

# Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation umfasst die Beschreibung des Materialverhaltens von Spritzbeton, mit Schwerpunkt auf Anwendungen in numerischen Simulationen von Tunnelvortrieben. Zu diesem Zweck wird ein neues Materialmodell vorgestellt, welches auf drei Kontinuumsmodellen für Normalbeton basiert. Diese drei Modelle umfassen das Schädigungs-Plastizitätsmodell nach Grassl und Jirásek, die Solidification Theory nach Bažant und Prasanna sowie das semiempirische Modell nach Bažant und Panula zur Beschreibung des Schwindverhaltens.

In diesem neuen Modell für Spritzbeton, im Folgenden als das SCDP Modell bezeichnet, werden die zeitliche Entwicklung der Materialeigenschaften infolge der Hydratation, ver- und entfestigendes Materialverhalten infolge mechanischer Belastung, plastische Verformungen, die Abnahme der Materialsteifigkeit infolge von Schädigung, Schwinden sowie nichtlineares Kriechen beschrieben. Zur Bewertung des neuen Modells wird eine ausführliche Studie vorgestellt, welche einen Vergleich mit zwei weiteren Spritzbetonmodellen aus der Literatur, nämlich den Modellen nach Meschke und nach Schädlich und Schweiger, beinhaltet. Dieser Vergleich basiert sowohl auf einer Validierung anhand von Daten aus Laborversuchen, welche in der Literatur verfügbar sind, als auch auf einem Benchmark Finite Elemente Modell des Vortriebs eines tiefliegenden Tunnels zur Bewertung der Materialmodelle auf Strukturebene.

Das vorgestellte Finite Elemente Modell für eine Benchmark Studie basiert auf einem Abschnitt des Brenner Basistunnels, für welchen ein Messprogramm zur Bestimmung der Verformungen des umgebenden Gebirges während des Vortriebs durchgeführt wurde. Der Vergleich der Messdaten mit den numerischen Ergebnissen zeigt die realistische Prognose basierend auf dem neuen SCDP Modell.

Weiters wird ein neues Versuchsprogramm für Spritzbeton präsentiert, welches die Bestimmung der zeitlichen Entwicklung des E-Moduls und der einaxialen Druckfestigkeit sowie des Schwind- und Kriechverhaltens von jungem Spritzbeton umfasst. Es wird gezeigt, dass sich die Materialeigenschaften der untersuchten Spritzbetonrezeptur deutlich von den Eigenschaften der in der Literatur behandelten älteren Rezepturen unterscheiden. Auf Basis der neuen Versuchsdaten wird die Kalibrierung der untersuchten Spritzbetonmodelle durchgeführt.

# Abstract

The present thesis deals with the description of the material behavior of shotcrete, with special focus on applications in numerical simulations of deep tunnel advance. To this end, a new material model for shotcrete is proposed, which is based on three continuum models for concrete. They comprise the damage plasticity model for concrete by Grassl and Jirásek, the solidification theory for concrete creep by Bažant and Prasanna, and the semi-empirical model by Bažant and Panula for describing shrinkage.

The new model for shotcrete, denoted as the SCDP model, represents the time-dependent evolution of material properties due to hydration, hardening and softening material behavior under mechanical loading, inelastic deformations, stiffness degradation due to damage, as well as shrinkage and nonlinear creep. For an assessment of the new model an extensive study is presented, which includes a comparison with two other models for shotcrete selected from the literature, which are the model by Meschke and the model by Schädlich and Schweiger. This comparison consists of numerical simulations of experimental tests on shotcrete available in the literature, as well as structural analyses based on a benchmark finite element model of deep tunnel advance for evaluating the models at structural level.

The presented finite element model for a benchmark study is based on a stretch of the Brenner Base Tunnel, for which an in-situ measurement program was carried out. It is demonstrated that based on the new SCDP model the realistic prediction of the mechanical response during tunnel advance can be obtained.

Furthermore, a new experimental program on shotcrete is presented, in which the evolution of the Young's modulus, the uniaxial compressive strength, as well as the shrinkage and creep behavior of young shotcrete is investigated. It is shown that the material properties of the investigated shotcrete composition are substantially different from those of older shotcrete compositions for which test data sets are available in the literature. Based on the test data of the new experimental program, the three investigated material models are calibrated.