

# Entwicklung eines aktuellen Verfahrens zur rechnerischen Dimensionierung gemäß den RDO Beton

FA 4.316

Forschungsstellen: DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen

ISAC GmbH Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen, Aachen

Bearbeiter: Kathmann, T. / Kucera, U. / Hermes, T. / Stöver, J. / Lehmkuhl, J. / Pfeifer, J. M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Mai 2021

## 1 Einleitung

In dem Forschungsprojekt werden die RDO Beton quelloffen und zukunftssicher implementiert. Die Implementierung in JavaScript umfasst einen Rechenkern, eine Kommandozeilenapplikation und eine grafische Oberfläche. Gleichzeitig soll mit einem modularen Lastenheft eine Vorlage für zukünftige Ausschreibungen erzeugt werden.

Eine ausführliche Recherche verbessert die Dokumentation des Berechnungsverfahrens, insbesondere wird die Formel für das Moment aus Verkehrsbelastung auf seine korrekte Herkunft zurückgeführt. Die Literaturrecherche liefert damit die Grundlage zur verfahrenssicheren Implementierung der RDO Beton.

Das Lastenheft besteht aus einem allgemeinen Teil, der Rahmenbedingungen der Software-Entwicklung beschreibt, und einem spezifischen Teil, der sich mit der Implementierung der RDO Beton befasst. Beide Teile sind darüber hinaus modular aufgebaut, damit der Auftraggeber in zukünftigen Ausschreibungen für Softwareprojekte die Erstellung eines Lastenhefts einfacher und zielsicher selber leisten kann.

Die Implementierung wurde modular realisiert, sodass der eigentliche Rechenkern und die Benutzeroberflächen eigenständige Teile sind und nur über einheitlich strukturierte Datenobjekte kommunizieren. Der Quellcode des Rechenkerns ist derart konzipiert und dokumentiert, dass Fachleute mit rudimentären Programmierkenntnissen sich schnell im Code zurechtfinden können. Damit sind kleinere Änderungen am Quellcode, wie beispielsweise die Aktualisierung von Faktoren aus den Tabellen der RDO Beton, in wenigen Sekunden durchgeführt.

Ein wesentlicher Bestandteil der entwickelten Software ist die grafische Oberfläche, die unter Nutzung moderner Technologien und Erkenntnissen im Bereich Benutzerschnittstellen entworfen wurde. Die Oberfläche wird im Webbrowser dargestellt, wodurch die Anwendung über Intra- oder Internet angeboten werden kann. Die Verwendung des gängigen Material Designs stellt sicher, dass Nutzer bekannte Bedienelemente und -symbole erkennen und diese intuitiv nutzen können.

## 2 Literaturrecherche

Ein Problem der RDO-Beton-Entwurfsfassung [2018] ist die unzureichende Dokumentation des Verfahrens. Es ist in großen Teilen nicht nachvollziehbar, auf welchen Überlegungen die in den RDO Beton enthaltenen Formeln und Parameter basieren und welchen Einschränkungen diese unterworfen sind.

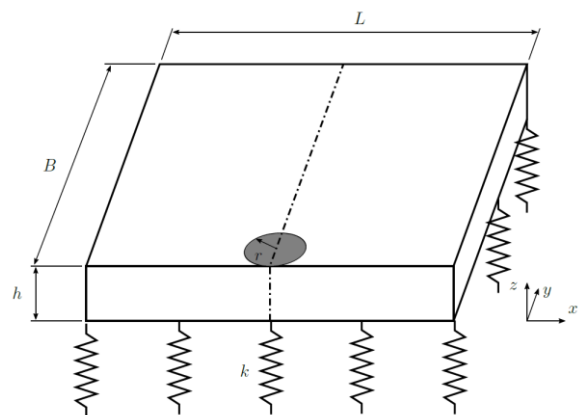
Zunächst wird dargestellt, dass alle drei verwendeten Momente durch die Gleichung

$$M = \frac{1}{6} \sigma h^2 \tag{1}$$

aus den Biegezugspannungen beziehungsweise der Festigkeit errechnet werden. Es erwächst keinerlei Vorteil durch die Verwendung von Momenten. Das Moment aus Temperaturbelastung vernachlässigt die Plattenwirkung und gilt eigentlich für einen Stab oder schlanken Balken. Das Moment aus Verkehrsbelastung basiert auf der folgenden Gleichung von Westergaard (1948), hier für eine kreisförmige Lasteinleitungsfläche

$$\sigma_e = \frac{3(1+\nu)F}{\pi(3+\nu)h^2} \left[ \ln \left( \frac{Eh^3}{100kr^4} \right) + 1,84 - \frac{4}{3}\nu + \frac{1-\nu}{2} + 1,18(1+2\nu)\frac{r}{l} \right]. \tag{2}$$

Damit ist auch klar, dass der zugrundeliegende Lastfall nicht der einer halbkreisförmigen Lasteinleitungsfläche an der Plattenkante ist, sondern der eines Vollkreises, der die Plattenkante tangiert, siehe Bild 1.



**Bild 1:** Modell der schwimmend gelagerten Platte (Winkler-Bettung) und des Lastfalls Kante nach Westergaard (1948, Case 3) mit Spezialfall der kreisförmigen Lastfläche

## 3 Erstellung des Lastenhefts

Das Lastenheft wurde durch den AN gemäß DIN 69901-5 (2009) als Gesamtheit der Forderungen des AG entworfen. Um potenzielle implizite Informationsannahmen zu verhindern, wurde die Erstellung und Bearbeitung des Lastenhefts durch einen separaten Mitarbeiter vorgenommen.

Als Teil dieses Projekts wurde nicht nur ein spezifisches Lastenheft entworfen, sondern ein modulares Baukastensystem, bestehend aus einem allgemeinen und einem spezifischen Teil. Besonders im allgemeinen Teil sind die Vorgaben und Anforderungen so aufgebaut, dass die Grundstruktur und einzelnen Bausteine für zukünftige Softwareprojekte wieder verwendet werden können, was eine einfachere und strukturiertere Erstellung von Lastenheften erlaubt.

Der spezifische Teil des Lastenhefts befasst sich konkret mit der Spezifikation des im vorliegenden Projekt erforderten Softwareprodukts. Die generelle Softwarearchitektur wird spezifiziert, und insbesondere vom allgemeinen Teil abweichende Aspekte werden erklärt. Funktionalität und Abgrenzungen werden hier abschließend aufgeführt.

Der allgemeine Teil des Lastenhefts beschreibt generelle Aspekte und Qualitätsmerkmale des zu liefernden Produkts und bietet, um der schon beschriebenen Nutzung für weitere Projekte zu genügen, Auswahlmöglichkeiten zwischen verschiedenen, als sinnvoll scheinenden Optionen, die für andere Projekte gewählt werden können.

#### 4 Erstellung des Pflichtenhefts

Das Pflichtenheft wurde durch den AN gemäß DIN 69901-5 (2009) als Implementierungsvorschlag auf Basis des Lastenhefts entworfen. Um potenzielle implizite Informationsannahmen zu verhindern, wurde auch die Erstellung und Bearbeitung des Pflichtenhefts durch einen separaten Mitarbeiter vorgenommen.

Während der Implementierungsarbeiten ergaben sich diverse sachliche Erkenntnisse, die mit der geplanten Umsetzung nicht vereinbar waren. Diese führten in Zusammenarbeit von AG und AN zu Änderungen in Pflichten- und Lastenheft, die retroaktiv umgesetzt wurden.

Aufseiten des Rechenkerns umfassen diese Änderungen primär Abgrenzungen zu nicht beziehungsweise nur teilweise definierten Bereichen der RDO Beton; aufseiten der grafischen Benutzeroberfläche ergaben sich Änderungen hauptsächlich in den Details der Querschnittsdarstellung. Weiterhin gab es mehrere Änderungen in technischen Aspekten wie Parameternamen und -gruppierung, Ausgabedatenformaten sowie Unterstützung von Browserversionen.

#### 5 Implementierung

Die Umsetzung des gesamten Projekts wurde in der Programmiersprache JavaScript realisiert. Dabei wurde die Funktionalität in Module unterteilt, um sowohl bessere Wartung und Fehlersuche als auch einfaches Nutzen der einzelnen Module in anderen potenziellen Kontexten zu ermöglichen.

In der gesamten Umsetzung wurde hohe Priorität auf Nutzung existierender Standards, "Best Practices" und Open-Source-Lösungen gelegt. Aus diesem Grund wurde als Datenaustauschformat das extrem verbreitete JSON-Format gewählt. So sind die

Parameterdateien in einem menschenlesbaren Textformat gespeichert, was jeder geneigte Benutzer mit einem Texteditor öffnen kann.

Die Dokumentation des Programmcodes erfolgt direkt in den Quelldateien unter Nutzung von Blockkommentaren sowie des Industriestandards für Codedokumentation JSDoc. So kann auch ein fachfremder Programmierer mit minimaler Einarbeitung Änderungen und Weiterentwicklungen am Programmcode vornehmen.

Um Korrektheit zu verbessern, Fehlersuche zu erleichtern und bei zukünftigen Weiterentwicklungen Fehler im Vorfeld zu verhindern, wird als Teil des automatisierten Bauprozesses der Software der gesamte Programmcode automatisierten Prüfungen unterzogen. Diese Prüfungen werden durch die Open-Source-Werkzeuge JSHint, ESLint sowie Jest vorgenommen, die die Programmdateien auf jeweils unterschiedliche Aspekte prüfen.

Der Rechenkern wurde auf Basis des in Matlab realisierten Prototypen in JavaScript entwickelt, wobei darauf geachtet wurde, dass besonders dieser Teil des Programmcodes möglichst auch mit rudimentären Programmierkenntnissen verständlich und nachvollziehbar ist. Der Quellcode ist dokumentiert und enthält Verweise auf die jeweilig relevanten Quellen aus den RDO Beton, sodass ein Bearbeiter bei der Suche nach den Quellen, Begründungen oder Methoden zu bestimmten Aspekten der Berechnung möglichst gut unterstützt wird. Insbesondere die in den RDO Beton verwendeten Variablennamen sind möglichst analog verwendet und auf entsprechende Dateien verteilt.

Die grafische Oberfläche basiert auf einem initialen Anwendungskonzept, zu dem in Zwischentreffen Feedback des AG und der Projektteilnehmer eingeholt und eingearbeitet wurde. Verschiedene Benutzerführungsmodelle wurden demonstriert und auf typische Arbeitsabläufe getestet. So wurde iterativ eine Benutzersteuerung erarbeitet, die an die Anforderung der Benutzer angepasst ist.

Um eine moderne Oberfläche zu bieten, die Benutzern bekannte Elemente und Bedienung erlaubt, wurde die Benutzeroberfläche an das von Google LLC erarbeitete und frei veröffentlichte Material Design angelehnt. Material Design wird von einer Vielzahl von Webseiten und Applikationen genutzt, sodass der typische Nutzer eine Grundvertrautheit mit den Bedienelementen mitbringt. In spezifischen Aspekten wie der Querschnittsdarstellung wurde von Material Design abgewichen, um den spezifischen Anforderungen der zu lösenden Problemstellung zu genügen.

Wesentlicher Bestandteil der grafischen Oberfläche bildet die Open-Source-Bibliothek React, die eine strukturierte Aufteilung von Verantwortung von Codeteilen forciert, sowie die über die Komponenten-Bibliothek React-MD bereitgestellte Unterstützung für das Material Design.

## 6 Dokumentation

Durch die schon angesprochene Nutzung von bekannten Bedienelementen scheint die produzierte Software genügend selbsterklärend zu sein, um die Erstellung eines dedizierten Benutzerhandbuchs zumindest infrage zu stellen. Durch Fehleingaben kann kein Schaden verursacht werden, und falsche oder problematische Einstellungen werden an den Nutzer zurückgemeldet. Daher wird das ursprünglich geplante Handbuch zurückgestellt, bis eine Evaluierung der Software durch den AG stattgefunden hat.



**Bild 2: Der finale WebRoDeo-Entwurf**

Da durch den AG noch nicht entschieden wurde, wie die Software bereitgestellt werden soll, konnte eine Installationsanleitung noch nicht erfolgen.

Fortgeschrittene Nutzer sowie Entwickler finden eine weiterführende Dokumentation in den Quelldateien sowie spezifische README-Dateien, die einzelne Aspekte wie die Kompilation der Programmdateien im Detail erklären. Diese erweiterten Informationen sind für den typischen Benutzer nicht von Interesse und daher nicht direkt aus dem Benutzerinterface einsehbar.

Aufgrund der andauernden Corona-Situation und der noch ausstehenden Rückmeldung der Nutzer seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde noch keine Planung für eine eventuelle Schulung konkretisiert.

## 7 Fazit

Das Lastenheft war ursprünglich als Vorlage für vergleichbare Projekte gedacht und hat sich in dieser Hinsicht sehr gut bewährt. Besonders am allgemeinen Teil waren nur wenige nachträgliche Änderungen erforderlich, sodass der Plan, das erarbeitete Lastenheft als Grundstein für weitere Softwareprojekte zu nutzen, in Zukunft umgesetzt werden kann.

Um die Veröffentlichung der produzierten Software zu erlauben, war eine der Zielsetzungen des Projekts, Open-Source-Bibliotheken und -Werkzeuge einzusetzen. Dies konnte erreicht werden, da das Angebot von offener Software sich sowohl in Qualität als auch Flexibilität als mehr als zufriedenstellend herausgestellt hat. Instruktionen, um detaillierte Informationen über die

Softwarelizenzen der eingesetzten Software zu erhalten, finden sich im eigentlichen Bericht.

Die Zielsetzung, eine quelloffene Software zu erstellen, konnte vollumfänglich erfüllt werden. Die angestrebten Eigenschaften hinsichtlich einfach und komfortabel nutzbarer Software können abschließend nur durch die Bundesanstalt für Straßenwesen nach Evaluierung beantwortet werden, sodass dieser Abschnitt erst nach Rückmeldung ergänzt werden kann.