

Ermüdungssicherheit von Stahlbetontragwerken

Nichtlineare FE-Analyse zur Bewertung von Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

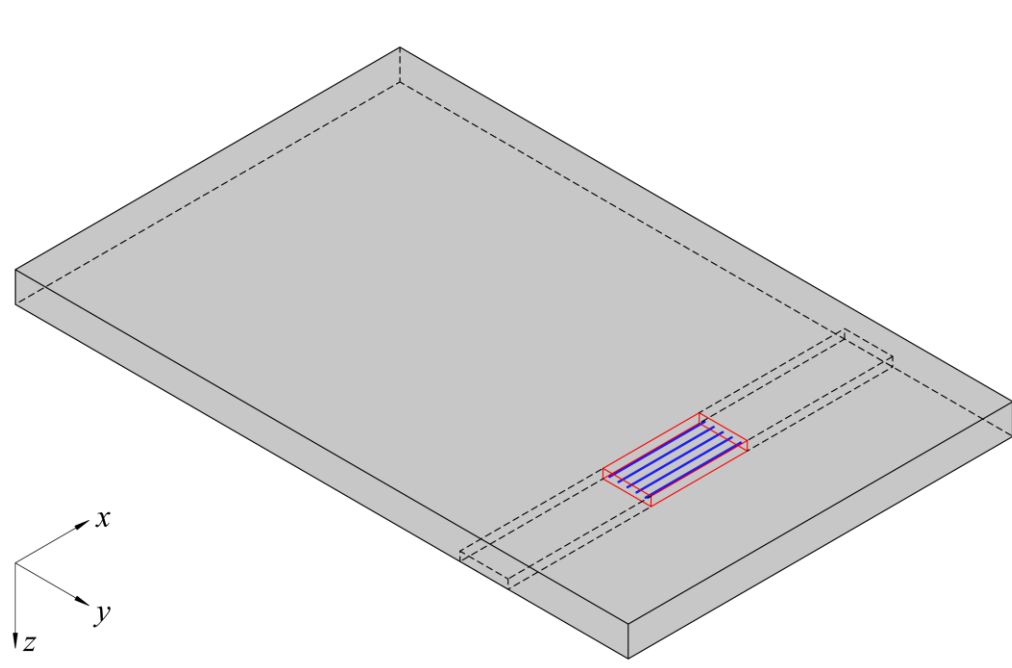


Bild 1: Lage des untersuchten Plattenausschnitts in der Fahrbahnplatte

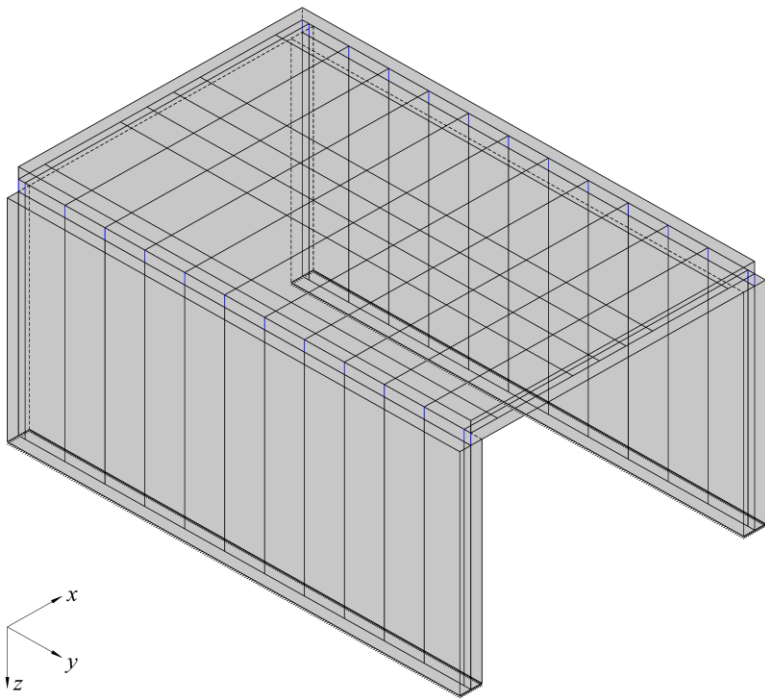


Bild 2: Nichtlineares Schalenmodell

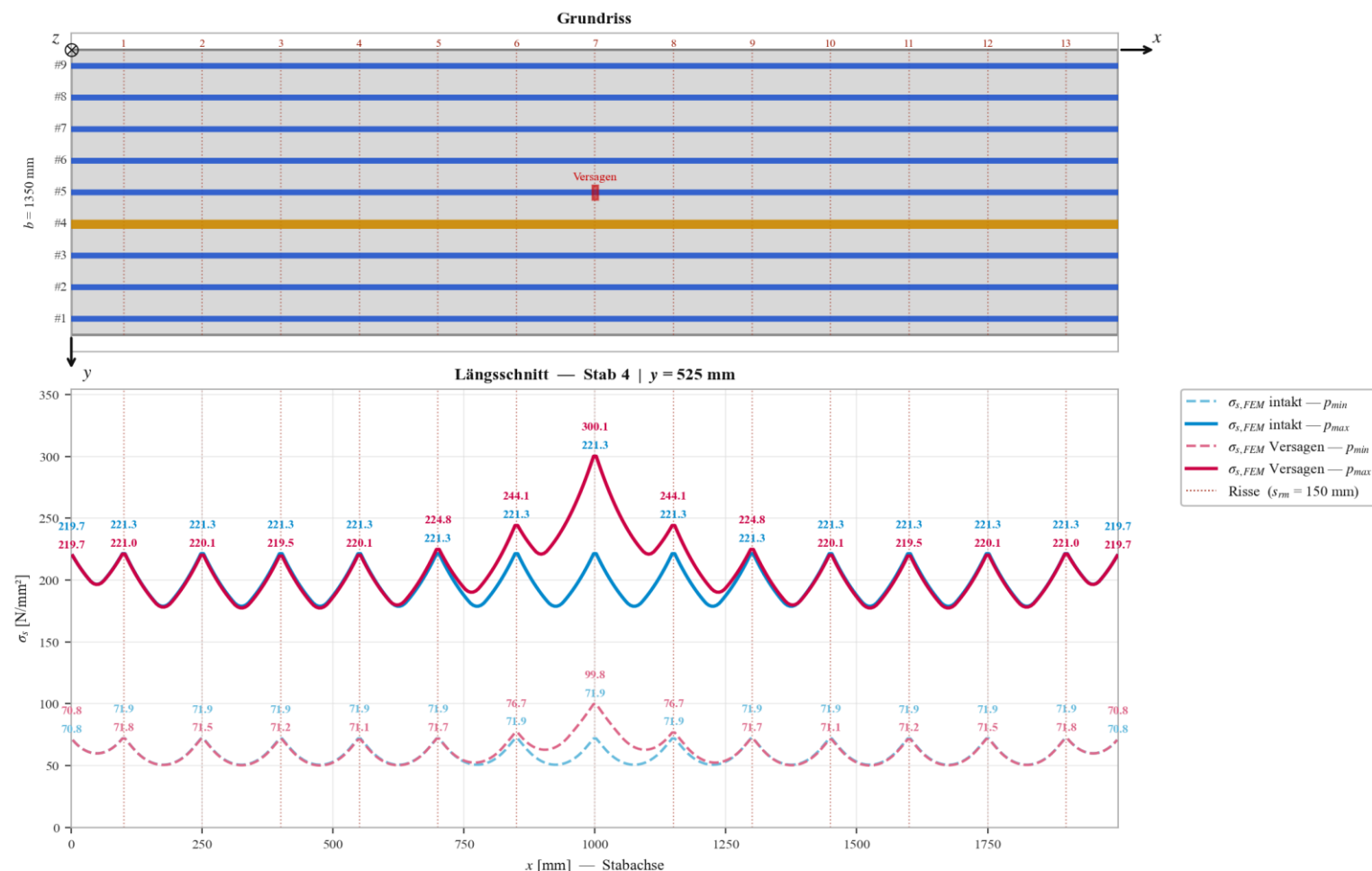


Bild 3: Stahlspannungsverteilung in Stab 4 mit und ohne lokalem Stabversagen

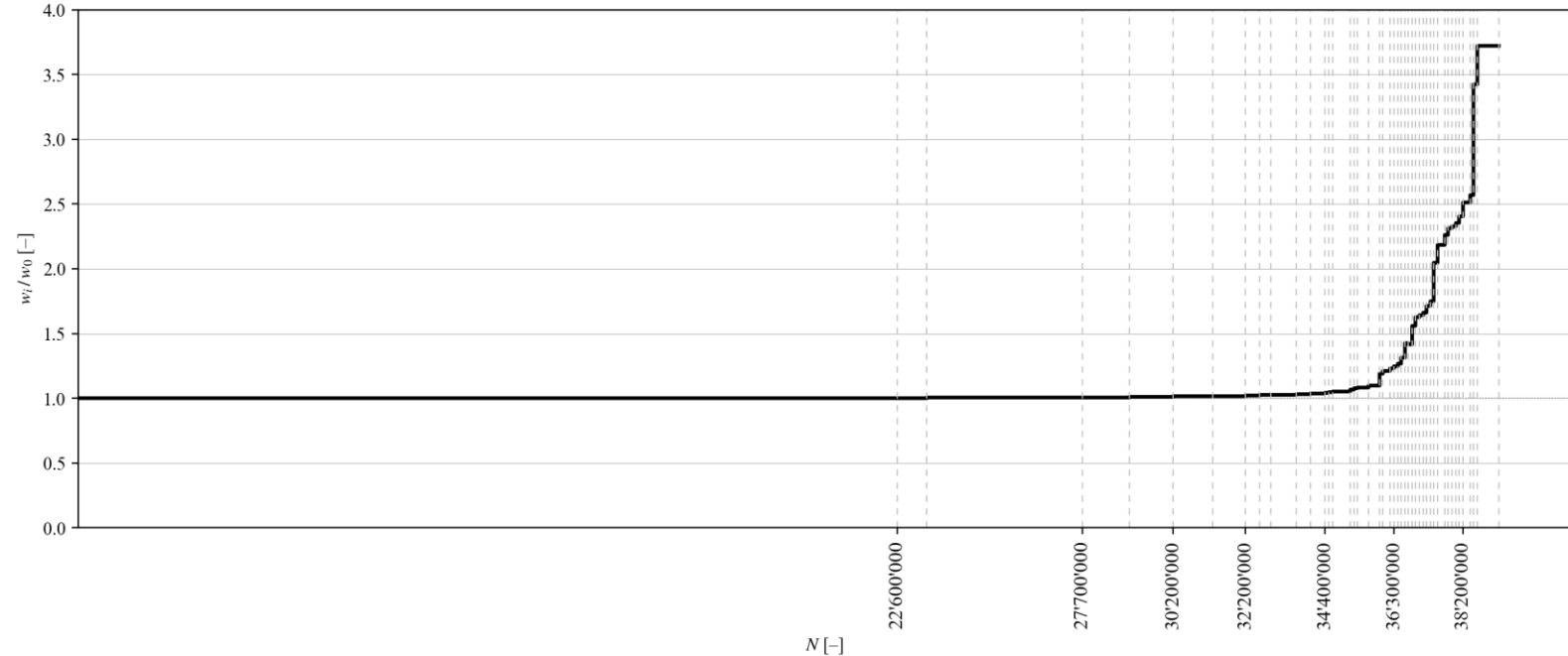


Bild 4: Entwicklung der normierten Durchbiegung in Feldmitte

Ausgangslage und Zielsetzung

Die Arbeit untersucht, wie sich eine fortschreitende Ermüdungsschädigung einzelner Bewehrungsstäbe auf das Trag- und Verformungsverhalten einer Stahlbetonunterführung auswirkt. Dazu werden lokale Untersuchungen zum Verbundverhalten mit einer nichtlinearen Tragwerksanalyse und einer Schadensakkumulationsanalyse kombiniert.

Lokales Verbundmodell

Mit dem Verbundmodell wird untersucht, wie sich das Versagen eines einzelnen Bewehrungsstabes auf die Spannungen der umliegenden Bewehrung auswirkt. Der in Bild 1 dargestellte Plattenausschnitt bildet den Zugbereich der Fahrbahnplatte ab. Die Bewehrungsstäbe sind über nichtlineare Verbundelemente mit dem Beton gekoppelt, sodass der Kraftübertrag zwischen Stahl und Beton nach einem lokalen Stabversagen erfasst wird. Die Spannungsverläufe in Bild 2 zeigen, dass die Zugkraft des ausgefallenen Stabes vorwiegend auf die unmittelbar benachbarten Stäbe umgelagert wird. Mit zunehmendem Abstand zur Versagensstelle nimmt der Einfluss deutlich

ab. Aus den Ergebnissen werden die Schädigungsbereiche für das in Bild 3 dargestellte globale Schalenmodell abgeleitet.

Progressive Schädigungsanalyse

Die progressive Schädigung wird iterativ, zwischen dem im CMM Usermat berechneten nichtlinearen FE-Modell und einer in Python implementierten Schadensakkumulationsanalyse bestimmt. Jedem Bewehrungsstab wird eine individuelle Ermüdungsfestigkeit zugewiesen. Aus den Stahlspannungsdifferenzen wird die Anzahl der Lastwechsel bis zum nächsten Stabversagen berechnet. Anschliessend wird die Bewehrungsfläche im betroffenen Bereich reduziert und das Tragwerk erneut berechnet. Dadurch werden die veränderte Steifigkeit und die Spannungsumlagerungen im nächsten Schritt berücksichtigt. Ein Ausschnitt der Schädigungsentwicklung ist in Tab. 1 dargestellt. Die zugehörigen Stahlspannungen und Biegemomente zeigen die Umlagerungen im Tragwerk. Bild 4 veranschaulicht die Abnahme der globalen Steifigkeit anhand der normierten Durchbiegung.

Wichtigste Erkenntnisse

Die ersten Stabversagen werden zunächst durch räumliche Lastumlagerungen kompensiert. Erst wenn sich die Stabversagen räumlich konzentrieren nimmt die Biegesteifigkeit deutlich ab, wodurch Stahlspannungen und Durchbiegungen stark zunehmen.

Die untersuchte Unterführung weist somit nach dem ersten Ermüdungsversagen weiterhin erhebliche Trag- und Steifigkeitsreserven auf. Das entwickelte Verfahren ermöglicht eine differenziertere Beurteilung als der normative Ermüdungsnachweis.

Gian Lucas Gmeiner

Hauptbetreuer:
Dr. Christian Spathelf

Experte:
Dr. Patrick Fehlmann