

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Richard Greiner**  
Institut für Stahlbau und  
Flächentragwerke  
E-Mail: r.greiner@tugraz.at  
Tel.: 0316 873 6200



**Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Robert Ofner**  
Institut für Stahlbau und  
Flächentragwerke  
E-Mail: robert.ofner@tugraz.at  
Tel.: 0316 873 6204



**Dipl.-Ing.  
Andreas Taras**  
Institut für Stahlbau und  
Flächentragwerke  
E-Mail: taras@tugraz.at  
Tel.: 0316 873 6203



# Forschung an der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

## Stahlkonstruktionen im Kraftwerksbau

### *Structural Steel Components in Hydropower Plant Construction*

Der moderne Kraftwerksbau stellt heute höchste Anforderungen an die druckführenden Komponenten – Rohre, Druckschächte, Abzweigstücke, Sperrklappen – wie kaum in einem anderen Gebiet der Technik. Diese kommen durch den Einsatz neuer hochfester Stähle (690 MPa Streckgrenze), Wanddicken bis zu 120mm und Durchmesser bis 7m zum Ausdruck. Damit werden besondere Maßstäbe an die Schweißtechnik und die stahlbauliche Berechnung und Auslegung gestellt ebenso wie an die hydraulische und betriebliche Konzeption.

Die im Folgenden dargestellten Forschungsthemen des Stahlbaus stehen insgesamt im Zusammenhang mit der Forschung anderer Institute unserer Universität – den Instituten für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (Prof. Cerjak), Hydraulische Strömungsmaschinen (Prof. Jaberg) und Wasserbau und Wasserwirtschaft (Prof. Heigert). Die TU Graz kann damit auf diesem zukunftssträchtigen Gebiet eine umfassende fachliche Kompetenz anbieten.

Von den stahlbaulichen Problemstellungen der letzten Zeit werden drei dargestellt: die Auslegung von Abzweigstücken und Klappenverankerungen, die Tragwirkung von Schubringen und die Stabilität von Druckschachtpanzerungen.

Abzweigstücke in Verteilrohrleitungen und Klappen mit ihren Verankerungsrohren gehören zu den höchst beanspruchten Komponenten von Druckrohrleitungen, welche mechanisch gesehen komplexe, meist versteifte Schalenträgerwerke darstellen. Ihre Spannungsbeurteilung beruht auf der Finite-Elemente-Methode, ihre sichere Auslegung erfolgt spezifisch nach verschiedenen Spannungskategorien auf Basis statischer oder Betriebsfestigkeits-Kriterien sowie für Wechselplastizieren. Das neue Bemessungskonzept des Eurocodes 3-1.6 für schalenförmige Stahlkonstruktionen, an dem seitens des Instituts mitgearbeitet wurde, kann hier als Grundlage verwendet werden.

Die für Anwendungen des Kraftwerks „Kopswerk II“ der Vorarlberger Illwerke AG durchgeführten Untersuchungen zeigen den starken Einfluss der realen Randbedingungen auf die meist „abgedeckelt“ ausgelegten Abzweigstücke, welche zu erheblichen Ovalisierungen führen können (Abb. 1 und 2). Bei der Verankerung von Sperrklappen wird erkennbar, dass der starken Ovalisierungswirkung zufolge der konzentrierten Lasteinleitung am besten durch Aussteifung mittels Ringen begegnet werden kann (Abb. 3).

Schubringe stellen häufig auftretende Strukturkomponenten des Druckrohrleitungsbau dar (Abb. 4), die zur Übertragung von axialen Verankerungskräften in den umgebenden Beton oder Fels dienen. Der kombinierte Beanspruchungszustand aus Innendruck, axialer Kontaktwirkung, Plastizierung des Schubringes und des Betons ergibt ein sehr komplexes Strukturproblem. Numerische FEM-Analysen (ABAQUS) konnten zur Herleitung eines mechanisch begründeten Bemessungskonzeptes verwendet werden, das die wesentlichen Tragmechanismen einer einfachen Berechnung zugänglich macht (Abb. 5).

Druckstollenpanzerungen zeichnen sich durch besonders hohe Schlankheiten (Verhältnisse Radius zu Dicke  $R/t$ ) aus. Dies wird in den letzten Jahren noch verschärft durch den verstärkten Einsatz hochfester Stähle. Im Laufe des Bauprozesses, sowie später im

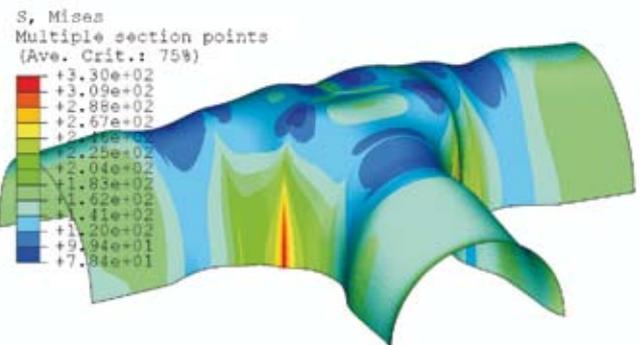


Abb. 1: Abzweigstück bei der Druckprobe, allseitiger Deckeldruck, Verformungen 500-fach überhöht

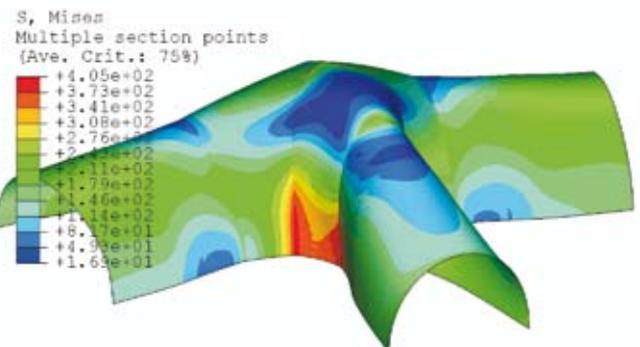


Abb. 2: Abzweigstück im Betrieb, Deckeldruck am Abzweiger, Verformungen 100-fach überhöht



Abb. 3: Verformungen des Verankerungsrohres einer Klappe des „Kopswerk II“, mit und ohne Versteifungsring

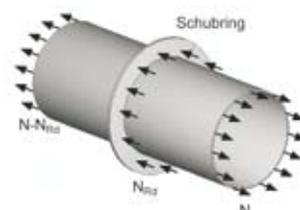


Abb. 4: Verankerungsring (Schubring), Wirkungsweise

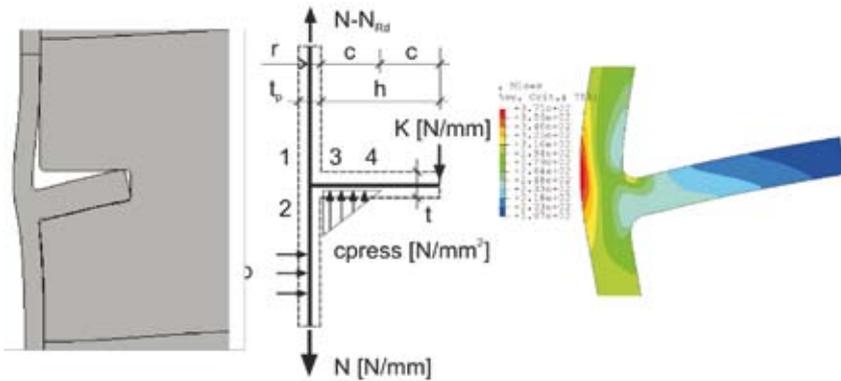


Abb. 5: Verformungen der Schubbrinige und des umhüllenden Betons

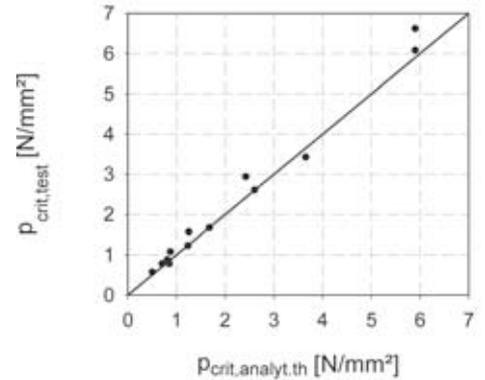


Abb. 6: Vergleich analytischer und experimenteller Ergebnisse

**Example: steel-lined pressure tunnel ("Kopswerk II")**  
 $R=1900\text{ mm}$ ,  $t=21.5\text{ mm}$ ,  $j/R=0.0003$ ,  $u/t=0.36$ ,  $f_y=448\text{ N/mm}^2$

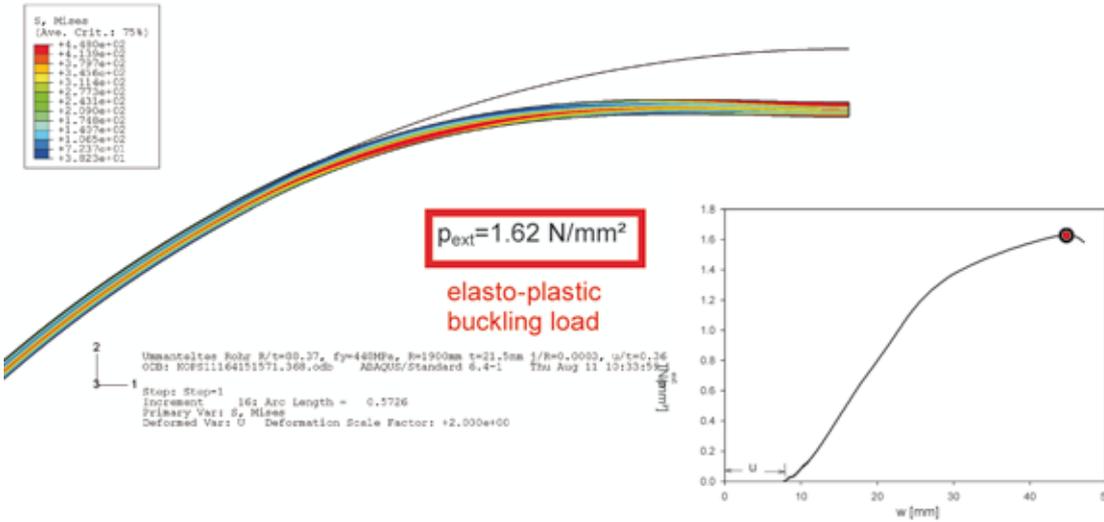


Abb. 8: Numerische FEM-Berechnungen mit strukturellen und materiellen Imperfektionen und Nichtlinearitäten. Beulen als Durchschlagsproblem

Betrieb, treten Lastfälle auf, bei denen die Stollenpanzerung Außen-  
 druck aufnehmen muss und dadurch beulgefährdet ist (Abb. 7).  
 Im Laufe der Planungen für die größten derzeit laufenden europä-  
 ischen Wasserkraftwerksprojekte „Kopswerk II“ und „Limberg“  
 sollten konventionelle Bemessungsformeln auf ihre Anwendbarkeit  
 auf höherfeste Stähle hin überprüft werden. Dazu waren FEM-  
 Analysen (ABAQUS) des ummantelten Kreisrohres erforderlich, bei  
 denen eine Vielzahl strukturmechanischer Effekte – geometrische  
 und materielle Nichtlinearitäten, Kontaktwirkung und Reibung  
 zwischen Rohr und Betonumhüllung, Nachgiebigkeit des Gebirges,  
 Eigenspannungen und Formimperfektionen. Ergänzt wurden diese  
 Untersuchungen durch analytische Ableitungen. Als Ergebnis zeigt  
 sich einerseits das typische Stabilitätsversagen des Durchschlags  
 (Abb. 8) sowie andererseits eine durchaus gute Übereinstimmung  
 von Vergleichsrechnungen mit Versuchen und dem bestehenden  
 analytischen Bemessungskonzept (Abb. 6).

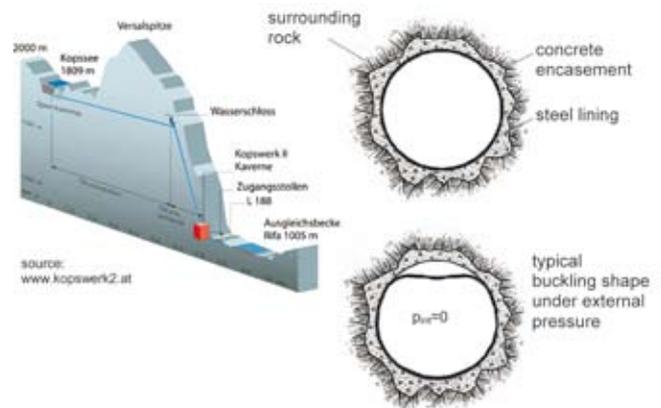


Abb. 7: Druckstollen und Stollenpanzerungen, Beulproblem des ummantelten Rohres unter Außendruck

### Structural Steel Components in Hydropower Plant Construction

Design, construction and operation of hydropower plants constitute a core (field) of research at the faculties for mechanical and civil engineering. At the Institute for Steel Structures and Shell Structures, research is conducted in the areas of mechanical modelling and strength, fatigue and buckling resistance of

structural steel elements for hydropower facilities. The latest work in this field was concerned with the development of appropriate mechanical models that allow for a check of numerical (FEM) computations, as well as the enhancement of design rules for thrust rings and pressure tunnel linings under external pressure.