC 2 |
|-----------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Rippen-Torstahl | Betonstahlgruppe IIIb              | 1962-1972                | 400 <sup>2)</sup>                          | -                              |
| FILITON-Stahl   | Betonstahlgruppe IIIb              | 1965-1969                |                                            |                                |
| NORECK-Stahl    | Betonstahlgruppe IIIb              | 1960-1967                |                                            |                                |
| HI-BOND-A-Stahl | Betonstahlgruppe IIIa              | 1962-1973                |                                            |                                |
| DIROC-Stahl     | Betonstahlgruppe IIIa              | 1964-1969                | 420                                        | B                              |
|                 | BSt 420/500 RUS<br>BSt 420/500 RTS | seit 1977                |                                            |                                |
| Betonformstahl  | BSt 500/550 RU (IV)                | 1973-1984                | 500                                        | B                              |
|                 | BSt 500/550 RK (IV)                |                          |                                            | A                              |
|                 | BSt 500/550 RUS<br>BSt 500/550 RTS | 1976-1984                |                                            | B                              |
| GEWI-Stahl      | BSt 420/500 RU (III)               | seit 1974                | 420                                        | B                              |
|                 | BSt 500 S (IV)                     | seit 1984                | 500                                        | -                              |

<sup>1)</sup> Erhöhung auf 360 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmessern  $\leq 18$  mm  
<sup>2)</sup> Erhöhung auf 420 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmessern  $\leq 18$  mm

Tabelle 46: Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonformstählen verschiedener Zeitperioden (Tabelle 7, TbW-Merkblatt (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016))

| Betonformstahl                            |                                                     | Verwendungs-<br>zeitraum | Charakteristische<br>Streckgrenze $f_{yk}$ | Duktilitätsklasse<br>nach EC 2 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Bezeichnung                               | Stahlbezeichnung                                    | Jahr                     | N/mm <sup>2</sup>                          |                                |
| Isteg-Stahl                               | min. St 37,<br>durch Verwindung kaltver-<br>festigt | 1933-1942                | 340 <sup>1)</sup>                          | -                              |
| Drillwulst-Stahl                          | St 52                                               | 1937-1943                | 340 <sup>1)</sup>                          | B                              |
|                                           | Betonstahlgruppe IIIa                               | 1943-1956                | 340 <sup>1)</sup>                          |                                |
| Nocken-Stahl                              | St 52                                               | 1937-1943                | 340 <sup>1)</sup>                          | B                              |
|                                           | Betonstahlgruppe IIIa                               | 1943-1954                | 400 <sup>2)</sup>                          |                                |
|                                           | Betonstahlgruppe IVa                                | 1943-1956                | 500                                        |                                |
| Torstahl                                  | Torstahl 36/15                                      | 1938-1943                | 360                                        | -                              |
|                                           | Torstahl 40/10                                      | 1938-1943                | 400                                        |                                |
|                                           | Betonstahlgruppe IIIb                               | 1943-1959                | 400 <sup>2)</sup>                          |                                |
| Stahl-Becker KG                           | Betonstahlgruppe IIIa                               | 1964-1969                | 400 <sup>2)</sup>                          | B                              |
| Betonformstahl<br>vom Ring                | BSt 500 WR (IV)                                     | seit 1984                | 500                                        | B                              |
|                                           | BSt 500 KR (IV)                                     |                          |                                            | A                              |
| Betonstahl in Ringen<br>mit Sonderrippung | BSt 500 WR                                          | seit 1991                | 500                                        | A                              |

<sup>1)</sup> Erhöhung auf 360 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmesser  $\leq 18$  mm  
<sup>2)</sup> Erhöhung auf 420 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmesser  $\leq 18$  mm

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Rundstahlliste (Stahl I)

| Pos. | Stück | Ø  | Länge [m] |      | Gew. | Anz. G. | Form                                                                              | Bem.        |
|------|-------|----|-----------|------|------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|      |       |    | einzel.   | ges. |      |         |                                                                                   |             |
| 100  | 25    | 12 | 1,55      |      |      |         | 1.35                                                                              | Steckerisen |
| 101  | 10    | 10 | 2,95      |      |      |         |  |             |

Bewehrung aufer  
Ankerisen in Stahl I

Abbildung 39: Ausschnitt Plan Nr. 7888 (links, 1959) Sohlplatte Unterhaupt

Nach Tabelle 6 des TbW-Merkblattes (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016) und der Angabe einer Stahlbezeichnung "Stahl I" in diversen Bewehrungsplänen lässt die bewehrten Bereiche der rechte Kammerwand der Duktilitätsklasse B nach EC2 zuordnen. Nach Tabelle 6 handelt es sich um einen glatten Rundstahl (DIN 1000, DIN 1612, DIN 488) der Betonstahlgruppe I, der im Verwendungszeitraum zwischen 1943-1972 für Stahlbetonbauwerke eingesetzt wurde.

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|
|                  | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Bewehrt<br>Duktil. 0,0  |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |
| L3 I 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,018                   |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | -0,018                  |
| R3 I 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| R3 I 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | -0,018                  |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | -0,018                  |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018                  |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018                  |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                      |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                      |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                      |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                      |

| Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                                             |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | linke Schleusenammerwand unbewehrt                                                                                                                                    |
| -         | Keine Bewehrung bei Nachweisschnitt 1 (siehe Abbildung)                                                                                                               |
| B         | Betonstabstahl der Betonstahlgruppe I nach Tab. 6 TbW-Merkblatt                                                                                                       |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                       |
| B         | Betonstabstahl der Betonstahlgruppe I nach Tab. 6 TbW-Merkblatt                                                                                                       |
| B         | Betonstabstahl der Betonstahlgruppe I nach Tab. 6 TbW-Merkblatt                                                                                                       |
| B         | Betonstabstahl der Betonstahlgruppe I nach Tab. 6 TbW-Merkblatt                                                                                                       |
| B         | Betonstabstahl der Betonstahlgruppe I nach Tab. 6 TbW-Merkblatt                                                                                                       |
| -         | Keine Bewehrungspläne zur Sohlplatte der Kammern vorhanden                                                                                                            |
| -         | Keine Bewehrungspläne zur Sohlplatte der Kammern vorhanden                                                                                                            |
|           | Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurchsondern entlanggeführt ist. |

Tabelle 47: Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

## Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

Nach vorliegenden Gutachten und Planunterlagen geht aus Akkermann und Becker 2007 und Schneider 2014 hervor, dass die Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn aus Baustahl St IIIb Rippenstahl und gerippten Bau-stahlmatten IVb ausgeführt wurde.

*"Die verwendete Stahlsorte besteht aus der Gruppe IIIb nach der damaligen DIN 488 mit einer Mindeststreckgrenze von 420 N/mm<sup>2</sup>. Die Zugfestigkeit beträgt mindestens 500 N/mm<sup>2</sup> bei einer Bruchdehnung von 8 %. Diese Werte konnten durch Untersuchungen von Material-proben der Schleuse Bamberg, an der dieselbe Stahlsorte eingebaut wurde, bestätigt werden" (Lutz und Fleischer 2009).*

Nach Vergleich mit Tabelle 6 des TbW-Merkblattes kann es sich hierbei sowohl um einen Rippen-Torstahl, einen FILITON-Stahl oder NORECK-Stahl handeln, die allesamt einen annähernd gleichen Verwendungszeitraum zwischen 1960 bis 1973 aufweisen und sich mit der Bauzeit sowie der Fertigstellung der Schleuse Erlangen und Kriegenbrunn decken. Alle drei genannten Beton-stabstahltypen sind nach Tabelle 6 keiner Duktilitätsklasse nach EC2 zuzuteilen und demzufolge gilt es die Robustheit in den jeweiligen Nachweisschnitten abzumindern bzw. die Robustheitsnoten für dieses Kriterium zu erhöhen.

Baustoffe:

B225

St IIIb Ri

*Abbildung 40: Ausschnitt Bewehrungsplan Schleusenkammer Erlangen, Anlage 1.1 – Anlagen-Nr. 1b (Lutz und Fleischer 2009)*

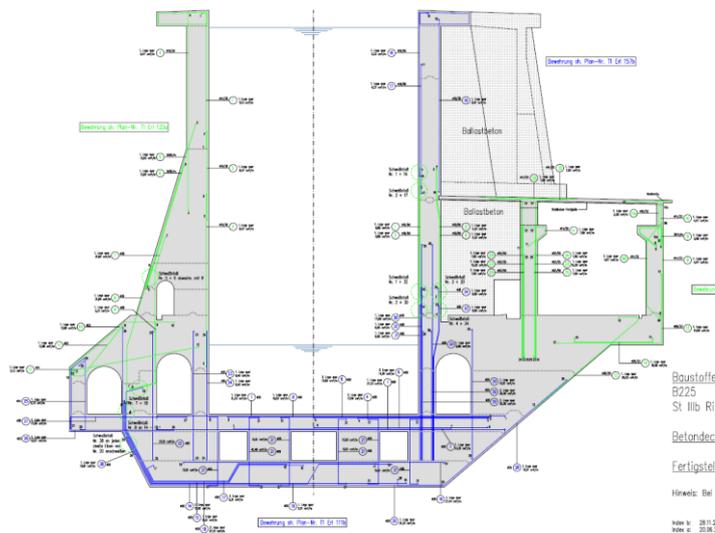


Abbildung 41: Bewehrung Kammerquerschnitt (Block 5) Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|
|                  |               |               |           |               | Bewehrt                 |
|                  |               |               |           |               | Duktil.                 |
|                  |               |               |           |               | 0,0                     |
| Filter           | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                  |
| L1 m 1           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |
| L2 I 2           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |
| L2 I 3           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |
| L2 r 4           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |
| L2 r 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |
| L2 r 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |
| L3 I 5           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |
| L3 I 38          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| L3 I 39          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| L3 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| L3 m 6           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,018                   |
| L3 m 9           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,018                   |
| L3 r 7           | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,018                   |
| L3 r 10          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,018                   |
| R1 m 37          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| R2 m 33          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |
| R2 m 32          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |

| Bewertung | Bemerkung                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden              |
| -         | Betonstahl der Betonstahlgruppe IIIb nach Tab. 6 TbW-Merkbl. |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden              |

Tabelle 48: Teil 1 Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

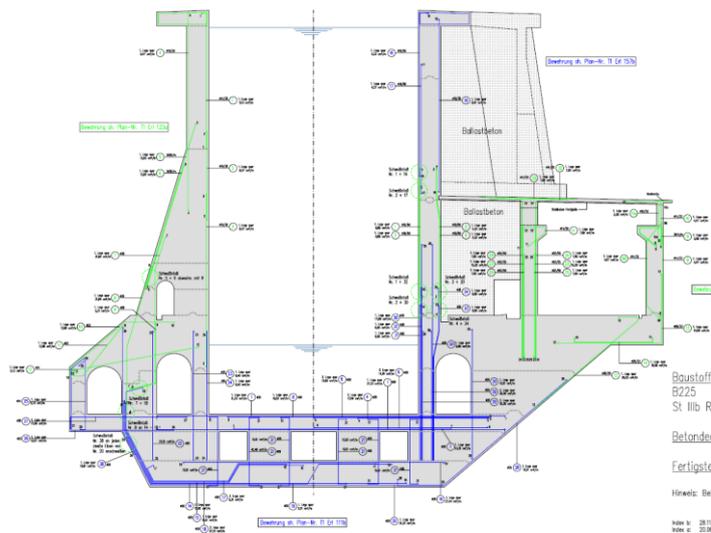


Abbildung 42: Bewehrung Kammerquerschnitt (Block 5) Schleuse Erlangen u. Kriegenbrunn

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |         |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|---------|
|                  |               |               |           |               | Bewehrt                 | Duktil. |
| Filter           | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                  | Filter  |
| R3 l 31          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| R3 l 30          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| R3 l 36          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| R3 r 29          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| R3 r 28          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| Tr r 34          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| Tr r 35          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 13          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 14          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 l 18          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| S1 l 19          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| S1 l 20          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,018                   | 0,018   |
| S1 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,018                   | 0,018   |
| S1 r 22          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 r 23          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 r 24          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 r 25          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 r 26          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0     |
| S1 r 27          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0     |
| G2 l A           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --                      | --      |
| G2 m m           | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             | --                      | --      |
| G2 r B           | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | --                      | --      |

| Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                                              |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -         | Betonstahl der Betonstahlgruppe IIIb nach Tab. 6 TbW-Merkbl.                                                                                                           |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                        |
| -         | Betonstahl der Betonstahlgruppe IIIb nach Tab. 6 TbW-Merkbl.                                                                                                           |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                        |
|           | Nachweischnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |

Tabelle 49: Teil 2: Teil 1 Bewertungsmatrix UK 3.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

### Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

Aufgrund der auszugsweisen Angaben in einer Nachrechnung des Bauwerks WvS Zivilingenieure Partnerschaft 2018 ist keine eindeutige Zuordnung zu einer Duktilitätsklasse nach EC 2 möglich. Zum einen kann es sich bei dem verwendeten Betonstabstahl um die Betonrippenstäbe BSt 420/500 **RU** (III) bzw. BSt 420/500 **RK** (III) nach DIN 488 aus dem Verwendungszeitraum 1972-1984 oder zum anderen um Betonformstahl BSt 500/550 **RU** (IV) bzw. BSt 500/550 **RK** (IV) aus dem Verwendungszeitraum 1973-1984 nach Tabelle 6 des TbW-Merkblattes handeln. Da aus den Unterlagen aber nicht spezifiziert herausgeht, ob ein warmgewalzter unbehandelter (naturharter) Betonrippenstahl (Kurzzeichen **RU**) oder kaltverformte, gerippte Bewehrungsstäbe (Kurzzeichen **RK**) eingebaut wurden, kann keine exakte Zuordnung zur besseren Duktilitätsklasse B sichergestellt werden. Daher wird in diesem Unterkriterium keine Bewertung vorgenommen und auf der sicheren Seite die Duktilitätsklasse A, die einer kaltverformten Bewehrung entspricht, angesetzt.

#### Verwendete Baustoffe

-Betonstahl (Stabstahl): **BSt 420/500**  
 -Betonstahl (Matten): **BSt 420/500**

#### Verwendete Baustoffe

-Betonstahl (Stabstahl): BSt 420/500  
 -Betonstahl (Matten): BSt 500/550

Abbildung 43: Auszug Materialangaben des verwendeten Betonstahls Kanalbrücke Bollensen (WvS Zivilingenieure Partnerschaft 2018)

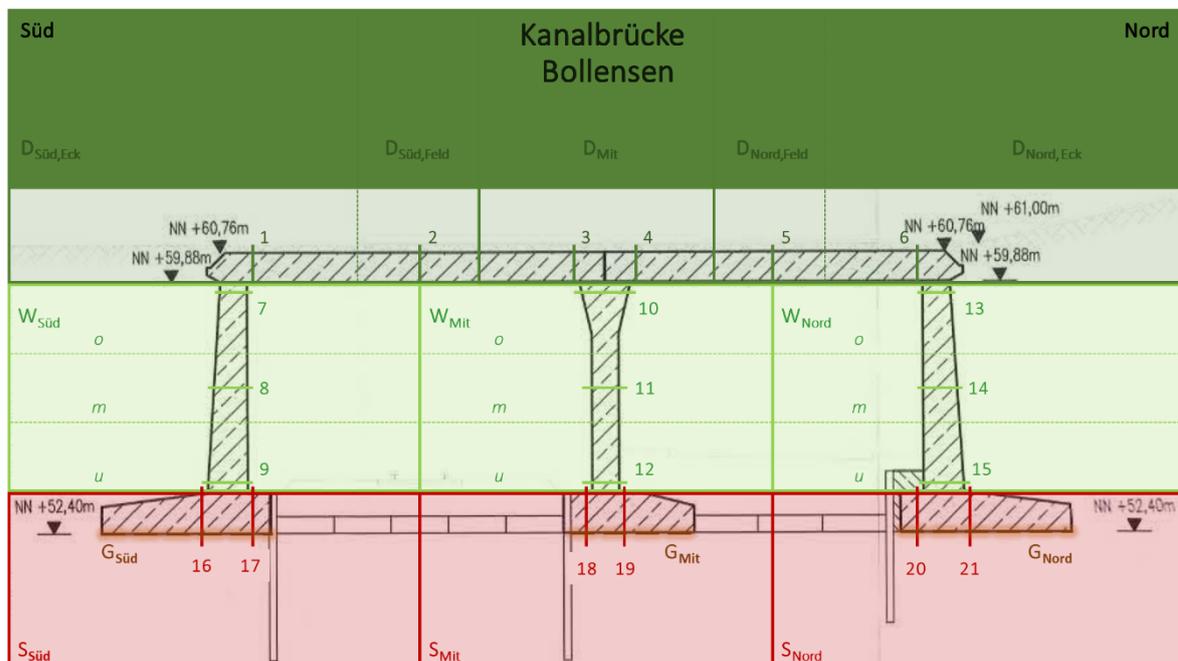


Abbildung 44: Querschnitt der Kanalbrücke Bollensen (Baujahr 1975)

| Schnitt,<br>Bereich                                          | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |         |
|--------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|---------|
|                                                              |               |               |           |               | Bewehrt                 | Duktil. |
| <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |               |               |           |               |                         | 0,0     |
| Filter                                                       | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                  |         |
| D1 m 1                                                       | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             |                         | 0,0     |
| D1 m 2                                                       | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             |                         | 0,0     |
| D2 m 3                                                       | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             |                         | 0,0     |
| D2 m 4                                                       | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             |                         | 0,0     |
| D3 m 5                                                       | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             |                         | 0,0     |
| D3 m 6                                                       | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             |                         | 0,0     |
| W1 o 7                                                       | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| W1 m 8                                                       | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| W1 u 9                                                       | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             |                         | 0,0     |
| W2 o 10                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| W2 m 11                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| W2 u 12                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| W3 o 13                                                      | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             |                         | 0,0     |
| W3 m 14                                                      | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             |                         | 0,0     |
| W3 u 15                                                      | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             |                         | 0,0     |
| S1 m 16                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| S1 m 17                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| S2 m 18                                                      | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             |                         | 0,0     |
| S2 m 19                                                      | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             |                         | 0,0     |
| S3 m 20                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| S3 m 21                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         | 0,0     |
| G2 l a1                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |         |
| G2 m a2                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |         |
| G2 r a3                                                      | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |         |

Bewertung

Bemerkung

Sichere Seite: Zuordnung Duktilitätsklasse A, kein Zu-/Abschlag

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 50: Bewertungsmatrix UK 3.2 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

## 5.6 Unterkriterium UK 3.3 – Mind. (Mindest- und Höchstbewehrung)

Zur Sicherstellung ausreichender Duktilität, zur Aufnahme des Rissmoments und von vorhandener Zwangsschnittgrößen ist gemäß DIN EN 1992-1-1 bei Bauteilen aus Stahlbeton eine Mindestbewehrung erforderlich. Die Mindestbewehrung wird auch als Robustheitsbewehrung deklariert und ermöglicht eine dauerhafte Undurchlässigkeit der Baukonstruktion. Ein zu hoher, lokaler Gehalt an „gefügestörender“ Bewehrung gilt es ebenso zu vermeiden, sodass die vorhandene Bewehrung im angemessenen Verhältnis zur Bauteildicke steht. Durch eine abgestimmten, robuste Bewehrungsdichte, die eine Mindestbewehrung abdeckt, aber nach oben hin durch eine Höchstbewehrung begrenzt ist, können lokale Rissbildungen bis hin zu abplatzenden Betondeckungen vermieden werden.

Unterkriterium UK 3.3 bewertet einerseits die Mindestbewehrung, welche nach DIN EN 1992 (EC2) zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität in einem Bauwerk erforderlich ist sowie die Begrenzung des Bewehrungsgrades in Form einer Höchstbewehrung, um eine vollständige Verdichtung und Umhüllung aller Bewehrungsstäbe mit Beton zu gewährleisten. Ein Regelschnitt ist robuster einzustufen, wenn die eingebaute Bewehrung größer ist als die erforderliche Mindestbewehrung, jedoch unterhalb der maximalen Höchstgrenze der normativen Höchstbewehrung liegt.

Abbildung 45: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.3 – Bewehrungsgrad

|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                     | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                                                          |
| <b>Abgestimmter Bewehrungsgrad: Mindest- und Höchstbewehrung eingehalten?</b>                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>JA</b>                                                                                                                     | <b>NEIN</b>                                                                                                                                                                                                                                               |
| <input type="checkbox"/> Mindest- und Höchstbewehrung nach EC 2 bzw. nach a) bis e) ist in Nachweisschnitt <u>eingehalten</u> | <input type="checkbox"/> Mindest- und Höchstbewehrung nach EC 2 bzw. nach a) bis e) ist in Nachweisschnitt <u>nicht eingehalten oder</u><br><br><input type="checkbox"/> Keine Angaben, Unterlagen oder Ergebnisse in statischen Nachrechnungen vorhanden |

Bei fehlenden Unterlagen eines bewehrten Querschnitts gilt es einen Zuschlag (Verschlechterung) auf die Robustheitsnote zu generieren, ein unbewehrter Querschnitt bleibt bei diesem Unterkriterium neutral und ist hier systematisch nicht zu bewerten.

Zur normativen Ermittlung bzw. Berechnung der Mindest- und Höchstbewehrung dienen die nachfolgenden Seiten auszugsweise als Berechnungshilfen.

Die Angaben bilden eine kompakte Zusammenfassung aus den Schneider-Bautabellen für Ingenieure (Schneider 2014), die vollständigen Berechnungs- und Nachweisschritte sind dem aktuellen Stand der Normung nach Eurocode 2 (Deutsche Norm) mit zugehörigen NA (Deutsche Norm) zu entnehmen.

Falls im Zuge der Nachrechnung zudem keine Ergebnisse zur Mindest- oder Höchstbewehrung vorhanden sind, so stehen EDV-Tools für die gängigsten Nachweise im konstruktiven Ingenieurbau von Schneider-Bautabellen zur Verfügung.

Für die Anwendungsbeispiele dieses Unterkapitels kommen die interaktiven Bemessungshilfen teilweise bei fehlenden Berechnungen zum Einsatz. Im Zweifel gilt es auch hier das Unterkriterium auf der sicheren Seite mit einem entsprechenden Zuschlag auf die Robustheitsnote (= Abminderung der Robustheit) zu bewerten. Sobald die Voraussetzungen zur Einhaltung eines abgestimmten Bewehrungsgrades gegeben und die Einhaltung beider Grenzwerte nachgewiesen sind, kann die Robustheit dahingehend nach oben korrigiert werden.

#### a) **überwiegend biegebeanspruchte Bauteile**

##### **MINDEST(BIEGEZUG)BEWEHRUNG**

Die Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ist für das Rissmoment  $M_{cr}$  mit dem Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons  $f_{ctm}$  und einer Stahlspannung  $\sigma_s = f_{yk}$  zu berechnen.

$$A_{s,min} = M_{cr} / (z_{II} \cdot f_{yk}) \quad (\text{Gl. .1})$$

$$M_{rc} = f_{ctm} \cdot I_1 / z_{I,cl}$$

$z_{II}$  *Hebelarm der inneren Kräfte nach RisUildung (Zustand II)*  
 $I_1$  *Flächenmoment 2. Grades vor RisUildung (Zustand I)*  
 $z_{I,cl}$  *Schwerachsenabstand bis zum Zugrand im Zustand I*

Bei gleichzeitiger Wirkung einer Längskraft  $N$  (ohne Vorspannkraft) gilt

$$A_{s,min} = ((M_{cr,s} / (z_{II}) + N) / f_{yk}) \quad (\text{Gl. .2})$$

$$M_{cr} = (f_{ctm} - (N/A_c)) \cdot I_1 / z_{I,cl}$$
$$M_{cr,s} = M_{cr} - N \cdot z_s$$

$z_s$  *Abstand der Mindestbewehrung von der Schwerachse des ungerissenen Querschnitts*

## Anordnung der Mindestbewehrung

Die Mindestbewehrung ist gleichmäßig über die Zugzonbreite sowie anteilmäßig über die Höhe der Zugzone zu verteilen. Stöße sind für die volle Zugkraft auszubilden. Für die Bewehrungsführung gilt:

- Feldebewehrung: Die untere Mindestbewehrung muss zwischen den Auflagern durchlaufen (hochgeführte Spannglieder und Bewehrung dürfen nicht berücksichtigt werden). Sie ist mit der Mindestverankerungslänge nach Abschn. 5.4.2.1 an den Auflagern zu verankern.
- Stützbewehrung: Über den Innenauflagern ist die obere Mindestbewehrung in beiden anschließenden Feldern über eine Länge von mindestens einem Viertel der Stützweite einzulegen.
- Kragarme: Bei Kragarmen muss die Mindestbewehrung über die gesamte Kraglänge durchlaufen.

## Verzicht auf Mindestbewehrung

In folgenden Fällen darf auf eine Mindestbewehrung verzichtet werden:

Gründungsbauteile und durch Erddruck belastete Wände, wenn das duktile Verhalten durch Umlagerung des Sohl- bzw. Erddrucks sichergestellt werden kann. Dies ist i.d.R. zu erwarten, wenn die Schnittgrößenermittlung für die äußeren Lasten linear-elastisch erfolgt und alle Nachweise der Grenzzustände erfüllt sind. Bei schwierigen Baugrundbedingungen oder komplizierten Gründungen ist dann nachzuweisen, dass ein duktiler Bauteilverhalten durch Boden-Bauwerk-Interaktion sichergestellt ist.

- Platten für die Tragwirkung der Nebenspannrichtung

## HÖCHSTBEWEHRUNG

Die Höchstbewehrung eines Querschnitts darf maximal betragen (auch im Bereich von Übergangsstößen):

$$A_{s,max} = 0,08 \cdot A_c \quad (\text{Gl. .3})$$

$A_c$  Fläche des Betonquerschnitts

## b) Balken- und Vollplattenbewehrung

### MINDESTSCHUBBEWEHRUNG

Für balkenartige Tragwerke ist eine Mindestschubbewehrung vorgeschrieben. Es gilt:

$$A_{sw}/s \geq \rho_{w,min} \cdot (b_w \cdot \sin \alpha) \quad (\text{Gl. 4})$$

|                |                                                                    |
|----------------|--------------------------------------------------------------------|
| $A_{sw}/s$     | Querschnitt der Schubbewehrung je Längeneinheit                    |
| $\rho_{w,min}$ | Mindestbewehrungsgrad (Tabellenwert in Abhängigkeit von $f_{ck}$ ) |
| $b_w$          | maßgebende Stegbreite                                              |
| $\alpha$       | Neigungswinkel der Schubbewehrung                                  |

### HÖCHSTABSTÄNDE DER SCHUBBEWEHRUNG

Die Höchstabstände der Schubbewehrung sind sowohl für den Längs- als auch den Querabstand in Abhängigkeit der Schubbeanspruchung der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

| Schubbeanspruchung <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                               | Bügelabstände $s_{max}$   |                          |                         |                         | Schrägstäbe<br>Längsabstand<br>(Querabstand<br>s. Bügel) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                | Längsabstand              |                          | Querabstand             |                         |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                | $\leq C50/60$             | $> C50/60$               | $\leq C50/60$           | $> C50/60$              |                                                          |
| $0 \leq V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 0,30$                                                                                                                                                                                                           | $0,7h^2 \leq 30\text{cm}$ | $0,7h \leq 20\text{cm}$  | $1,0h \leq 80\text{cm}$ | $1,0h \leq 60\text{cm}$ | $s_{max} \leq 0,5h(1+\cot \alpha)$                       |
| $0,30 < V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 0,60$                                                                                                                                                                                                           | $0,5h \leq 30\text{cm}$   | $0,5h \leq 20\text{cm}$  | $1,0h \leq 60\text{cm}$ | $1,0h \leq 40\text{cm}$ |                                                          |
| $0,60 < V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1,00$                                                                                                                                                                                                           | $0,25h \leq 20\text{cm}$  | $0,25h \leq 20\text{cm}$ | $1,0h \leq 60\text{cm}$ | $1,0h \leq 40\text{cm}$ |                                                          |
| <sup>1)</sup> $V_{Rd,max}$ darf hierfür näherungsweise mit $\theta = 40^\circ$ bestimmt werden.<br><sup>2)</sup> Bei Balken mit $h \leq 20\text{cm}$ und $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ braucht der Abstand nicht kleiner als 15 cm gewählt zu werden. |                           |                          |                         |                         |                                                          |

Abbildung 46: Höchstabstände der Schubbewehrung von Balken (Schneider 2014)

c) Stützen und Druckglieder

**MINDESTBEWEHRUNG (LÄNGUEWEHRUNG)**

$$A_{s,min} \geq 0,15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \quad (\text{Gl. .5})$$

$N_{Ed}$  Bemessungslängsdruckkraft

$f_{yd}$  Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze

**MINESTDURCHMESSER (LÄNGUEWEHRUNG)**

$$\varnothing_l \geq 12 \text{ mm} \quad (\text{Gl. .6})$$

**MINESTDURCHMESSER (BÜGELBEWEHRUNG)**

$$\text{Durchmesser } \varnothing_{Bü} \geq \{6 \text{ mm (Stabstahl)}; 5 \text{ mm (Matte)}; \varnothing_l / 4\} \quad (\text{Gl. .7})$$

**MINDESTANZAHL (LÄNGUEWEHRUNG)**

Polygonaler Querschnitt: 1 Stab je Ecke

Kreisquerschnitt: 6 Stäbe

**HÖCHSTBEWEHRUNG (LÄNGUEWEHRUNG)**

$$A_{s,max} \leq 0,09 \cdot A_c \quad (\text{Gl. .8})$$

(auch im Bereich von Stößen)

$A_c$  Fläche des Betonquerschnitts

**HÖCHSTABSTAND (LÄNGUEWEHRUNG)**

$$s_l \leq 30 \text{ cm} \quad (\text{Gl. .9})$$

**HÖCHSTABSTAND (BÜGELBEWEHRUNG)**

$$U_{\bar{u}} \leq \{12 \varnothing; \min h; 30 \text{ cm}\} \quad (\text{Gl. .10})$$

## d) Wände

### MINDESTBEWEHRUNG (LOTRECHTE BEWEHRUNG)

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot |N_{Ed}| / f_{yd} \geq 0,0015 A_c \quad \text{Allgemein} \quad (\text{Gl. .11})$$

$$A_{s,min} \geq 0,0030 A_c \quad (\text{Gl. .12})$$

$$|N_{Ed}| \geq 0,3 f_{cd} \cdot A_c$$

oder bei schlanken Wänden

Die Hälfte dieser Bewehrung sollte an jeder Außenseite liegen.

$N_{Ed}$  Bemessungslängsdruckkraft

$f_{yd}$  Bemessungswert der Betonstahlstreckgrenze

$A_c$  Fläche des Betonquerschnitts

### MINDESTBEWEHRUNG (WAAGERECHE BEWEHRUNG)

20 % der lotrechten Bewehrung *Allgemein*

50 % der lotrechten Bewehrung

$|N_{Ed}| \geq 0,3 f_{cd} \cdot A_c$  oder bei schlanken Wänden

Anordnung der waagerechten Bewehrung i.d.R. außen (zwischen der lotr. Bewehrung und der Wandoberfläche)

### MINDESTDURCHMESSER (WAAGERECHE BEWEHRUNG)

$\geq \frac{1}{4}$  des Durchmessers der Längsbewehrung (Gl. .13)

### HÖCHSTBEWEHRUNG (LOTRECHTE BEWEHRUNG)

$$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot A_c \quad (\text{Gl. .14})$$

Im Bereich von Übergreifungsstößen darf der Wert verdoppelt werden.

### HÖCHSTABSTAND (LOTRECHTE BEWEHRUNG)

Stababstand  $s \leq 300 \text{ mm}$  und  $\leq 2 h$  (Gl. .15)

$h$  Wanddicke

### HÖCHSTABSTAND (WAAGERECHE BEWEHRUNG)

Stababstand  $s \leq 350 \text{ mm}$  (Gl. .16)

## e) Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissweiten

Zur Aufnahme von Zwangseinwirkungen und Eigenstressen ist eine Mindestbewehrung anzunehmen, die für die Risschnittgrößen zu bemessen ist. Der erforderliche Mindestquerschnitt kann mit Gleichung (Gl. 17) bestimmt werden:

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \quad (Gl. 17)$$

|              |                                                                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{s,min}$  | Betonstahlbewehrung in der Zugzone                                                                                                                                   |
| $\sigma_s$   | zulässige Spannung in der Bewehrung zur Begrenzung der Rissbreite in Abhängigkeit vom Grenzdurchmesser $\varnothing_s^*$ nach Tafel 5.97a                            |
| $k_c$        | Faktor zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung in der Zugzone $A_{ct}$ vor Rissbildung sowie der Änderung des inneren Hebelarms beim Übergang in den Zustand II |
| $k$          | Faktor zur Berücksichtigung einer nichtlinearen Spannungsverteilung                                                                                                  |
| $f_{ct,eff}$ | Zugfestigkeit des Betons beim Auftreten der Risse                                                                                                                    |
| $A_{ct}$     | Betonquerschnitt oder -teilquerschnitt in der Zugzone unmittelbar vor der Rissbildung                                                                                |

### ZENTRISCHER ZWANG BEI "DICKEN BAUTEILEN"

Bei dickeren Bauteilen darf die Mindestbewehrung je Querschnittsseite unter Berücksichtigung einer effektiven Randzone  $A_{c,eff}$  berechnet werden:

$$A_{s,min} = f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff} / \sigma_s \quad (Gl. 18)$$

wobei für  $A_{s,min}$  jedoch mindestens gilt:

$$A_{s,min} \geq k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / f_{yk} \quad (Gl. 19)$$

|              |                                                                                                                                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{s,min}$  | Betonstahlbewehrung in der Zugzone                                                                                                                       |
| $f_{ct,eff}$ | Zugfestigkeit des Betons beim Auftreten der Risse                                                                                                        |
| $A_{c,eff}$  | $= h_{eff} \cdot b$ ; Wirkungsbereich der Bewehrung                                                                                                      |
| $\sigma_s$   | zulässige Spannung in der Bewehrung zur Begrenzung der Rissweite in Abhängigkeit vom Grenzdurchmesser $\varnothing_s^*$ nach Tafel 5.97a                 |
| $k$          | Faktor zur Berücksichtigung einer nichtlinearen Spannungsverteilung                                                                                      |
| $A_{ct}$     | Betonquerschnitt oder -teilquerschnitt der Zugzone unmittelbar vor Rissbildung; $A_{ct}$ bezieht sich auf eine Bauteilseite (i.d.R. $A_{ct} = 0,25 hb$ ) |
| $f_{yk}$     | charakteristische Betonstahlstreckgrenze                                                                                                                 |

## Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Nach Angabe der BAW (Referat Massivbau, Abteilung Bautechnik) erfolgten für die Schleuse Horkheim kein Nachweis und/oder keine Berechnungen der Mindest- und Höchstbewehrung. Die linke (Regelbereiche L1, L2 und L3) und mittlere Kammerwand (Regelbereiche M1, M2 und M3) sind nach Planunterlagen vollständig unbewehrt ausgebildet, somit könnte sich das Unterkriterium 3.3 ausschließlich für die rechte Kammerwand positiv auf eine lokale Bauwerksrobustheit auswirken. Durch eine manuelle Überprüfung der Mindestbewehrung mit EDV-Tools der Schneider-Bautabellen (Schneider 2014) kann aufgrund großer Abstände der Bewehrungsstäbe lediglich Nachweisschnitt 4 in seiner Robustheit verbessert werden. Bei dem betrachteten Beispiel wird zudem angenommen, dass die Höchstbewehrung nicht überschritten wird.

| Schnitt,<br>Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |       |
|---------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|-------|
|                     |               |               |           |               | Bewehrt                 | Mind. |
|                     |               |               |           |               | 0,0                     |       |
| Filter              | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                  |       |
| L1 m a1             | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |       |
| L2 m 12             | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |       |
| L3 l 13             | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |       |
| L3 m 14             | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| M1 m a2             | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     |       |
| M2 m 9              | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     |       |
| M3 m 10             | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |       |
| R1 m 1              | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044                   |       |
| R2 m 2              | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | 0,044                   |       |
| R3 l 7              | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| R3 l 6              | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,044                   |       |
| R3 m 3              | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,044                   |       |
| R3 m 5              | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,044                   |       |
| R3 r 4              | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,044                  |       |
| S1 m a3             | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,044                   |       |
| S2 m a4             | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,044                   |       |
| G1 m B              | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                      |       |
| G1 m 15             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |       |
| G2 m A              | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                      |       |
| G2 m 11             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      |       |
| G3 m D              | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                      |       |
| G3 m 8              | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                      |       |

| Bewertung                                                                                                                                                               | Bemerkung                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| k. A.                                                                                                                                                                   | linke Schleusenkammerwand unbewehrt |
| Nein                                                                                                                                                                    | Mindestbewehrung nicht eingehalten  |
|                                                                                                                                                                         | Kann nicht erhöht/verringert werden |
| Nein                                                                                                                                                                    | Mindestbewehrung nicht eingehalten  |
| Ja                                                                                                                                                                      | Annahme: eingehalten                |
| Nein                                                                                                                                                                    | Mindestbewehrung nicht eingehalten  |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |                                     |

Tabelle 51: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

## Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

"...Die Bewehrung wurde mit einem Bewehrungsgrad von knapp 33 kg Betonstahl/m<sup>3</sup> Beton sehr sparsam eingelegt. Aus heutiger Sicht konstruktiv erforderliche Bewehrung zur Aufnahme unberücksichtigter Eigenspannungen, Schrägbewehrung in Ecken usw. fehlt teilweise. Die Forderungen einer duktilitätsgewährenden Mindestbewehrung nach DIN 1045-1 bzw. ZTV-W 2015 (2005) sind nicht erfüllt..." (Lutz und Fleischer 2008)

"...Heute übliche Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (RisUreitenbegrenzung) wurden nicht geführt; Mindestbewehrung im heutigen Sinn wurde ebenfalls nicht eingebaut. Letzt-endlich erfolgten keine Nachweise bezüglich Materialermüdung, die bei der Planung heutiger Schleusen nicht selten bemessungsrelevant sind..." (Lutz und Fleischer 2008)

| Schnitt,<br>Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |       |
|---------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|-------|
|                     |               |               |           |               | Bewehrt                 | Mind. |
|                     |               |               |           |               | 0,0                     |       |
| Filter              | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | Filter                  |       |
| L1 m 1              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |       |
| L2 l 2              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |       |
| L2 l 3              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |       |
| L2 r 4              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |       |
| L2 r 12             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     |       |
| L2 r 8              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |       |
| L3 l 5              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     |       |
| L3 l 38             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| L3 l 39             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| L3 m 11             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| L3 m 6              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,044                   |       |
| L3 m 9              | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,044                   |       |
| L3 r 7              | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,044                   |       |
| L3 r 10             | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,044                   |       |
| R1 m 37             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| R2 m 33             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |
| R2 m 32             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |       |

| Bewertung   | Bemerkung                                       |
|-------------|-------------------------------------------------|
|             | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| <b>Nein</b> | Mindestbewehrung nicht eingehalten              |
|             | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |

Tabelle 52: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

| Schnitt,<br>Bereich                 | Max. Note (T)                       | Max. Note (G)                       | Max. Note                           | Anz. krit. NW                       | 3. Verformungsfähigkeit                |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
|                                     |                                     |                                     |                                     |                                     | Bewehrt                                |
|                                     |                                     |                                     |                                     |                                     | Mind. <input type="text" value="0,0"/> |
| <input type="text" value="Filter"/>    |
| R3 l 31                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| R3 l 30                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| R3 l 36                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| R3 r 29                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| R3 r 28                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| Tr r 34                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| Tr r 35                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 13                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 3                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 14                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 3                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 15                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 3                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 16                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 17                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 l 18                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| S1 l 19                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| S1 l 20                             | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| S1 m 21                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,044"/>     |
| S1 r 22                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 r 23                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 r 24                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 1                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 r 25                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 2                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 r 26                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 2                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| S1 r 27                             | 5,0                                 | 0,0                                 | 5,0                                 | 2                                   | <input type="text" value="0,0"/>       |
| G2 l A                              | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | --                                     |
| G2 m m                              | 3,0                                 | 3,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | --                                     |
| G2 r B                              | 3,0                                 | 0,0                                 | 3,0                                 | 0                                   | --                                     |

| Bewertung                                                                                                                                                             | Bemerkung                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Nein                                                                                                                                                                  | Mindestbewehrung nicht eingehalten              |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein                                                                                                                                                                  | Mindestbewehrung nicht eingehalten              |
|                                                                                                                                                                       | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurchsondern entlanggeführt ist. |                                                 |

Tabelle 53: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegenbr.

### Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

Zum derzeitigen Stand der Forschung liegen teilweise Berechnungsergebnisse und Nachweise zur Überprüfung einer Mindestbewehrung des Bauwerks (WvS Zivilingenieure Partnerschaft 2018) vor. Die Eingaben werden unter der Annahme getätigt, dass die Höchstbewehrung nicht überschritten wird bzw. zur damaligen Bauzeit nicht überschritten wurde.

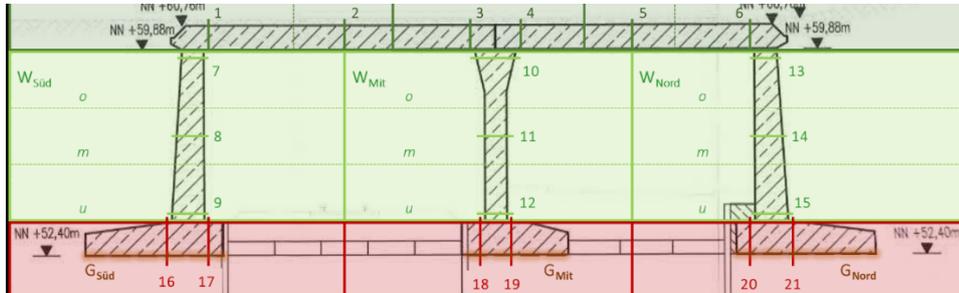


Abbildung 47: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche der Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |        | Bewertung                                                                                                                                                               | Bemerkung                                       |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                  |               |               |           |               | Bewehrt                 | Mind.  |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| D1 m 1           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     | -0,044 | Ja                                                                                                                                                                      | Mindest- und Höchstbewehrung eingehalten        |
| D1 m 2           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| D2 m 3           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| D2 m 4           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| D3 m 5           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| D3 m 6           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W1 o 7           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein                                                                                                                                                                    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| W1 m 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W1 u 9           | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,044                   | 0,044  |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W2 o 10          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein                                                                                                                                                                    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| W2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W2 u 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W3 o 13          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,0                     | -0,044 | Ja                                                                                                                                                                      | Mindest- und Höchstbewehrung eingehalten        |
| W3 m 14          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| W3 u 15          | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,044                   | 0,044  | Nein                                                                                                                                                                    | Nicht eingehalten                               |
| S1 m 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein                                                                                                                                                                    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| S1 m 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| S2 m 18          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,0                     | -0,044 | Ja                                                                                                                                                                      | Mindest- und Höchstbewehrung eingehalten        |
| S2 m 19          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,0                     | -0,044 |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| S3 m 20          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein                                                                                                                                                                    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| S3 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| G2 l a1          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --     | Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |                                                 |
| G2 m a2          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --     |                                                                                                                                                                         |                                                 |
| G2 r a3          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --     |                                                                                                                                                                         |                                                 |

Tabelle 54: Bewertungsmatrix UK 3.3 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

### 5.6.1 Unterkriterium UK 3.4 – Rotat. (Rotationsvermögen)

In diesem Kriterium wird das Bauwerks- und Bauteilverhalten anhand geometrischer Eigenschaften bewertet. Insbesondere ein ausreichendes Rotationsvermögen ist die Grundbedingung für die Verformungsstabilität und die damit verknüpfte Duktilität der Querschnitte. Die Rotationsfähigkeit ist abhängig von der Querschnitts- und Knotengeometrie, wobei beispielsweise gedrungene, kompakte Querschnitte und eine Umschnürung der Druckzone durch eine enge Verbügelung das Rotationsvermögen und dementsprechend die Verformungsfähigkeit im gesamten begünstigen.

Da Duktilität (plastische Verformungsfähigkeit) erst durch ein ausreichendes Rotationsvermögen in Bereichen möglicher Fließgelenke ermöglicht wird, gliedert sich die plastische Rotationskapazität als viertes Unterkriterium in das Kriterium der Verformungsfähigkeit ein. Das Verformungsverhalten der jeweiligen Regelschnitte und des Gesamttragwerks ist u.a. von deren Querschnitts- und Knotengeometrie abhängig. Dabei können gedrungene Querschnitte und/oder umschnürte Druckzonen über ein ausreichendes Rotationsvermögen sowie ein duktileres Bauteilverhalten verfügen. In diesem Zusammenhang stuft auch das TbW-Merkblatt der BAW scheiben- bzw. plattenförmige Querschnitte mit massigen Abmessungen (Dicken > 80 cm) als duktile Wasserbauwerke ein.

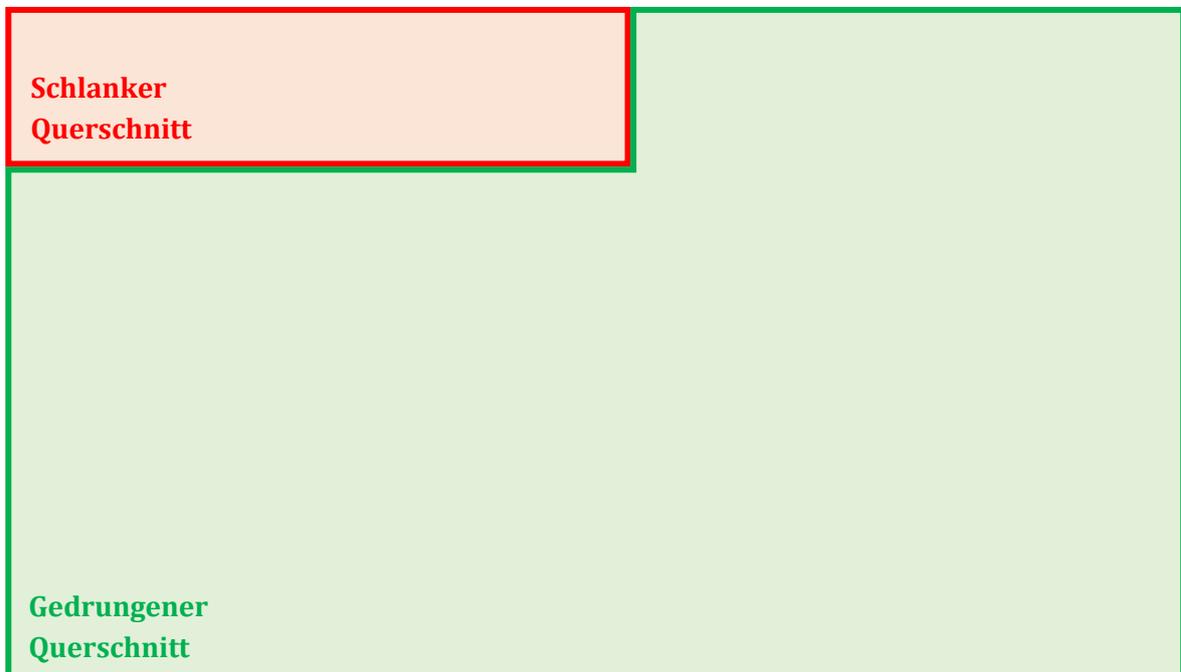


Abbildung 48: Definition schlanker und gedrungener Querschnitte (BAUSTATIK MediaWiki)

Definitionsgemäß spricht man von einem gedrunenen Querschnitt beispielsweise bei einem Druckglied mit geringer bzw. kleiner Schlankheit oder bei einem Höhen-Länge-Verhältnis  $h/l > 0,5$  ( $H/B > 0,5$ ). Ein schlanker Querschnitt besitzt ein Verhältnis von Höhe zu Länge  $h/l \leq 0,5$  (bzw. von Höhe zu Breite  $H/B \leq 0,5$ ). (Pötzl 1996), (BAUSTATIK MediaWiki)

Abbildung 49: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.4 – Rotationsvermögen

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                                                                    | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                     |
| <b>Rotationsvermögen:<br/>gedrunener Querschnitt und/oder Umschnürung der Druckzone vorhanden?</b>                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                      |
| <b>JA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>NEIN</b>                                                                                                                                                                          |
| <input type="checkbox"/> Bauteildicke > 80 cm<br><b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Gedrunener Querschnitt mit $h/l > 0,5$ (BAUSTATIK MediaWiki) ( $H/B > 0,5$ (Pötzl 1996)) <b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Umschnürung der Druckzone bspw. durch entsprechende Bügelbewehrung | <input type="checkbox"/> Schlanker Querschnitt $h/l \leq 0,5$ (BAUSTATIK MediaWiki) ( $H/B \leq 0,5$ (Pötzl 1996)) <b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Bauteildicke $\leq 80$ cm |

Wenn ein Faktor positiv erfüllt werden kann (Checkbox: Ja; linke Seite Abbildung 49) und somit ein Querschnitt rotationsfähige Eigenschaften aufweist, dann verbessert diese Attribute die lokale Bauwerksrobustheit. Liegt aber ein schlanker Querschnitt mit einem Verhältnis der Bauteilabmessungen  $h/l \leq 0,5$  (bzw.  $H/B \leq 0,5$ ) **oder** ein Querschnitt mit einer Bauteildicke  $\leq 80$  cm vor, so ist die Rotation eingeschränkt und die Robustheit örtlich geschwächer als vergleichbare Nachweisschnitte in gedrunenen Bereichen. Die linke Seite der Checkbox wird somit maßgebend, sobald eine der beiden angegebenen Abfragekriterien zutrifft.

Da die Bauart von Verkehrswasserbauwerke überwiegend durch massige Abmessungen mit Bauteildicken  $> 80$  cm bestimmt wird werden diese kritischer anhand der Checkliste nach Abbildung 49 auf deren  $h/l$ -Verhältnisse untersucht. Die Höhe  $h$  entspricht hierbei immer der unmittelbaren Querschnittsdicke am Nachweisschnitt, die Länge  $l$  bzw. Breite  $B$  der Länge des Bauteilabschnittes. Als Länge eines Bauteils kann auch hier jeweils die interne Systemlinien der statischen Systeme hinzugezogen oder die direkte lichte Weite von Bauteilen angesetzt werden.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

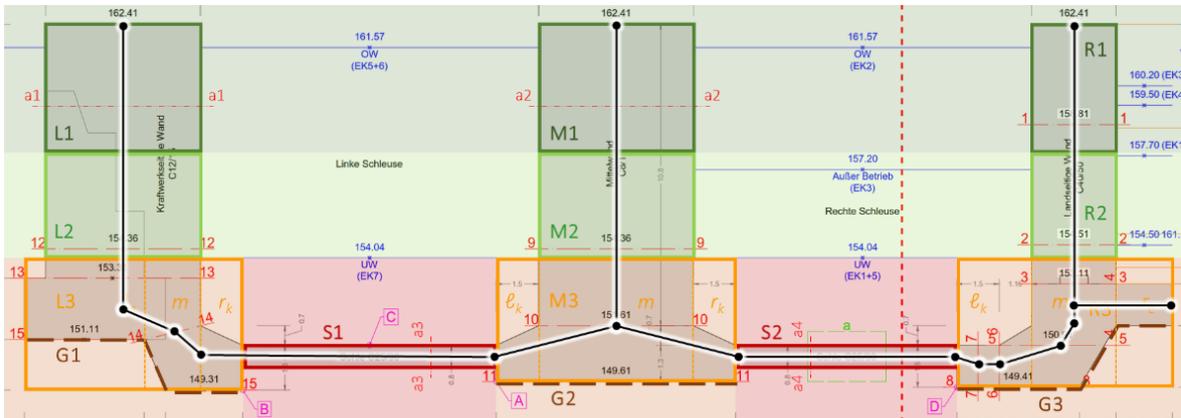


Abbildung 50: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |        | Bewertung | h/l (H/B) | Bemerkung                     |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------|-----------|-----------|-------------------------------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein               | Rotat. |           |           |                               |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,54    | Bauteildicke = 5,50 m > 80 cm |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,51    | Bauteildicke = 5,50 m > 80 cm |
| L3 l 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,81    | Bauteildicke = 1,50 m > 80 cm |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,54    | Bauteildicke = 5,50 m > 80 cm |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,51    | Bauteildicke = 5,50 m > 80 cm |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | 0,051  | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | 0,0                     | 0,051  | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| R3 l 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| R3 l 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,81    | Bauteildicke = 1,50 m > 80 cm |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,051  | Nein      | ≈ 0,32    | Bauteildicke = 3,00 m > 80 cm |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,81    | Bauteildicke = 3,45 m > 80 cm |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,051 | Ja        | ≈ 0,81    | Bauteildicke = 3,45 m > 80 cm |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0                     | 0,051  | Nein      | ≈ 0,10    | Bauteildicke = 0,80 m > 80 cm |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0                     | 0,051  | Nein      | ≈ 0,10    | Bauteildicke = 0,80 m > 80 cm |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                      | --     |           |           |                               |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --     |           |           |                               |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                      | --     |           |           |                               |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --     |           |           |                               |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                      | --     |           |           |                               |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                      | --     |           |           |                               |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 55: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

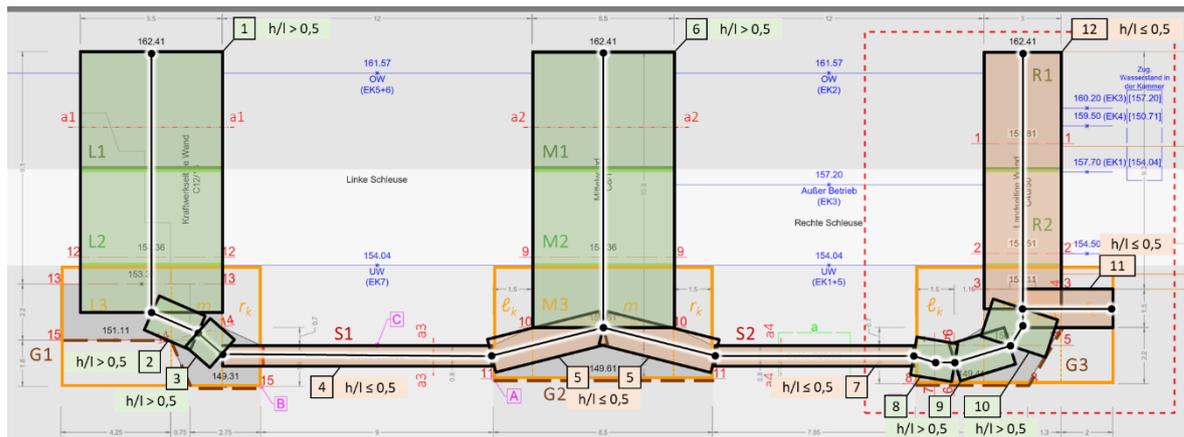


Abbildung 51: Bewertung Rotationsvermögen über  $h/l$ -Verhältnis Schleuse Horkheim

Tabelle 56: Berechnung  $h/l$ -Verhältnis des Rotationsvermögens Schleuse Horkheim

|    |                            |                            |                    |                  |                            |
|----|----------------------------|----------------------------|--------------------|------------------|----------------------------|
| 1  | $h = 5,50 \text{ m}$       | $l = 10,20 \text{ m}$      | $h/l \approx 0,54$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt a1, 12, 13 |
| 2  | $h \approx 1,20 \text{ m}$ | $l = 2,00 \text{ m}$       | $h/l \approx 0,60$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 14         |
| 3  | $h \approx 1,85 \text{ m}$ | $l \approx 1,20 \text{ m}$ | $h/l \approx 1,54$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 14         |
| 4  | $h = 0,80 \text{ m}$       | $l = 10,50 \text{ m}$      | $h/l \approx 0,08$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt a3         |
| 5  | $h \approx 1,60 \text{ m}$ | $l \approx 4,40 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,36$ | <b>&lt; 0,50</b> | (Nachweisschnitt 10)       |
| 6  | $h = 5,50 \text{ m}$       | $l = 10,80 \text{ m}$      | $h/l \approx 0,51$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitte a2, 9, 10 |
| 7  | $h = 0,80 \text{ m}$       | $l = 7,85 \text{ m}$       | $h/l \approx 0,10$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt a4         |
| 8  | $h \approx 1,15 \text{ m}$ | $l = 1,55 \text{ m}$       | $h/l \approx 0,74$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 6, 7       |
| 9  | $h \approx 1,50 \text{ m}$ | $l \approx 1,85 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,81$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 5, 6       |
| 10 | $h \approx 3,00 \text{ m}$ | $l \approx 1,85 \text{ m}$ | $h/l \approx 1,62$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 5          |
| 11 | $h = 1,50 \text{ m}$       | $l = 3,50 \text{ m}$       | $h/l \approx 0,43$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 4          |
| 12 | $h = 3,00 \text{ m}$       | $l = 9,30 \text{ m}$       | $h/l \approx 0,32$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 1, 2, 3    |

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

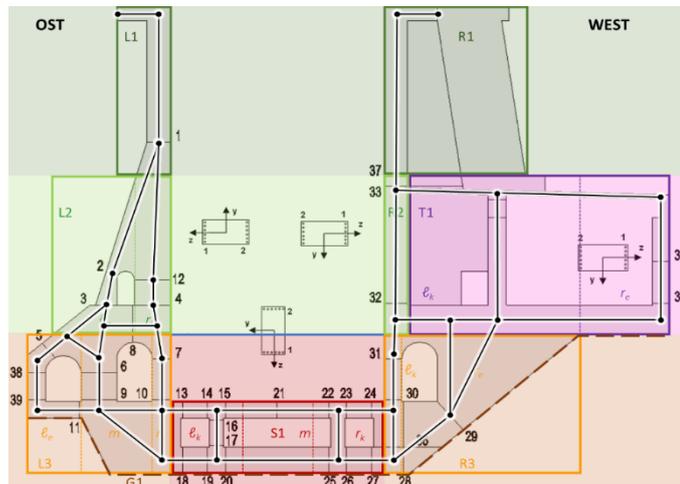


Abbildung 52: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |        | Bewertung                                       | h/l (H/B) | Bemerkung                     |      |        |                            |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------|-------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|------|--------|----------------------------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein               | Rotat. |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L1 m 1           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |           |                               |      |        |                            |
| L2 l 2           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L2 l 3           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L2 r 4           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L2 r 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L2 r 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 l 5           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 l 38          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 l 39          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 m 6           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,051                  | -0,051 | Ja                                              | ≈ 0,62    | Bauteildicke = 2,00 m > 80 cm |      |        |                            |
| L3 m 9           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,051                  | -0,051 | Nein                                            | ≈ 0,29    | Bauteildicke = 1,00 m > 80 cm |      |        |                            |
| L3 r 7           | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,051                   | 0,051  |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| L3 r 10          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,051                   | 0,051  | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |           |                               |      |        |                            |
| R1 m 37          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| R2 m 33          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| R2 m 32          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |                                                 |           |                               |      |        |                            |
| R3 l 31          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,051                   | 0,051  |                                                 |           |                               | Nein | ≈ 0,16 | Bauteildicke = 1,30 m > 80 |
| R3 l 30          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,051                   | 0,051  |                                                 |           |                               | Nein | ≈ 0,29 | Bauteildicke = 1,00 m > 80 |
| R3 l 36          | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | -0,051                  | -0,051 |                                                 |           |                               | Ja   | ≈ 0,75 | Bauteildicke ≈ 6,60 m > 80 |

Tabelle 57: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

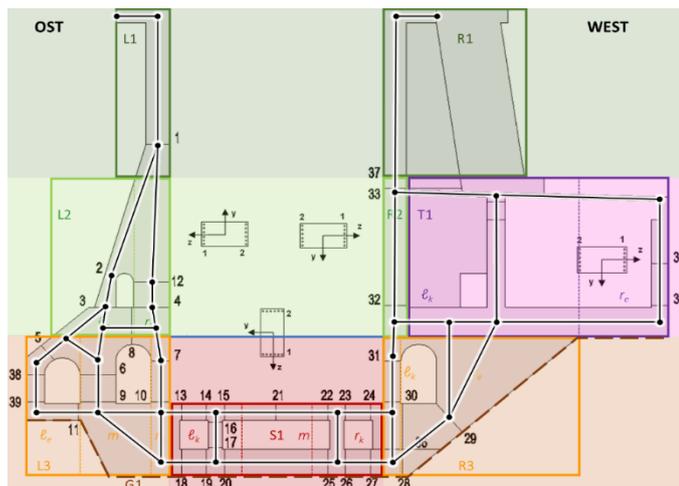


Abbildung 53: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

| Schnitt,<br>Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |        | Bewertung | h/l (H/B) | Bemerkung                                       |
|---------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------|-----------|-----------|-------------------------------------------------|
|                     |               |               |           |               | Allgemein               | Rotat. |           |           |                                                 |
| Filter              | Filter        | Filter        | Filter    | Filter        | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| R3 r 29             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| R3 r 28             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| Tr r 34             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| Tr r 35             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 l 13             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    |           |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| S1 l 14             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 l 15             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 l 16             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 l 17             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 l 18             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,051                   | 0,051  | Nein      | ≈ 0,22    | Bauteildicke = 1,50 m > 80 cm                   |
| S1 l 19             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,051                   | 0,051  | Nein      | ≈ 0,15    | Bauteildicke = 1,00 m > 80 cm                   |
| S1 l 20             | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             | 0,051                   | 0,051  |           |           |                                                 |
| S1 m 21             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,051                   | 0,051  |           |           |                                                 |
| S1 r 22             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 r 23             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 r 24             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 r 25             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 r 26             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| S1 r 27             | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 2             | 0,0                     | 0,0    |           |           |                                                 |
| G2 l A              | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             |                         |        |           |           |                                                 |
| G2 m m              | 3,0           | 3,0           | 3,0       | 0             |                         |        |           |           |                                                 |
| G2 r B              | 3,0           | 0,0           | 3,0       | 0             |                         |        |           |           |                                                 |

Tabelle 58: Teil 2: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

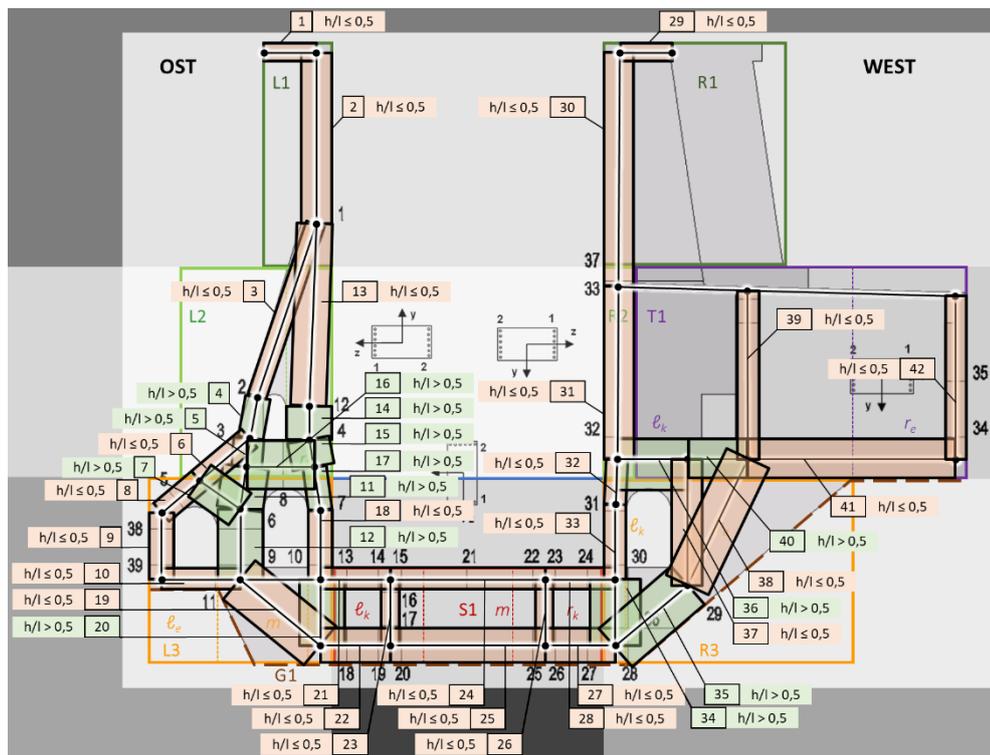


Abbildung 54: Bewertung Rotationsfähigkeit über  $h/l$ -Verhältnis Schleuse Erl./Kriegenbr.

Tabelle 59: Berechnung  $h/l$ -Verhältnis der Rotationsfähigkeit Schleuse Erlangen/Kriegenbrunn

|    |                      |                      |                    |                  |                        |
|----|----------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| 1  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 2,35 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,43$ | <b>&lt; 0,50</b> |                        |
| 2  | $h = 1,30 \text{ m}$ | $l = 7,21 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,18$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 1      |
| 3  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 7,89 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,13$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 1, 2   |
| 4  | $h = 1,10 \text{ m}$ | $l = 2,00 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,55$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 2, 3   |
| 5  | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 1,00 \text{ m}$ | $h/l \approx 2,00$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 3      |
| 6  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 3,16 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,32$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 3      |
| 7  | $h = 1,65 \text{ m}$ | $l = 2,30 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,72$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 6      |
| 8  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 2,63 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,38$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 5      |
| 9  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 3,20 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,31$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 38, 39 |
| 10 | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 3,50 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,29$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 11     |
| 11 | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 1,50 \text{ m}$ | $h/l \approx 1,33$ | <b>&gt; 0,50</b> |                        |
| 12 | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 3,25 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,62$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 6, 9   |
| 13 | $h = 1,65 \text{ m}$ | $l = 8,39 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,20$ | <b>&lt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 1, 12  |
| 14 | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 1,50 \text{ m}$ | $h/l \approx 1,33$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 4, 12  |
| 15 | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 1,00 \text{ m}$ | $h/l \approx 2,00$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 4      |
| 16 | $h = 2,00 \text{ m}$ | $l = 2,60 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,77$ | <b>&gt; 0,50</b> | Nachweisschnitt 8      |

|    |            |             |            |        |                            |
|----|------------|-------------|------------|--------|----------------------------|
| 17 | h = 1,50 m | l = 2,50 m  | h/l ≈ 0,60 | > 0,50 | Nachweisschnitt 7          |
| 18 | h = 1,00 m | l = 3,50 m  | h/l ≈ 0,29 | < 0,50 | Nachweisschnitt 7, 10      |
| 19 | h ≈ 2,20 m | l = 4,58 m  | h/l ≈ 0,48 | < 0,50 |                            |
| 20 | h = 2,20 m | l = 4,00 m  | h/l ≈ 0,55 | > 0,50 |                            |
| 21 | h = 1,00 m | l = 3,10 m  | h/l ≈ 0,32 | < 0,50 | Nachweisschnitt 13, 14     |
| 22 | h = 1,50 m | l = 3,10 m  | h/l ≈ 0,48 | < 0,50 | Nachweisschnitt 18, 19     |
| 23 | h = 0,80 m | l = 2,95 m  | h/l ≈ 0,27 | < 0,50 | Nachweisschnitt 16,17      |
| 24 | h = 1,00 m | l = 6,80 m  | h/l ≈ 0,15 | < 0,50 | Nachweisschnitt 15, 21, 22 |
| 25 | h = 1,50 m | l = 6,80 m  | h/l ≈ 0,22 | < 0,50 | Nachweisschnitt 20, 25     |
| 26 | h = 0,80 m | l = 2,95 m  | h/l ≈ 0,27 | < 0,50 |                            |
| 27 | h = 1,50 m | l = 3,10 m  | h/l ≈ 0,48 | < 0,50 | Nachweisschnitt 26 ,27     |
| 28 | h = 1,00 m | l = 3,10 m  | h/l ≈ 0,32 | < 0,50 | Nachweisschnitt 23, 24     |
| 29 | h = 1,00 m | l = 2,35 m  | h/l ≈ 0,43 | < 0,50 |                            |
| 30 | h = 1,30 m | l = 10,70 m | h/l ≈ 0,12 | < 0,50 | Nachweisschnitt 33, 37     |
| 31 | h = 1,30 m | l = 8,00 m  | h/l ≈ 0,16 | < 0,50 | Nachweisschnitt 32, 33     |
| 32 | h = 1,00 m | l = 2,20 m  | h/l ≈ 0,45 | < 0,50 |                            |
| 33 | h = 1,00 m | l = 3,50m   | h/l ≈ 0,29 | < 0,50 | Nachweisschnitt 30, 31     |
| 34 | h = 2,20 m | l = 2,95 m  | h/l ≈ 0,75 | > 0,50 | Nachweisschnitt 28, 36     |
| 35 | h = 2,21 m | l = 4,21 m  | h/l ≈ 0,52 | > 0,50 | Nachweisschnitt 28, 29, 36 |
| 36 | h = 2,20 m | l = 3,30 m  | h/l ≈ 0,67 | > 0,50 |                            |
| 37 | h = 1,30 m | l = 5,10 m  | h/l ≈ 0,25 | < 0,50 | Nachweisschnitt 29         |
| 38 | h = 2,20 m | l = 6,06 m  | h/l ≈ 0,36 | < 0,50 | Nachweisschnitt 29         |
| 39 | h = 1,00 m | l = 8,00 m  | h/l ≈ 0,13 | < 0,50 |                            |
| 40 | h = 1,70 m | l = 2,70 m  | h/l ≈ 0,63 | > 0,50 |                            |
| 41 | h = 1,70 m | l = 6,30 m  | h/l ≈ 0,27 | < 0,50 |                            |
| 42 | h = 1,70 m | l = 7,75 m  | h/l ≈ 0,22 | < 0,50 | Nachweisschnitt 34, 35     |

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

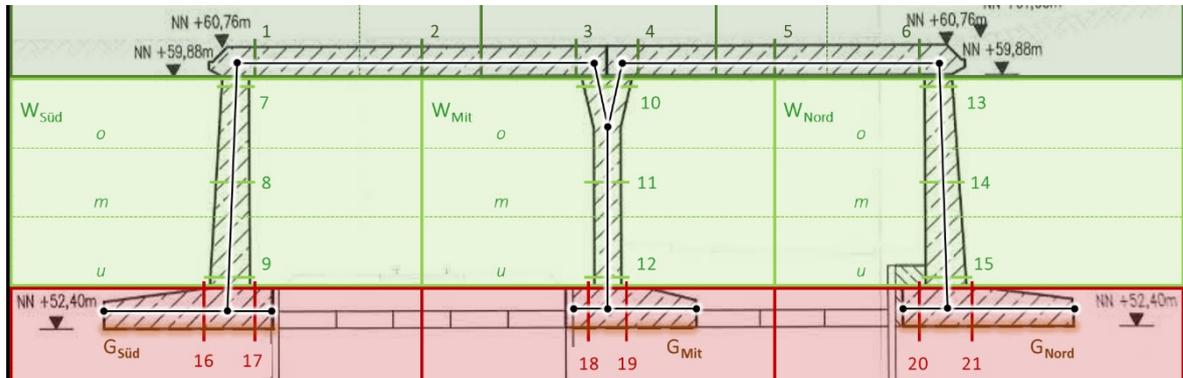


Abbildung 55: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |        |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|--------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein               | Rotat. |
| D1 m 1           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,051                   |        |
| D1 m 2           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,051                   |        |
| D2 m 3           | 4,5           | 0,0           | 4,5       | 0             | 0,051                   |        |
| D2 m 4           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,051                   |        |
| D3 m 5           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,051                   |        |
| D3 m 6           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | 0,051                   |        |
| W1 o 7           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| W1 m 8           | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| W1 u 9           | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,051                   |        |
| W2 o 10          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| W2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| W2 u 12          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| W3 o 13          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,051                   |        |
| W3 m 14          | 4,6           | 0,0           | 4,6       | 0             | 0,051                   |        |
| W3 u 15          | 1,0           | 0,0           | 1,0       | 0             | 0,051                   |        |
| S1 m 16          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| S1 m 17          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| S2 m 18          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | -0,051                  |        |
| S2 m 19          | 3,8           | 0,0           | 3,8       | 0             | 0,051                   |        |
| S3 m 20          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| S3 m 21          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     |        |
| G2 l a1          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         |        |
| G2 m a2          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         |        |
| G2 r a3          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             |                         |        |

| Bewertung | h/l (H/B) | Bemerkung                                       |
|-----------|-----------|-------------------------------------------------|
| Nein      | ≈ 0,10    | Bauteildicke = 0,88 m > 80 cm                   |
|           |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | ≈ 0,16    | Bauteildicke = 1,20 m ≥ 80                      |
|           |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Nein      | ≈ 0,16    | Bauteildicke = 0,80 m = 80                      |
| Nein      | ≈ 0,16    | Bauteildicke = 1,00 m > 80                      |
| Nein      | ≈ 0,16    | Bauteildicke = 1,20 m > 80                      |
|           |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |
| Ja        | ≈ 0,96    | Bauteildicke = 1,20 m > 80                      |
| Nein      | ≈ 0,46    | Bauteildicke = 1,20 m > 80                      |
|           |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |

Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist.

Tabelle 60: Bewertungsmatrix UK 3.4 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Bollensen

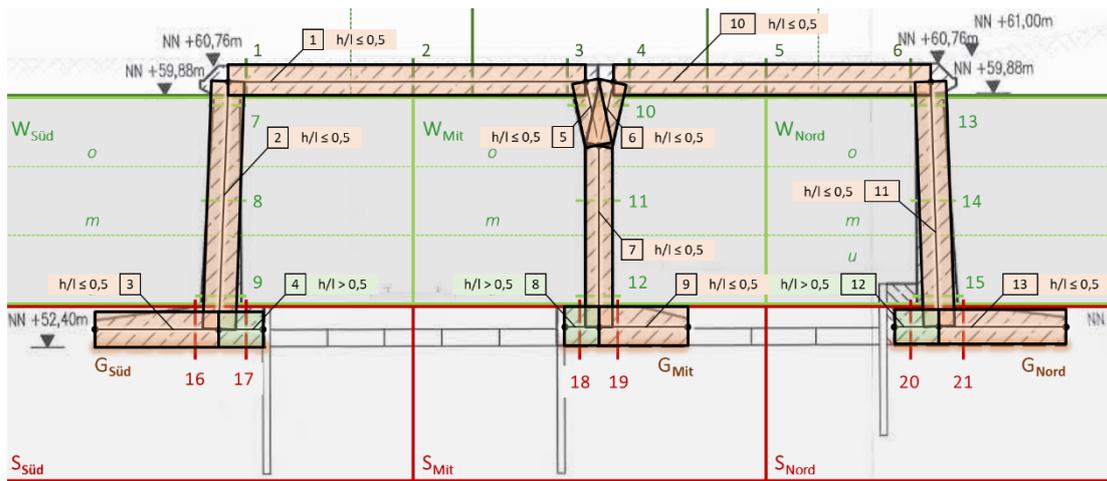


Abbildung 56: Bewertung Rotationsfähigkeit über  $h/l$ -Verhältnis Schleuse Bollensen

Tabelle 61: Berechnung  $h/l$ -Verhältnis der Rotationsfähigkeit Kanalbrücke Bollensen

|    |                      |                       |                    |          |                            |
|----|----------------------|-----------------------|--------------------|----------|----------------------------|
| 1  | $h = 0,88 \text{ m}$ | $l = 11,00 \text{ m}$ | $h/l \approx 0,08$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 1, 2, 3    |
| 2  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 6,30 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,16$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 7, 8, 9    |
| 3  | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 3,72 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,27$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 16         |
| 4  | $h = 1,20 \text{ m}$ | $l = 1,45 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,83$ | $> 0,50$ | Nachweisschnitt 17         |
| 5  | $h = 0,75 \text{ m}$ | $l = 1,98 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,38$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 10         |
| 6  | $h = 0,75 \text{ m}$ | $l = 1,98 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,38$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 10         |
| 7  | $h = 0,80 \text{ m}$ | $l = 4,80 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,17$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 11, 12     |
| 8  | $h = 1,20 \text{ m}$ | $l = 1,25 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,96$ | $> 0,50$ | Nachweisschnitt 18         |
| 9  | $h = 1,20 \text{ m}$ | $l = 2,60 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,46$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 19         |
| 10 | $h = 0,88 \text{ m}$ | $l = 9,80 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,09$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 4, 5, 6    |
| 11 | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 6,30 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,16$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 13, 14, 15 |
| 12 | $h = 1,20 \text{ m}$ | $l = 1,28 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,94$ | $> 0,50$ | Nachweisschnitt 20         |
| 13 | $h = 1,00 \text{ m}$ | $l = 3,72 \text{ m}$  | $h/l \approx 0,27$ | $< 0,50$ | Nachweisschnitt 21         |

### 5.6.2 Unterkriterium UK 3.5 – Druckz. (Mindestdruckzone)

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität ist bei unbewehrten, stabförmigen Bauteilen eine Mindestdruckzone mit  $e_d/h \leq 0,4$  erforderlich. Das Verhältnis  $e_d/h$  entspricht der auf die Querschnittshöhe bezogenen Lastausmitte infolge äußerer Bemessungslasten.

Das letzte Subkriterium zur Verformungsfähigkeit bezieht sich auf unbewehrte, stabförmige Bauteile, bei denen für eine ausreichende Duktilität eine Mindestdruckzone bzw. Lastexzentrizität von  $e_d/h \leq 0,4$  erforderlich ist. Diese Bedingung betrifft überwiegend Schwergewichtsmauern und wird über die Systematik abgefragt, bewertet sowie wiederum direkt mit der Berechnung der Robustheitsnote je Regelschnitt verknüpft.

Bereits durch die bisherigen untersuchten Unterkriterien (UK 3.2, UK 3.3 und UK 3.4) der Verformungsfähigkeit RK 3 wird ersichtlich, dass bewehrte Querschnitte aufgrund ihrer duktilen Werkstoffeigenschaften einen höheren Einfluss auf die Verformungsfähigkeit einnehmen als unbewehrte Querschnitte. Stabförmige, unbewehrte und gering bewehrte Betonbauteile verfügen nur über eine begrenzte Duktilität, weshalb nach DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 und dem BAW-Merkblatt "TbW" zur Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität eine begrenzte Mindestdruckzone erforderlich wird.

Abbildung 57: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK3.5 – Mindestdruckzone

|                                                                                                                        |                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>       | <b>Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1</b><br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i> |
| <b>Mindestdruckzone / Lastexzentrizität nach DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 bzw. nach BAW-Merkblatt "TbW" eingehalten?</b> |                                                                                                                         |
| <b>JA</b><br><input type="checkbox"/> Mindestdruckzone $e_d/h \leq 0,40$                                               | <b>NEIN</b><br><input type="checkbox"/> Mindestdruckzone $e_d/h > 0,40$                                                 |

Zur Schleuse Horkheim liegen keine Berechnungsergebnisse oder Auslastungsgrade zu dem Unterkriterium vor. Auf Rückfrage musste dieser Nachweis nicht geführt werden, da die Bauteildicken an allen Bauteilen durchweg  $> 0,80$  m betragen. Ein duktiler Bauteilverhalten der Schleuse muss daher nach Angabe der BAW nicht explizit nachgewiesen werden, die Bedingung wird als eingehalten angenommen und an dieser Stelle robustheitsverbessernd angesetzt.

Bei der Bewertung von Kanalbrückenquerschnitten kann das hier beschriebene Unterkriterium UK 3.5 zur Überprüfung der Mindestdruckzone gänzlich entfallen, da dieses Kriterium ausschließlich unbewehrte Konstruktionen betrifft und die Bauteile von Kanalbrücken i.d.R. bewehrt ausgebildet sind.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

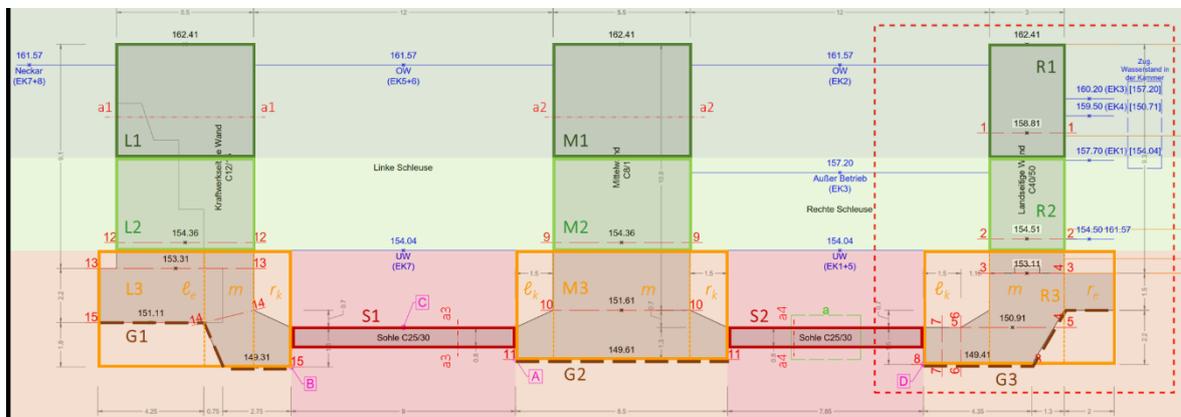


Abbildung 58: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 3. Verformungsfähigkeit |         | Bewertung                                                                                                                                                               | Bemerkung                                                |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|-------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                  |               |               |           |               | Unbewehrt               | Druckz. |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,025  | Ja                                                                                                                                                                      | Bedingung eingehalten, gedungen und Bauteildicke > 80 cm |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,025  |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| L3 I 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,025  |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     | Ja                                                                                                                                                                      | Kann nicht erhöht/verringert werden                      |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | -0,025  |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | 0,0                     | -0,025  |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0                     | 0,0     | k. A.                                                                                                                                                                   | rechte Schleusenwand unbewehrt                           |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| R3 I 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     | Nachweisschnitte im Grundbau werden bei diesem Unterkriterium nicht berücksichtigt, da die Schnittführung nicht durch das Bauwerk hindurch- sondern entlanggeführt ist. |                                                          |
| R3 I 6           | 3,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | 0,0                     | 0,0     |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G2 m A           | 3,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | --                      | --      |                                                                                                                                                                         |                                                          |

Tabelle 62: Bewertungsmatrix UK 3.5 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

## Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn, Kanalbrücke Bollensen

Sowohl die Schleuse Erlangen und die Schleuse Kriegenbrunn als auch die Kanalbrücke Bollensen sind in allen geführten Nachweisschnitten bewehrt ausgebildet. Die Überprüfung einer begrenzte Mindestdruckzone bzw. Lastexzentrizität gilt nur für bewehrte Konstruktionen, daher werden hier bei dem Unterkriterium der Mindestdruckzone keine Bewertungen vorgenommen, die Robustheit wird weder erhöht noch abgemindert.

## 5.7 Robustheitskriterium 4 (RK4) Nutz. (Nutzung)

*Äußere, durch die Bauwerksnutzung entstehende Einflüsse und Einwirkungen auf die Robustheit können in diesem Kriterium erfasst und bewertet werden. Ein robustes Bauwerk beschreibt dessen Potential, auf mögliche Nutzungsänderungen zu reagieren oder eine höhere Frequentierung während seiner Nutzungsdauer zu ermöglichen.*

Kennzeichnend für ein robustes Bauwerk ist dessen Fähigkeit, sich veränderten Anforderungen anzupassen und auch steigende Nutzungsintensitäten, als Konsequenz von erhöhten Verkehrsaufkommen, zu ermöglichen und folglich eine planmäßige Nutzung für die vorgesehene Nutzungsdauer sicherzustellen.

### 5.7.1 Unterkriterium UK 4.1 – Nutzungsintensität

*In Uesondere Schleusenbauwerke können während ihrer Nutzungsdauer unterschiedlichen Nutzungsintensitäten ausgesetzt sein, die in direkter Verbindung zu zyklischen Wechselbeanspruchungen aus den Schleusungsvorgängen stehen. Die Nutzungsintensität definiert die Anzahl an Schleusungszyklen (Lastspielzahlen) in Bezug auf einen festgelegten Zeitraum. Über die Summe prognostizierender Lastzyklen lässt sich das tatsächliche Nutzungsende der Schleuse abschätzen.*

Mit dem vierten Robustheitskriterium wird die Nutzungsintensität der gesamten Schleuse bewertet und global auf die jeweiligen Regelschnitte umgelegt. Im Gegensatz zu den zuvor bewerteten Robustheitskriterien, die im Wesentlichen die direkten, lokalen Bauwerkseigenschaften bewerten, ist das Kriterium zur Bewertung der Nutzungsintensität globaler gefasst und erweitert die Robustheit um die Aspekte der Bauwerksnutzung während der Betriebszeit. Bei dem Kriterium wird über die Summe aller prognostizierten Lastspielzahlen am Ende der Nutzungsdauer ermittelt, ob die geplante Nutzungsdauer sichergestellt werden kann, ob diese bereits überschritten wurden sowie in welchem Jahr die maximal angesetzte Lastspielzahl unter den getroffenen Annahmewerten tatsächlich eintreten wird. Außerdem kann bei der Untersuchung und Gegenüberstellung eine Tendenz der Nutzungsintensitäten mehrerer Schleusen im direkten Vergleich und auf einem tatsächlich vorhandenen Lastniveau abgeschätzt werden. Ein Bauwerk, das während seiner planmäßigen Nutzungsdauer weniger Lastzyklen erfährt und dessen Nutzungsintensität geringer ausfällt, ist allgemein robuster zu bewerten als ein vergleichbares Bauwerk mit höherer Wechselbelastung. Dabei hängt die Anzahl von Schleusungen maßgeblich von dem wirtschaftlichen und touristisch geprägten Verkehrsaufkommen auf den Wasserstraßen ab, weshalb die Nutzungsintensität nicht eindeutig eine konstante Größe darstellt, sondern während der Nutzungsdauer einem ständigen Wechsel ausgesetzt sein kann.

Zur Bewertung dieses Unterkriteriums sind vorab ggf. Daten der zuständigen Wasser- und Schifffahrtämtern über die tatsächlichen, aktuellen Schleusungszahlen, der Summe der bisherig erfolgten Schleusungen und optimalerweise Prognosen zur zukünftigen Frequentierung sowie der vorgesehenen Nutzung des Bauwerks einzuholen. Weitere Parameter zur Ermittlung der Summe sämtlicher Lastspielzahlen am Ende der planmäßigen Nutzungsdauer sind neben den bis zum aktuellen Betrachtungsgrad erfolgten Lastspiele seit Inbetriebnahme des Bauwerks, der planmäßig angestrebten Nutzungsdauer und der maximalen Lastspielzahl am Ende der Nutzungsdauer (angesetzte Angabe nach Ermüdungsnachweis der statischen Nachrechnung) auch die jährlichen Nutzungsintensitäten der Zyklusvorgänge. Für die Schleusen am Main-Donau-Kanal dient hier beispielhaft die auf Seite 107, in der die maßgebenden Kenngrößen zur Bewertung des Kriteriums eingetragen sind. Für die MDK-Schleusen ist eine ausreichende Datengrundlage (Ehmann et al. 2006) zur Beschreibung und Verdeutlichung des Kriteriums vorhanden, für die schematische Bewertung der Nutzungsintensität der Schleuse Horkheim wird im Zuge dieser Arbeit eine sinnvolle Annahme nach erfolgten Auskünften der WSV und der BAW zu Grunde gelegt.

Das Ende der planmäßigen Nutzungsdauer wird mit 100 Jahren angenommen. Eine erstellte Excel-Tabelle namens Robustheitsbewertung berechnet, nach Eingabe des ersten Betriebsjahres der Schleuse, das Ende der planmäßigen Nutzungsdauer sowie das aktuelle Alter des Bauwerkes in Bezug auf das Jahr 2019. Ein Workflow zur Berechnung ist im IT-System nicht hinterlegt

Anschließend ist die aktuelle Anzahl der jährlichen Schleusungszyklen sowie die Summe aller Lastzyklen der vergangenen Betriebsjahre in der nächsten Spalte der Excel-Tabelle **manuell einzutragen**. Unter der Annahme einer konstanten Nutzungsintensität nach (Ehmann et al. 2006) bis zum Ende der planmäßigen Nutzungszeit errechnet das erstellte Excel-Tabellenblatt automatisch die Gesamtsumme aller zu erwartenden Lastspiele. Zusätzlich wird farblich ausgegeben, nach wie vielen Jahren die angegebene maximale Anzahl an Lastspielzahlen und somit das Ende der tatsächlichen Nutzungsdauer zu erwarten ist.

Die Tabelle 63 gibt die verkehrsbedingte Schleusenauslastung verschiedener Bauwerke wieder und stellt die prognostizierte Tendenz bis zum Ende der planmäßigen Nutzungsdauer dar. Wenn die maximal erreichbare Nutzungsdauer größer als die planmäßig angesetzte Nutzungsdauer zzgl. fünf Jahre ist, so wirkt sich die Bewertung mit  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$  positiv auf die Bauwerksrobustheit je Regelschnitt aus. Kann die planmäßige Nutzungsdauer wiederum nicht erreicht werden und liegt die maximal mögliche Nutzungsdauer um mindestens fünf Jahre unter der planmäßigen Nutzungsdauer, wird die Bauwerksrobustheit schlechter und die Robustheitsnote je Regelschnitt um  $0,1 \times$  Gewichtung  $G_i$  vermindert. Die ermittelte Bewertung wird nach aktuellem Arbeitsstand wiederum automatisch per Auswahl des entsprechenden Kontrollkästchens mit der Gesamtmatrix zur Ermittlung der Gesamtrobustheitsnote je Regelschnitt verknüpft.

Abbildung 59: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK4.1 – Nutzungsintensität

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                                                                                                         | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                                                                                                                               |
| <b>max. Nutzungsdauer &lt;&gt; planmäßige Nutzungsdauer ± 5 Jahre</b>                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>&gt; +5 (+)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>&lt; -5 (-)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <input type="checkbox"/> Summe aller Schleusungen liegt unterhalb der maximal angesetzten und ausgelegten Schleusungsanzahl während einer Nutzungsdauer von 100 <b>+5</b> Jahren<br><b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Planmäßige Nutzungsdauer von 100 bis 105 Jahren kann deutlich überschritten und sichergestellt werden | <input type="checkbox"/> Summe aller Schleusungen liegt oberhalb der maximal angesetzten und ausgelegten Schleusungsanzahl während einer Nutzungsdauer von 100 <b>-5</b> Jahren<br><b>oder</b><br><input type="checkbox"/> Planmäßige Nutzungsdauer von 95 bis 100 Jahren kann nicht erreicht bzw. nicht sichergestellt werden |

Die Nutzungsintensität wird global für das gesamte Bauwerk ermittelt und anschließend den einzelnen Regelschnitten zugeordnet. Für Schleusenbauwerke mit einer Schleusenkammer ergeben sich somit bei diesem Robustheitskriterium konstante Bewertungsangaben. Bei Doppelschleusen, wie bei der hier betrachteten Beispielschleuse Horkheim, kann die Bewertung des Kriteriums für beide Schleusenkammern aufgrund unterschiedlicher Baujahre und unterschiedlich hoher Frequentierung während der Nutzungsdauer auch abweichend voneinander ausfallen.

Einige der bestehenden Doppelschleusen wurden zunächst als Einkammerschleusen errichtet, aufgrund steigender Nutzungsintensitäten und zur Entlastung der ersten Schleuse nachträglich um eine weitere Schleusenkammer erweitert.



### Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Nach Information der BAW werden ganzjährige Schleusenbetriebszeiten von 24 Stunden pro Tag angestrebt, die sich aktuell auch mit den werktäglichen Betriebszeiten der Schleuse Horkheim nach ELWIS (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) decken. Die rechnerische Anzahl der Schleusungen wird nach Angabe der BAW mit 15 Schleusungen pro Tag angenommen. Nach einer hundertjährigen Nutzung der Schleuse und einem jährlichen Betrieb á 358 Betriebstagen (kein Betrieb an sieben Feiertagen) ergeben sich insgesamt 537.000 Lastspiele zum Ende der planmäßigen Nutzungsdauer.

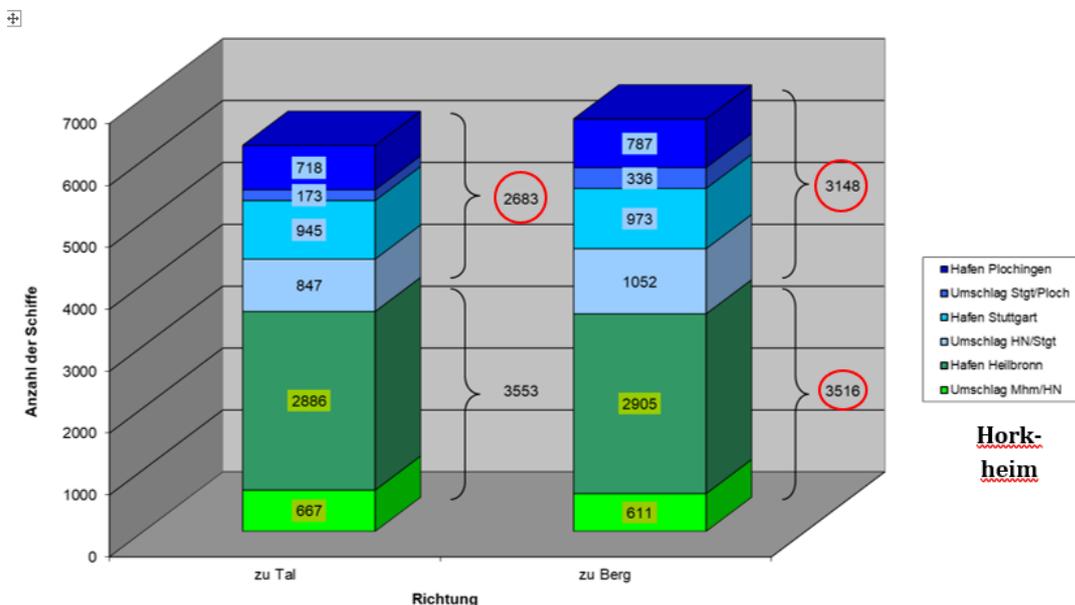


Abbildung 60: Jährliches Schiffsaufkommen Neckar 1999 [WSV]

Anhand zur Verfügung gestellter Daten der WSV zum Schiffsaufkommen am Neckar aus dem Jahr 1999 wurde die aktuelle Summe aller Lastspielzahlen je Schleusen-kammer bis zum heutigen Jahr 2020 unter der konservativen, konstanten Annahme von 2900 Schleusungen pro Jahr ermittelt. Als aktuelle Nutzungsintensität wird die nach TraVis (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)) prognostizierte Anzahl für das Jahr 2030 i.V.m. Angaben zur Schleuse Feudenheim [WSV] aus dem Jahr 2016 konservativ mit 1600 Schleusungen pro Jahr bis zum Ende der planmäßigen Nutzungsdauer von 100 Jahren, somit bis zu den Jahren 2051 und 2060, abgeschätzt.

Wie in (oben) sowie an den Anzahlen der Schleusungen ersichtlich, weist die Schleuse Horkheim eine sehr geringe Nutzungsintensität auf. Die im Vergleich zu den anderen Neckarschleusen geringere Nutzung lässt sich einerseits durch die Lage der Schleuse an dem Neckar hinter Heilbronn sowie der dort geringeren Transportmenge in dem Streckenabschnitt erklären. Zudem teilt sich die Nutzungsintensität der Doppelschleuse auf beide Schleusen-kammern auf, woraus eine geringere Kapazitätsauslastung resultiert. Die geringe Nutzungsintensität wirkt sich wiederum positiv auf die Bauwerksrobustheit der Schleuse und die damit verbundene Robustheitsnote je Regelschnitt aus.

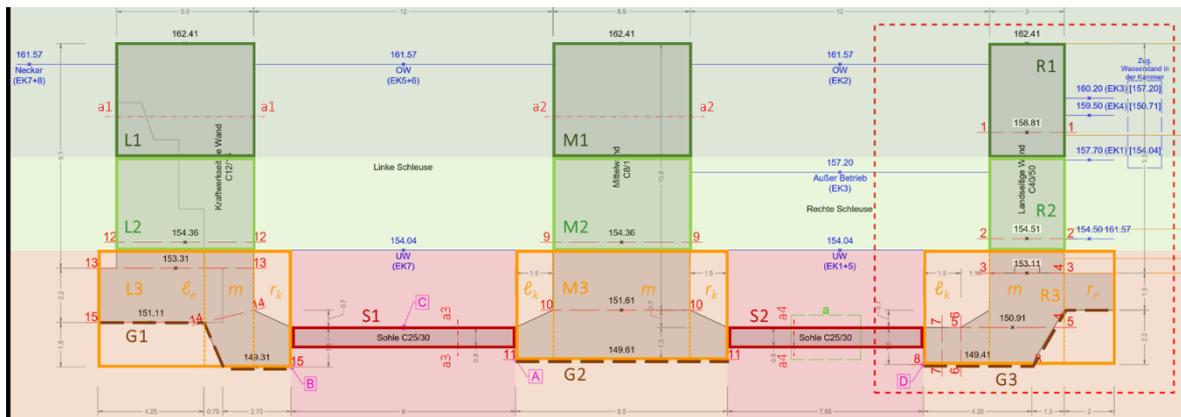


Abbildung 61: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim

| Schnitt, Bereich | Max. Note (T) | Max. Note (G) | Max. Note | Anz. krit. NW | 4. Nutzung |       | Bewertung | Bemerkung                                               |
|------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|------------|-------|-----------|---------------------------------------------------------|
|                  |               |               |           |               | Allgemein  | Nutz. |           |                                                         |
| L1 m a1          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       | > +5      | Siehe R3 l 6                                            |
| L2 m 12          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       |           | Siehe G1 m 15                                           |
| L3 l 13          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| L3 m 14          | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0        |       |           |                                                         |
| M1 m a2          | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       | > +5      | Siehe R3 l 6                                            |
| M2 m 9           | 4,5           | 1,0           | 4,5       | 0             | -0,018     |       |           | Siehe G1 m 15                                           |
| M3 m 10          | 5,0           | 5,0           | 5,0       | 3             | 0,0        |       |           |                                                         |
| R1 m 1           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       | > +5      | Siehe R3 l 6                                            |
| R2 m 2           | 2,4           | 1,0           | 2,4       | 0             | -0,018     |       |           | Siehe G1 m 15                                           |
| R3 l 7           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | 0,0        |       |           |                                                         |
| R3 l 6           | 2,1           | 1,0           | 2,1       | 0             | -0,018     |       | > +5      | max. erreichb. Nutzungsdauer > planmäßige Nutzungsdauer |
| R3 m 3           | 5,0           | 1,0           | 5,0       | 1             | -0,018     |       |           |                                                         |
| R3 m 5           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| R3 r 4           | 1,0           | 1,0           | 1,0       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| S1 m a3          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| S2 m a4          | 3,0           | 1,0           | 3,0       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| G1 m B           | 1,7           | 3,4           | 3,4       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| G1 m 15          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | 0,0        |       |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden         |
| G2 m A           | 2,3           | 2,0           | 2,3       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |
| G2 m 11          | 5,0           | 0,0           | 5,0       | 1             | -0,018     |       |           |                                                         |
| G3 m D           | 1,0           | 1,6           | 1,6       | 0             | -0,018     |       | > +5      | Siehe R3 l 6                                            |
| G3 m 8           | 4,8           | 0,0           | 4,8       | 0             | -0,018     |       |           |                                                         |

Tabelle 64: Bewertungsmatrix UK 4.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

## Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

Für das Bewertungssystem zur Ermittlung der Robustheit für die Schleuse Erlangen und die Schleuse Kriegenbrunn kann zur Bestimmung der erfolgten Schleusungen und zur Abschätzung der Anzahl von Schleusungen am Ende der Nutzungsdauer Abbildung 62 herangezogen werden. Die Grafik bezieht sich dabei lediglich auf die Schleusenbauwerke des Main-Donau-Kanals (MDK), wobei die Schleusungsrate zunächst ansteigt und ab dem Jahr 2015 als konstant fortgeführt anzusehen ist. Damit ergibt sich jährlich eine konstante Annahme von Lastspielen, die sich linear über die Lebensdauer bis zum Ende der planmäßigen Nutzungsdauer akkumulieren.

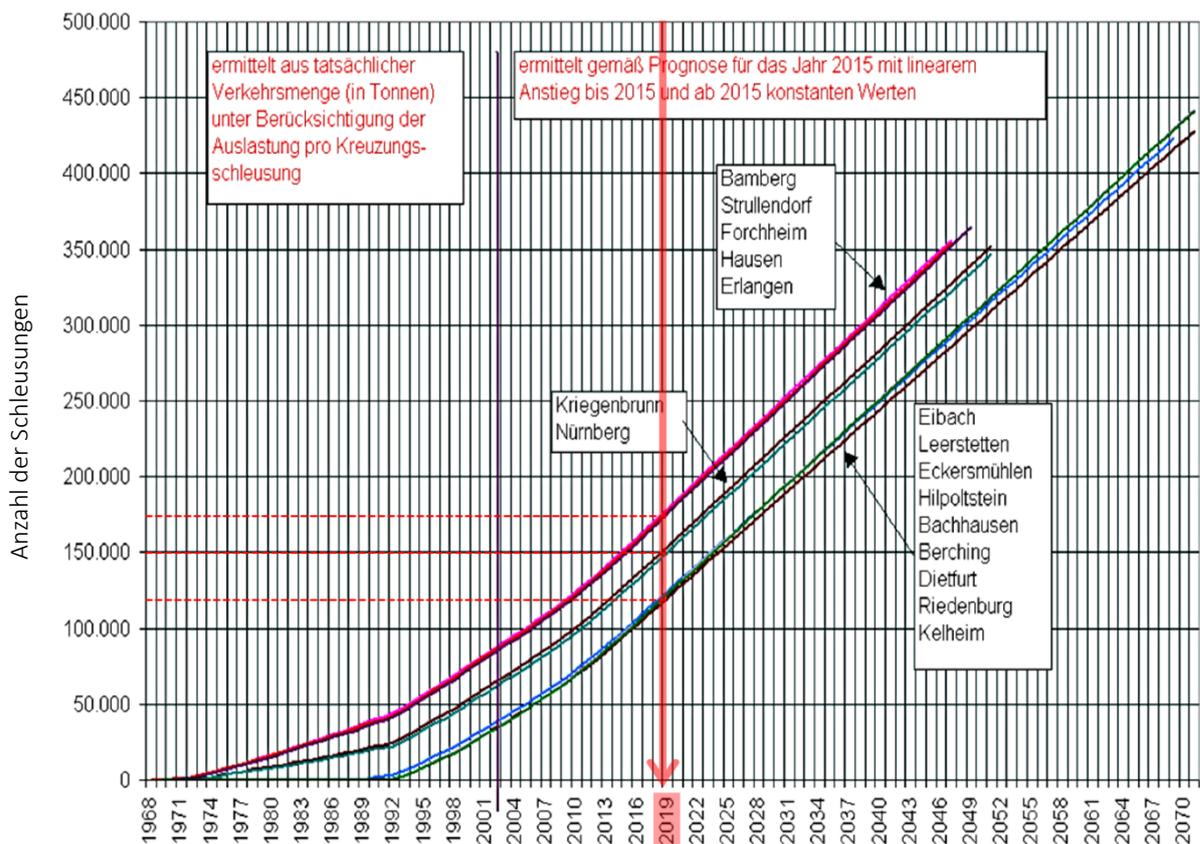


Abbildung 62: Ermittlung der Nutzungsintensität i.V.m. der Anzahl von Schleusungen (Ehmann et al. 2006)

Nach ergeben sich für die baugleichen Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn unterschiedliche, prognostizierte Summen der Lastspielzahlen am Ende der ursprünglich angedachten Nutzungsdauer von 100 Jahren im Jahr 2070. Unter der Annahme von ca. 5500 Schleusungszyklen pro Jahr erreicht die Schleuse Erlangen im Jahr 2070 ca. 446 000 durchgeführte Lastspiele, die Schleuse Kriegenbrunn an die 420 500. Somit wird die Grenze der maximalen und nachgewiesenen Lastspielzahl am Ende der Nutzungsdauer von 500.000 nicht erreicht und die Nutzungsdauer kann fiktiv um 10 Jahre bei der Schleuse Erlangen und um 15 Jahre bei der Schleuse Kriegenbrunn verlängert angenommen werden. Im Zuge der Robustheitsbewertung verbessert sich die Robustheit folglich global über beide Bauwerke hinweg um 0,1 x Gewichtung.

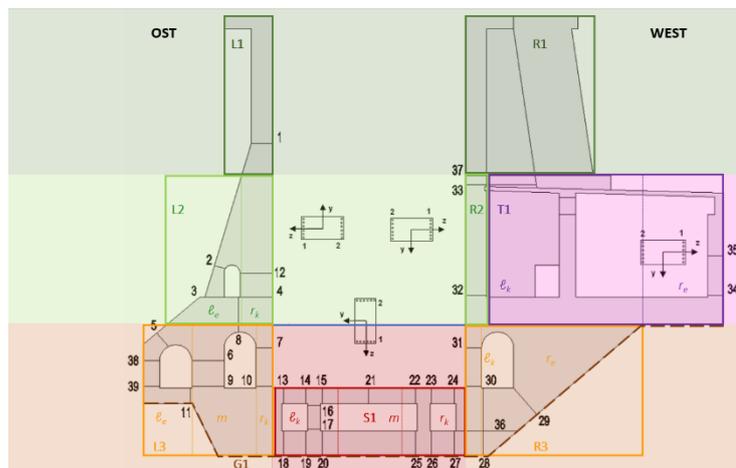


Abbildung 63: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegensbr.

| 4. Nutzung                          |                 | Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|-----------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schnitt, Bereich                    | Allgemein Nutz. |           |                                                                                                                                                                                                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| Filter                              | Filter          |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L1 m 1                              | 0,0             |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                          |
| L2 l 2                              | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L2 l 3                              | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L2 r 4                              | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L2 r 12                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L2 r 8                              | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 l 15                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 l 38                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 l 39                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 m 11                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 m 6                              | + -0,018        | > +5      | max. erreichb. Nutzungsdauer > planmäßige Nutzungsdauer<br>Summe aller Schleusungen liegt unterhalb der maximal angesetzten und ausgelegten Schleusungsanzahl während einer Nutzungsdauer von 100 Jahren |
| L3 m 9                              | + -0,018        |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 r 7                              | + -0,018        |           |                                                                                                                                                                                                          |
| L3 r 10                             | + -0,018        |           |                                                                                                                                                                                                          |
| R1 m 37                             | 0,0             |           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                          |
| R2 m 33                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |
| R2 m 32                             | 0,0             |           |                                                                                                                                                                                                          |

Tabelle 65: Teil 1: Bewertungsmatrix UK 4.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Krie-

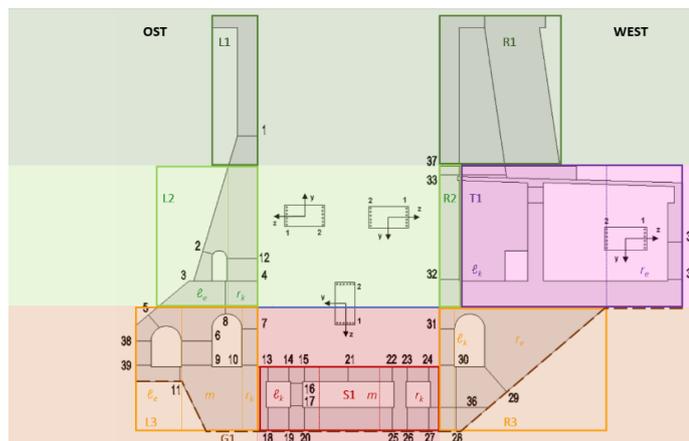


Abbildung 64: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erlangen/Kriegensbr.

| Schnitt, Bereich | 4. Nutzung<br>Allgemein<br>Nutz.    | Bewertung                                       | Bemerkung                                                                                                                                                                                                |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R3 l 31          | <input type="text" value="-0,018"/> | > +5                                            | max. erreichb. Nutzungsdauer > planmäßige Nutzungsdauer<br>Summe aller Schleusungen liegt unterhalb der maximal angesetzten und ausgelegten Schleusungsanzahl während einer Nutzungsdauer von 100 Jahren |
| R3 l 30          | <input type="text" value="-0,018"/> |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| R3 l 36          | <input type="text" value="-0,018"/> |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| R3 r 29          | <input type="text" value="0,0"/>    | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |                                                                                                                                                                                                          |
| R3 r 28          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| Tr r 34          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| Tr r 35          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 13          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 14          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 15          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 16          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 17          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 18          | <input type="text" value="-0,018"/> |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 l 19          | <input type="text" value="-0,018"/> | > +5                                            | max. erreichb. Nutzungsdauer > planmäßige Nutzungsdauer<br>Summe aller Schleusungen liegt unterhalb der maximal angesetzten und ausgelegten Schleusungsanzahl während einer Nutzungsdauer von 100 Jahren |
| S1 l 20          | <input type="text" value="-0,018"/> |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 m 21          | <input type="text" value="-0,018"/> | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 22          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 23          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 24          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 25          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 26          | <input type="text" value="0,0"/>    |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
| S1 r 27          | <input type="text" value="0,0"/>    | > +5                                            | Siehe R3 l 31                                                                                                                                                                                            |
| G2 l A           | <input type="text" value="-0,018"/> |                                                 |                                                                                                                                                                                                          |

Tabelle 66: Teil 2 Bewertungsmatrix UK 4.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erl./Kriegensbr.

## 5.8 Robustheitskriterium 5 (RK5) Instandsetzung

*Zur Aufrechterhaltung des Betriebs und zur Sicherstellung eines tragfähigen, dauerhaften Bauwerks sind während der Nutzungsdauer Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen. In welchem Umfang sich diese auf die Bauwerksrobustheit auswirken, lässt sich über die zwei definierte Unterkriterien berücksichtigen.*

### 5.8.1 Unterkriterium UK 5.1 – Funkt. (Funktionsfähigkeit)

*Der technische und zeitliche Aufwand einer Instandsetzungsmaßnahme ist unter Berücksichtigung betrieblicher Belange sowie im Hinblick auf die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit zu bewerten. Die Nutzung und Unterscheidung der Bauwerksgruppen (Schleuse: Nutzung Schifffahrtsverkehr, Kanalbrücke: Nutzung zur Unterführung Wasserstraße für Bahn- bzw. Straßen- oder Fußgängerverkehr, Durchlass: Nutzung der Wasserführung) sowie die örtliche Lage einer möglichen Instandsetzungsmaßnahme spielen hierbei eine wesentliche Rolle.*

Die Lebensdauer eines Bauwerks ist gekennzeichnet durch die geplante Nutzungsdauer und erweiterte Nutzungsdauern infolge Instandsetzungsmaßnahmen. Nach DIN 19702 wird eine Nutzungsdauer von 100 Jahren angestrebt, da es sich bei Verkehrswasserbauwerken in Deutschland um langlebige Infrastrukturbauwerke handelt. Die geplante Nutzungsdauer ist die angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass wesentliche Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich werden (Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) 2016), (Lutz und Liebrecht 23. und 2014). Durch Instandsetzungen kann die Nutzungsdauer um ca. 30 weitere Jahre verlängert werden. Instandsetzungen sind planmäßige und außerplanmäßige Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Erhaltung der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, die über Maßnahmen der Bauwerksunterhaltung hinausgehen. Weiterführend kann eine erneut geplante Nutzungsdauer von 80 bis 100 Jahren durch eine Grundinstandsetzungsmaßnahme erreicht werden, bei der das Tragwerk wesentlich verbessert und instandgesetzt wird. Die Grundinstandsetzung dient als Alternative zu einem Neubau, um die Funktionsfähigkeit des Tragsystems wiederherzustellen.

Die HOAI grenzt in §2 Abs. (8) Instandsetzungen als Maßnahmen zur Wiederherstellung des zum bestimmungsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustandes (Soll-Zustand) eines Objektes ab. Es erfolgt die Reparatur und/oder der Teilaustausch von schadhafte Bauteilen, während die Bausubstanz und die Konstruktion weitgehend erhalten bleiben.

Nach DIN EN 1990 (Deutsche Norm) bezeichnet die Instandsetzung sämtliche Maßnahmen zur Erhaltung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des Tragwerks, die über die Maßnahmen der Bauwerksunterhaltung hinausgehen.

Die Bewertung des Instandsetzungsaufwandes erfolgt durch eine pauschale Beurteilung nach Abbildung 57. Das Unterkriterium bewertet die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit durch Instandsetzungsmaßnahmen, deren zeitlichen Auswirkung auf den Betriebsablauf der Bauwerke und gibt somit den Aufwand einer möglichen Instandsetzung an den betrachteten Nachweisschnitten wieder, der ggf. durch einen Schaden oder ein bauliches Defizit entstanden ist. Die weitere Funktionsfähigkeit des Bauwerks wird lokal abgeschätzt sowie die direkten Auswirkungen auf den Betriebsablauf des Bauwerks prognostiziert und evaluiert.

Abbildung 65: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK5.1 – Instandsetzungsaufwand

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit durch Instandsetzungsmaßnahme<br/>in Abhängigkeit der Lage der betrachteten Stelle am Bauwerk</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p style="text-align: center;"><b>Gering (G)</b></p> <p><input type="checkbox"/> <b>Keine</b> bis <b>geringe</b> Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit durch bzw. während Instandsetzungsmaßnahme <b>oder</b></p> <p><input type="checkbox"/> <b>Keine Auswirkung</b> auf regulären Betriebsablauf des Bauwerks, Instandsetzung von Schäden <b>innerhalb kurzer Zeit</b> möglich <b>oder</b></p> <p><input type="checkbox"/> Stelle/Bereich mind. einseitig örtlich gut, mit <b>überschaubarem Aufwand</b> erreichbar</p> | <p style="text-align: center;"><b>Erheblich (E)</b></p> <p><input type="checkbox"/> <b>Erhebliche</b> bis <b>enorme</b> Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit durch Instandsetzungsmaßnahme <b>oder</b></p> <p><input type="checkbox"/> Bauwerk während der Instandsetzungsmaßnahme für lange Zeit <b>nicht funktionsfähig, Komplettausfall</b> des Bauwerks möglich <b>oder</b></p> <p><input type="checkbox"/> Stelle/Bereich örtlich schwierig, mit <b>erhöhtem Aufwand</b> erreichbar</p> |

Die Bewertungshilfe bezieht den Einfluss der Instandsetzung direkt auf den Betriebsablauf und damit auch auf die Funktionsfähigkeit des Bauwerks. Das Kriterium ist wiederum losgelöst von statischen Nachweisen zu evaluieren.

Wie auch bei der Bewertung der vorherigen Kriterien und deren Unterkriterien, kann der Anwender seine Bewertung frei durch Eingabe oder systeminterne Aktivierung vornehmen und das System weist der Berechnung automatisch die jeweiligen Parameter zu. Besteht keine bzw. eine geringe Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit (G) so wird die Robustheitsnote 1-fach um 0,1 x Gewichtung  $G_i$ , verbessert. Deckungsgleich verschlechtert sich die Robustheitsnote 1-fach um 0,1 x  $G_i$  bei einer erheblichen bis enormen Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit (E).

Im Gegensatz zu den zuvor zu bewertenden Robustheitskriterien, die im Wesentlichen die direkten Bauwerkseigenschaften evaluieren, ist das Kriterium des Instandsetzungsaufwandes sowie auch die Bewertung der Nutzungsintensität globaler gefasst und erweitert die Robustheit um die Aspekte der Schleusennutzung während der Betriebszeit.

Beispiel I – Schleuse Horkheim (Neckar)

Für die Schleuse Horkheim ergeben sich geringfügige Beeinträchtigungen der Funktionsfähigkeit nach Abbildung 65, da die Schleuse bei der Instandsetzung einer Kammer weiterhin durch die zweite Kammer genutzt werden kann. Dies führt allgemein zu einer sehr geringen Betriebsstörung während der regulären Schleusennutzung.

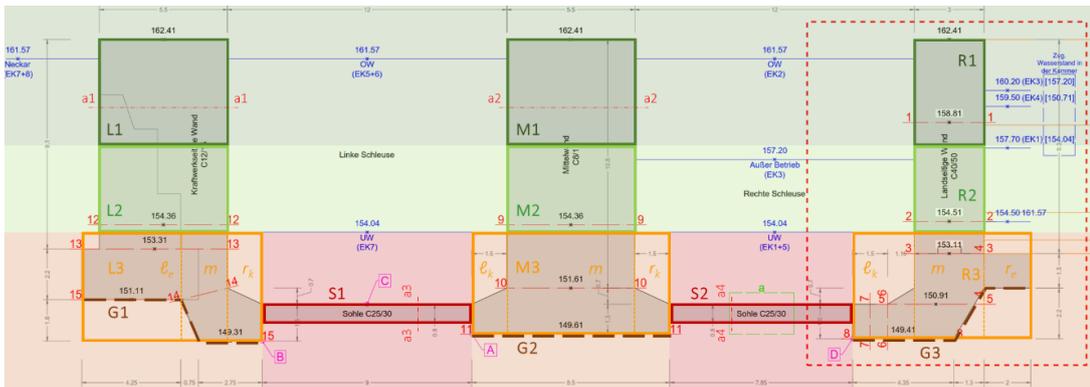


Abbildung 66: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Horkheim

| Schnittbereich | 5. Instandsetzung |
|----------------|-------------------|
|                | Allgemein         |
|                | Funkt.            |
|                | 0,0               |
| Filter         | Filter            |
| L1 m a1        | -0,018            |
| L2 m 12        | -0,018            |
| L3 I 13        | -0,018            |
| L3 m 14        | 0,0               |
| M1 m a2        | -0,018            |
| M2 m 9         | -0,018            |
| M3 m 10        | 0,0               |
| R1 m 1         | -0,018            |
| R2 m 2         | -0,018            |
| R3 I 7         | 0,0               |
| R3 I 6         | -0,018            |
| R3 m 3         | -0,018            |
| R3 m 5         | -0,018            |
| R3 r 4         | -0,018            |
| S1 m a3        | -0,018            |
| S2 m a4        | -0,018            |
| G1 m B         | -0,018            |
| G1 m 15        | 0,0               |
| G2 m A         | 0,018             |
| G2 m 11        | 0,018             |
| G3 m D         | 0,018             |
| G3 m 8         | 0,018             |

| Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                                                                                            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| +         | Siehe R3 I 6                                                                                                                                                                                                         |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                                      |
| +         | Siehe R3 I 6                                                                                                                                                                                                         |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                                      |
| +         | Siehe R3 I 6                                                                                                                                                                                                         |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                                      |
| +         | Geringe Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit durch bzw. während einer Instandsetzungsmaßnahme; der fortlaufende Betrieb der Schleuse kann durch zweite Schleusenkammern nahezu störungsfrei sichergestellt werden |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                                                                                      |
| -         | Nachweisschnitte bzw. -punkte grenzen an Erdreich, schwer bis nicht erreichbare Bereiche, Instandsetzungsmaßnahme hier örtlich schwierig und nur mit höherem Aufwand erreichbar                                      |

Tabelle 67: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Horkheim

Beispiel II – Schleuse Erlangen und Schleuse Kriegenbrunn (Main-Donau-Kanal)

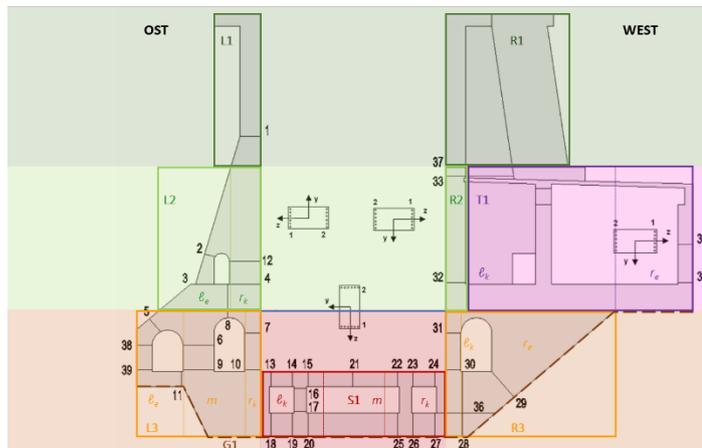


Abbildung 67: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erl./Kriegenbr.

| 5. Instandsetzung        |           |
|--------------------------|-----------|
| Schnitt, Bereich         | Allgemein |
| Funkt.                   | Funkt.    |
| <input type="checkbox"/> | 0,0       |
| Filter                   | Filter    |
| L1 m 1                   | 0,0       |
| L2 l 2                   | 0,0       |
| L2 l 3                   | 0,0       |
| L2 r 4                   | 0,0       |
| L2 r 12                  | 0,0       |
| L2 r 8                   | 0,0       |
| L3 l 5                   | 0,0       |
| L3 l 38                  | 0,0       |
| L3 l 39                  | 0,0       |
| L3 m 11                  | 0,0       |
| L3 m 6                   | E 0,018   |
| L3 m 9                   | E 0,018   |
| L3 r 7                   | E 0,018   |
| L3 r 10                  | E 0,018   |
| R1 m 37                  | 0,0       |
| R2 m 33                  | 0,0       |
| R2 m 32                  | 0,0       |
| R3 l 31                  | E 0,018   |
| R3 l 30                  | E 0,018   |
| R3 l 36                  | E 0,018   |

| Bewertung | Bemerkung                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------|
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden               |
| E         | Stelle schwierig erreichbar, erhebliche Beeinträchtigung (UW) |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden               |
| E         | Stelle schwierig erreichbar, erhebliche Beeinträchtigung (UW) |

Tabelle 68: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen

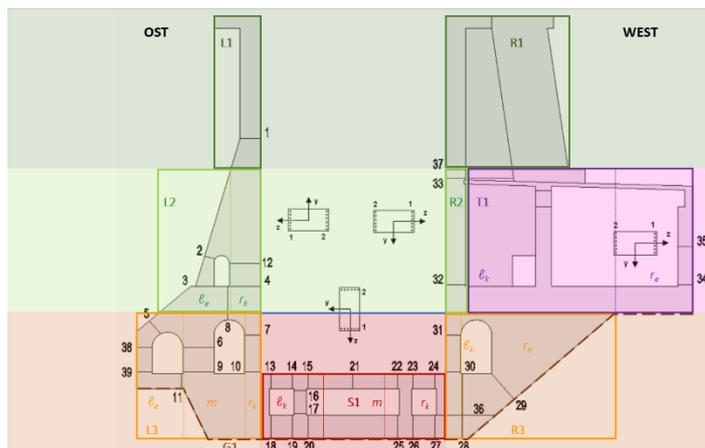


Abbildung 68: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Schleuse Erl./Kriegensbr.

| Schnitt, Bereich         | Allgemein                | Funkt. | Bewertung | Bemerkung                                                     |
|--------------------------|--------------------------|--------|-----------|---------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 0,0    |           |                                                               |
| Filter                   |                          | Filter |           |                                                               |
| R3 r 29                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| R3 r 28                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| Tr r 34                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| Tr r 35                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 13                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 14                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 15                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 16                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 17                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 l 18                  |                          | 0,018  | E         | Stelle schwierig erreichbar, erhebliche Beeinträchtigung (UW) |
| S1 l 19                  |                          | 0,018  | E         |                                                               |
| S1 l 20                  |                          | 0,018  | E         |                                                               |
| S1 m 21                  |                          | 0,018  | E         |                                                               |
| S1 r 22                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 r 23                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 r 24                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 r 25                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 r 26                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| S1 r 27                  |                          | 0,0    |           |                                                               |
| G2 l A                   |                          | 0,018  | E         | Instandsetzungsmaßnahme örtlich schwierig (Erdreich)          |
| G2 m m                   |                          | 0,018  | E         |                                                               |
| G2 r B                   |                          | 0,018  | E         |                                                               |

Tabelle 69: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links) u. Kurzerklärung (rechts) Schleuse Erlangen

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

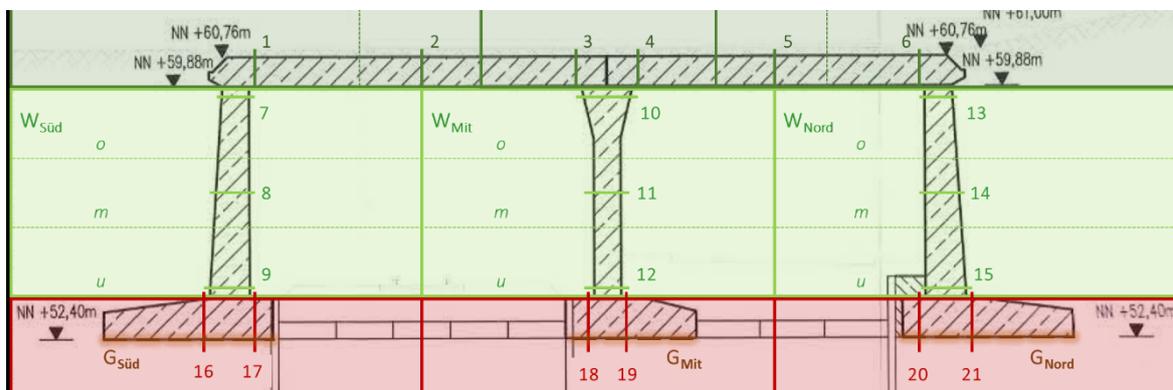


Abbildung 69: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen

| 5. Instandsetzung |                  |
|-------------------|------------------|
| Schnitt, Bereich  | Allgemein Funkt. |
|                   | 0,0              |
| Filter            | Filter           |
| D1 m 1            | 0,018            |
| D1 m 2            | 0,018            |
| D2 m 3            | 0,018            |
| D2 m 4            | -0,018           |
| D3 m 5            | -0,018           |
| D3 m 6            | -0,018           |
| W1 o 7            | 0,0              |
| W1 m 8            | 0,0              |
| W1 u 9            | 0,018            |
| W2 o 10           | 0,0              |
| W2 m 11           | 0,0              |
| W2 u 12           | 0,0              |
| W3 o 13           | -0,018           |
| W3 m 14           | -0,018           |
| W3 u 15           | -0,018           |
| S1 m 16           | 0,0              |
| S1 m 17           | 0,0              |
| S2 m 18           | 0,018            |
| S2 m 19           | -0,018           |
| S3 m 20           | 0,0              |
| S3 m 21           | 0,0              |
| G2 l a1           | 0,0              |
| G2 m a2           | 0,0              |
| G2 r a3           | 0,0              |

| Bewertung | Bemerkung                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
| <b>E</b>  | Erhebliche Beeinträchtigung des Zugverkehrs durch Instands. |
| <b>G</b>  | Stelle gut erreichbar, Umleitung Straßenverkehr möglich     |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| <b>E</b>  | Erhebliche Beeinträchtigung des Zugverkehrs durch Instands. |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| <b>G</b>  | Stelle gut erreichbar, Umleitung Straßenverkehr möglich     |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |
| <b>E</b>  | Erhebliche Beeinträchtigung des Zugverkehrs durch Instands. |
| <b>G</b>  | Stelle gut erreichbar, Umleitung Straßenverkehr möglich     |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden             |

Tabelle 70: Bewertungsmatrix UK 5.1 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

Der Instandsetzungsaufwand bzw. die Beeinträchtigung einer möglichen Instandsetzungsmaßnahme auf die weitere Funktionsfähigkeit des Bauwerks kann bei diesem Bauwerk pauschal anhand der beiden Querschnitte und der unterschiedlichen Verkehrsnutzung beurteilt werden. Falls bestimmte Stellen innerhalb der Unterführung instand zu setzen sind, so stellt eine Instandsetzungsmaßnahme im Bahnquerschnitt eine größere Einschränkung des regulären Betriebs dar, als eine Instandsetzung im Bereich der Straßendurchführung. Hier sind mehrere naheliegende Umleitungen und alternative Überquerungswege des Elbe-Seitenkanals während Ertüchtigungen realisierbar. Die Funktion der Kanalbrücke als Unterführungsbauwerk kann daher nur teilweise bestehen bleiben und nicht vollständig sichergestellt werden.

Im Falle von anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen ist eine zeitliche und örtliche Funktionsbeschränkung der Kanalbrücke mit einer vorhandenen Auswirkung auf die Nutzung der Unterführungsfunktion abzuleiten, der über der Kanalbrücke verlaufende Schifffahrtsverkehr ist tendenziell nicht von einer entsprechenden Maßnahme betroffen und kann den Betrieb uneingeschränkt fortsetzen.

## 5.8.2 Unterkriterium UK 5.2 – Lager / Fugen

Über je mehr Komponenten ein Bauwerk verfügt, desto vulnerabler ist das gesamte Tragsystem zu bewerten und umso aufwändigere sowie kostenintensivere Instandsetzungsmaßnahmen sind zu erwarten. Die Nutzungsdauern von den Bauwerkskomponenten "Lager" und "Fugen" (mittlere Nutzungsdauer = 30 Jahre (Pötzl 1996)) sind deutlich geringer als die der Tragkonstruktion und folglich gilt es mit diesem Robustheitskriterium das Vorhandensein, die Austauschbarkeit und die Anzahl (Ausfallsicherheit) dieser Komponenten genauer zu berücksichtigen.

Ähnlich zu UK 5.1 (Instandsetzungsaufwand) wird auch das letzte Unterkriterium UK 5.2 pauschal abgefragt und das gesamte Bauwerk dahingehend global deklariert. Während bei der Bewertung von Schleusenbauwerken eine Nutzungsintensität nach Abschnitt 5.7.1 (Unterkriterium UK 4.1) abgeschätzt wird, entfällt dieses Kriterium für die Bauwerksgruppe von Kanalbrücken und wird durch dieses Unterkriterium UK 5.2 der Bauwerkskomponenten ersetzt bzw. ausgetauscht. Aufgrund dessen wird an dieser Stelle des Handbuches auf die Darstellung der Bewertungsbeispiele der Schleuse Horkheim und der Schleuse Erlangen bzw. Kriegenbrunn verzichtet.

Das Kriterium der Bauwerkskomponenten wurde generiert, um monolithische, robustere Bauwerkskonstruktionen (Bauwerk ohne Lager und ohne Bauwerksfugen) von schadensanfälligeren, in mehrere Bauteile gegliederte Konstruktionen mit Lagern und/oder Bauwerksfugen explizierter abzugrenzen. Unter dem Begriff "Fugen" sind im speziellen konstruktive Raumfugen gemeint, herstellungsbedingte Arbeitsfugen sowie einzelne Dehnungs- oder Bewegungsfugen von z.B. Übergangskonstruktionen im Brückenbau (in Brückenlängsrichtung) gilt es bei diesem Kriterium nicht zu bewerten.

Abbildung 70: Bewertungshilfe für Unterkriterium UK5.2 – Bauwerkskomponenten

|                                                                                                                                           |                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>- 0,1 x Gewichtung<br><i>Robuste Eigenschaften → Verbesserung</i>                                 | Zuschlag auf Auslastungsnote aus RK1<br>+ 0,1 x Gewichtung<br><i>Vulnerable Eigenschaften → Verschlechterung</i>                                |
| <b>Wartungsintensive Lager/Fugen am Bauwerk vorhanden?</b>                                                                                |                                                                                                                                                 |
| <b>NEIN</b>                                                                                                                               | <b>JA</b>                                                                                                                                       |
| <input type="checkbox"/> <b>Monolithisches</b> Bauwerkskonstruktion <b>ohne Lager</b> und <b>ohne Bauwerks-, Raum- oder Dehnungsfugen</b> | <input type="checkbox"/> Gegliederte Bauwerkskonstruktion mit Vorhandensein von <b>Lagern</b> und/oder <b>Bauwerks-Raum- oder Dehnungsfugen</b> |

Beispiel III – Kanalbrücke Bollensen (Elbe-Seitenkanal)

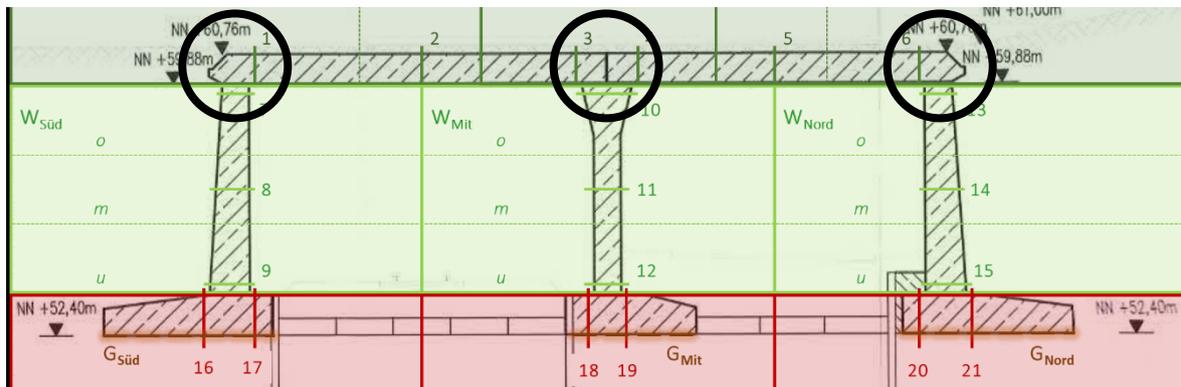


Abbildung 71: Übersicht Nachweisschnitte und Regelbereiche Kanalbrücke Bollensen

| 5. Instandsetzung |        |
|-------------------|--------|
| Allgemein         |        |
| Schnitt, Bereich  | Lager  |
|                   | 0,0    |
| Filter            | Filter |
| D1 m 1            | -0,018 |
| D1 m 2            | -0,018 |
| D2 m 3            | -0,018 |
| D2 m 4            | -0,018 |
| D3 m 5            | -0,018 |
| D3 m 6            | -0,018 |
| W1 o 7            | 0,0    |
| W1 m 8            | 0,0    |
| W1 u 9            | -0,018 |
| W2 o 10           | 0,0    |
| W2 m 11           | 0,0    |
| W2 u 12           | 0,0    |
| W3 o 13           | -0,018 |
| W3 m 14           | -0,018 |
| W3 u 15           | -0,018 |
| S1 m 16           | 0,0    |
| S1 m 17           | 0,0    |
| S2 m 18           | -0,018 |
| S2 m 19           | -0,018 |
| S3 m 20           | 0,0    |
| S3 m 21           | 0,0    |
| G2 l a1           | 0,0    |
| G2 m a2           | 0,0    |
| G2 r a3           | 0,0    |

| Bewertung | Bemerkung                                                                                                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| JA        | Gegliederte Bauwerkskonstruktion mit Vorhandensein von <b>Lagern</b> und/oder <b>Bauwerksfugen</b> an gekennzeichneten Stellen in Abbildung 71. |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                 |
| JA        | Siehe D1 m 1                                                                                                                                    |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                 |
| JA        | Gegliederte Bauwerkskonstruktion mit Vorhandensein von <b>Lagern</b> und/oder <b>Bauwerksfugen</b> an gekennzeichneten Stellen in Abbildung 71. |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                 |
| JA        | Gegliederte Bauwerkskonstruktion mit Vorhandensein von <b>Lagern</b> und/oder <b>Bauwerksfugen</b> an gekennzeichneten Stellen in Abbildung 71. |
|           | Kann nicht weiter erhöht oder verringert werden                                                                                                 |

Tabelle 71: Bewertungsmatrix UK 5.2 (links), Kurzerklärung (rechts) Kanalbrücke Bollensen

Die Kanalbrücke Bollensen verfügt nach Abbildung 72 über horizontale Bauwerksfugen an den Übergängen zwischen Süd-, Mittel- und Nordwand zur Tunneldecke sowie einer mittigen, vertikalen Fugenausbildung zwischen der nördlichen und südlichen Deckenplatte.

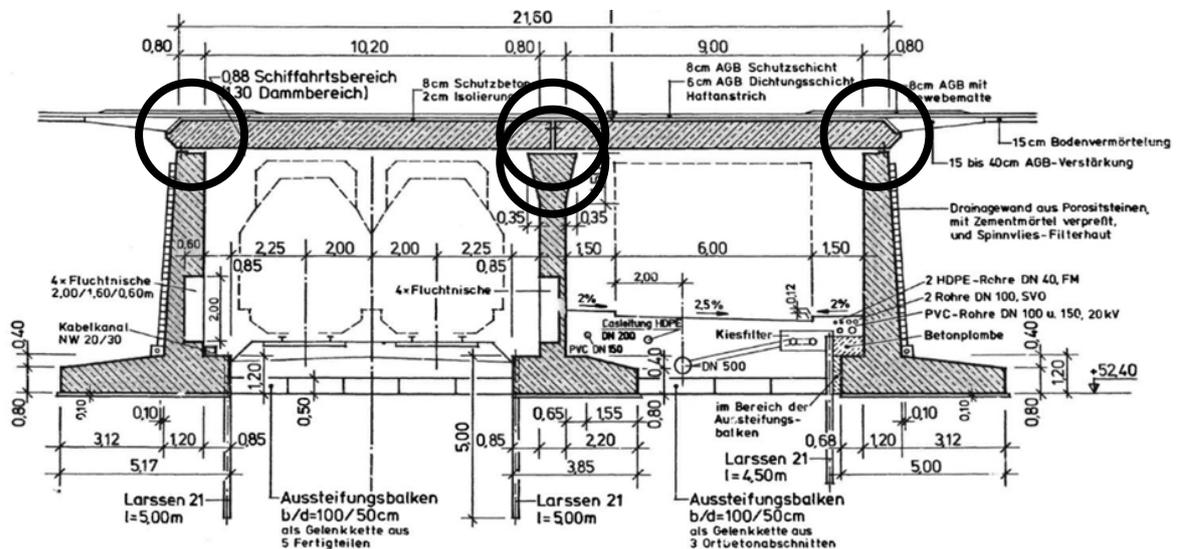


Abbildung 72: Querschnitt Kanalbrücke Bollensen mit Kennzeichnung der Bauwerksfugen

Aus dem Zustandsbericht vom 17.09.2020 (siehe Abbildung 73, Seite 123) ist zu entnehmen, dass sowohl an der Mittelwand Nord und auch der Mittelwand Süd Brückenlager vorhanden sind. Somit ist bei dem Bauwerk nicht von einer monolithischen Konstruktion auszugehen, es sind mehrere schadensanfällige Bauwerkskomponente vorhanden, die unmittelbare Schwachstellen darstellen. Folglich wird die Robustheit mit dem Unterkriterium 5.2 global für jeden Nachweischnitt abgemindert, die Robustheitsnote hebt sich dadurch an und verschlechtert sich entsprechend der zu Grunde gelegten Gewichtung.

18 Tunnelröhre, DB  
Wand, Mittelwand Nord  
Lager Metall, Rost, vollständig, [10] 2



**Nr. Ort Schadensbeschreibung SK**

19 Tunnelröhre, DB  
Wand, Mittelwand Nord  
Lager Metall, fehlt, großflächig, [20] 2



**Nr. Ort Schadensbeschreibung SK**

31 Tunnelröhre, Straßentunnel  
Wand, Mittelwand Süd  
Lager Metall, Rost, durchgehend, [35] 2



18 Tunnelröhre, DB  
Wand, Mittelwand Nord  
Lager Metall, Rost, vollständig, [10] 2



Abbildung 73: Ausschnitt ZustandUericht Kanalbrücke Bollensen (WSVPruf)

## 5.9 Robustheitsbewertung

Neben der Ermittlung der Robustheitsnote je Schnitt bzw. Punkt wird eine Robustheitsbewertung für das Gesamtbauwerk berechnet. Sie ermittelt sich aus der maximalen Robustheitsnote je Bauwerk entsprechend Tabelle 72.

*Tabelle 72: Formel zur Berechnung der Robustheitsbewertung*

| <b>Min. Robustheitsnote</b> | <b>Max. Robustheitsnote</b> | <b>Robustheitsbewertung (Symbol)</b> | <b>Robustheitsbewertung (Text)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1,0                         | 1,4                         | ++                                   | Sehr hoch                          |
| 1,5                         | 2,4                         | +                                    | Hoch                               |
| 2,5                         | 3,4                         | Ø                                    | Mittel                             |
| 3,5                         | 4,4                         | -                                    | Niedrig                            |
| 4,5                         | 5,0                         | --                                   | Sehr niedrig                       |

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

Akkermann, Jan; Becker, B (2007): Schleuse Erlangen - Bearbeitungsstufe C: FEM-Berechnung am zweidimensionalen Scheibenmodell - FEM 1. Hg. v. Krebs + Kiefer. Karlsruhe.

BAUSTATIK MediaWiki: Wandartige Träger. Hg. v. Hochschule Wismar. Online verfügbar unter [https://baustatik-wiki.fiw.hs-wismar.de/mediawiki/index.php/Wandartiger\\_Tr%C3%A4ger](https://baustatik-wiki.fiw.hs-wismar.de/mediawiki/index.php/Wandartiger_Tr%C3%A4ger), zuletzt geprüft am 12.04.2021.

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Hg.): TraVIS (TransportmengenVisualisierung). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter <https://travis.baw.de/>, zuletzt geprüft am 22.07.2019.

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (Hg.) (2016): BAW-Merkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Karlsruhe. Online verfügbar unter [https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWMerkblatt\\_Tragefaehigkeit\\_Wasserbauwerke\\_TbW\\_2016.pdf](https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWMerkblatt_Tragefaehigkeit_Wasserbauwerke_TbW_2016.pdf).

Deutsche Norm, Dezember 2010: DIN EN 1990:2010-12, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

Deutsche Norm, April 2013: DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

Deutsche Norm, Januar 2011: DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

Ehmann, Rainer; Fleischer, Helmut; Lutz, Matthias (2006): Schleusennachsorge Standsicherheit MDK-Schleusen. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Karlsruhe.

Ehmann, Rainer; Fleischer, Helmut; Lutz, Matthias (2007): Konzeption zum statischen Nachweis der Systemtraglast der Schleusen am Main-Donau-Kanal (MDK) auf der Basis nichtlinearer Stoffgesetze - NiTra -. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Abteilung Bautechnik. Karlsruhe.

Lutz, Matthias; Fleischer, Helmut (2008): Schleuse Erlangen - Gutachten zur Untersuchung der Tragfähigkeit mit nichtlinearen Berechnungsmethoden. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Abteilung B1, Referat Massivbau. Karlsruhe.

Lutz, Matthias; Fleischer, Helmut (2009): Schleuse Strullendorf: Gutachten zur Untersuchung der Tragfähigkeit mit nichtlinearen Berechnungsmethoden. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Abteilung B1. Karlsruhe.

Lutz, Matthias; Liebrecht, A (23. und 2014): Zustand, Verhalten und Instandsetzungen der Schleuse Uelzen 1. BAWKolloquium. Hg. v. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Karlsruhe.

Pötzl, Michael (1996): Robuste Brücken - Vorschläge zur Erhöhung der ganzheitlichen Qualität. WieUaden: Vieweg+Teubner Verlag. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-83151-4>.

Romberg, Oliver; Hinrichs, Nikolaus (2020): Keine Panik vor Mechanik! WieUaden: Springer Fachmedien WieUaden.

Schneider (Hg.) (2014): Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 21. Auflage. Köln: Bundesanzeiger Verlag GmbH.

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hg.): ELWIS (Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice) - Schleusenbetriebszeiten und -erreichbarkeiten. Online verfügbar unter [https://www.elwis.de/DE/dynamisch/mvc/main.php?modul=schleuseninfo&choice=1&show\\_sperr=1&specialts=95#s\\_95](https://www.elwis.de/DE/dynamisch/mvc/main.php?modul=schleuseninfo&choice=1&show_sperr=1&specialts=95#s_95), zuletzt geprüft am 10.07.2019.

WvS Zivilingenieure Partnerschaft (2018): Elbe Seitenkanal: Nachrechnung des Bauwerks U532. Hamburg.

Zilch, Konrad; Zehetmaier, Gerhard: Bemessung im konstruktiven Betonbau. Berlin, Heidelberg.