



Trefftz-Shell-Element zur Modellierung von Rissausbreitung

Johannes Hartmann*, Karlheinz Kunter*, Thomas Heubrandtner*, Bernhard Fellner**, Jean-Daniel Martinez***

* VIRTUAL VEHICLE Research Center, Graz, Austria

** Magna Steyr Engineering AG & Co KG, Graz, Austria

*** AUDI AG, Ingolstadt, Germany



FFG



COMET K2 *Competence Center* - Initiated by the Federal Ministry of Transport, Innovation & Technology (BMVIT) and the Federal Ministry of Science, Research & Economics (BMWFW). Funded by FFG, Land Steiermark and Steirische Wirtschaftsförderung (SFG)

- Motivation Risspitzelement
- Funktionsweise Trefftz-Shell-Element
- Validierung Mode III
- Kopplung mit LS-DYNA
- Beispiel
- Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangssituation:

- Crashsimulation mit der Finite-Elemente-Methode
- Verwendung der expliziten FEM, weil
 - Crash erfolgt in kurzem Zeitintervall
 - Massenkräfte müssen berücksichtigt werden
 - Keine Inversion der Steifigkeitsmatrix nötig

Bruchmechanik:

- Vorschädigung erzeugt einen Anfangsriss
- Erweiterung der Crashsimulation um ein Modell für das Wachstum des Anfangsrisses unter Crashbelastung
- Grundlage bildet die linear-elastische Bruchmechanik (LEFM)
- Kriterium für Risswachstum z. B. auf Basis der Spannungsintensitätsfaktoren K_I , K_{II} und K_{III}
- Hohe Spannungslokalisierung an der Rissspitze

Problemstellung:

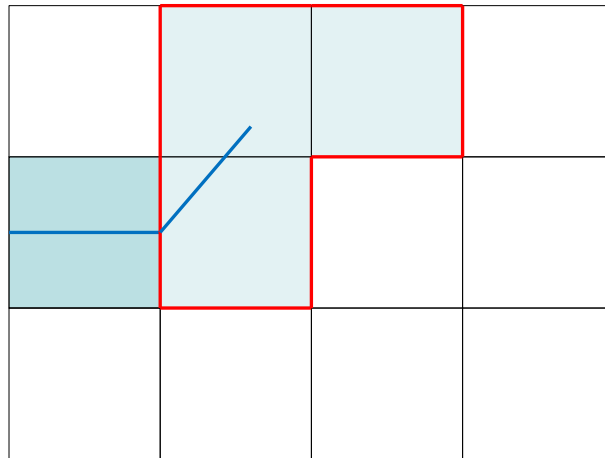
- Zur Auflösung der hohen Spannungslokalisierung an der Rissspitze ist eine feine Vernetzung erforderlich
- Die explizite FEM kann nur dann stabil sein, wenn die Zeitschrittweite klein genug gewählt wird
- Die zulässige Zeitschrittweite hängt über die Courant-Zahl mit der Netzgröße zusammen
- Das kleinste Element bestimmt die Zeitschrittweite
- Feinvernetzung an der Rissspitze verkleinert die zulässige Zeitschrittweite und erhöht den Rechenaufwand

Spezielles Trefftz-Rissspitzenenelement

- Linear-elastisches Shell-Element für dünnwandige Strukturen (z. B. hochfeste Blechstrukturen)
- Getrennte Betrachtung von in-plane und out-of-plane
- Erweiterung um Rissspitzenplastizität möglich
- Elementansatzfunktionen sind Lösungen der jeweiligen Differentialgleichungen
- und erfüllen die Randbedingungen am Rissufer
- sowie in schwacher Form Kopplungsrandbedingungen

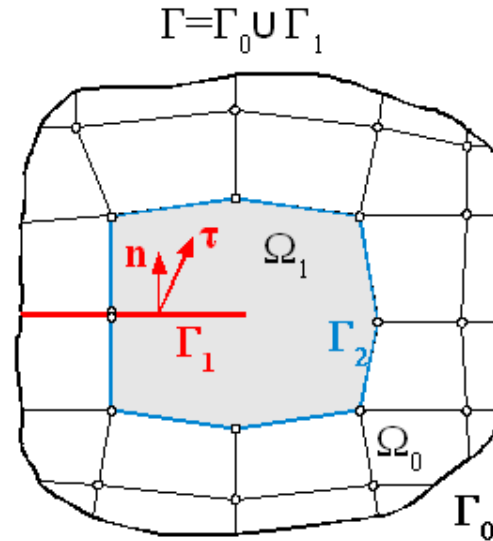
Spezielles Trefftz-Risspitzenelement

- Rissausbreitung erfolgt quasi-kontinuierlich innerhalb des Elements
- Es werden auch Lösungsanteile höherer Ordnung dargestellt
- Direkte Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren K_I , K_{II} und K_{III}
- Variable Knotenanzahl ermöglicht Bewegung des Elements mit der Risspitze durch das Bauteil



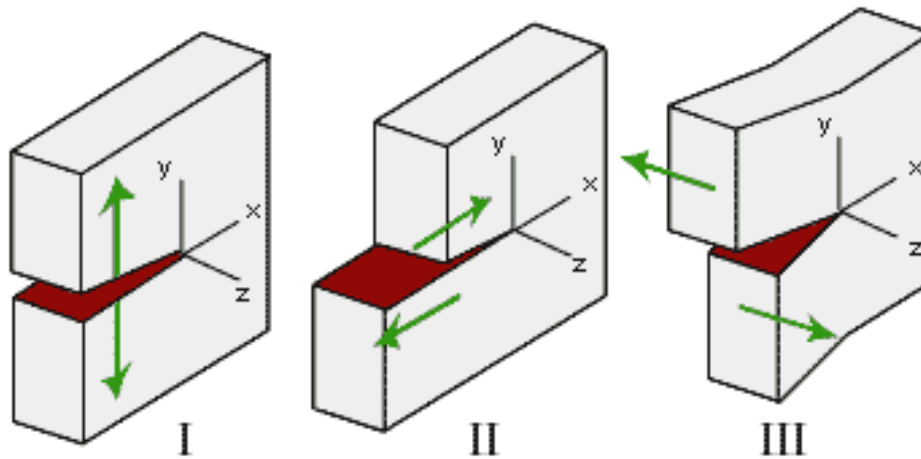
- Rissverlauf
- T-Element am Anfang
- T-Element neu positioniert
- Finites Element

- kontinuierliches Risswachstum innerhalb Trefftz-Shell-Element
- Mitführen des Trefftz-Elements mit der Risspitze
- Knotenanzahl des Trefftz-Elements variabel



$\Omega_0 \longrightarrow$ FEM	$\Omega_1 \longrightarrow$ Trefftz-Element
Omega_0 FE-Gebiet Gamma_0 Bauteilrand Gamma_2 Kopplungsrand	Omega_1 Trefftz-Elementgebiet Gamma_1 Rissufer Gamma_2 Kopplungsrand

- 3 unterschiedliche Rissöffnungsmoden
- In der Praxis treten gemischte Beanspruchungen auf



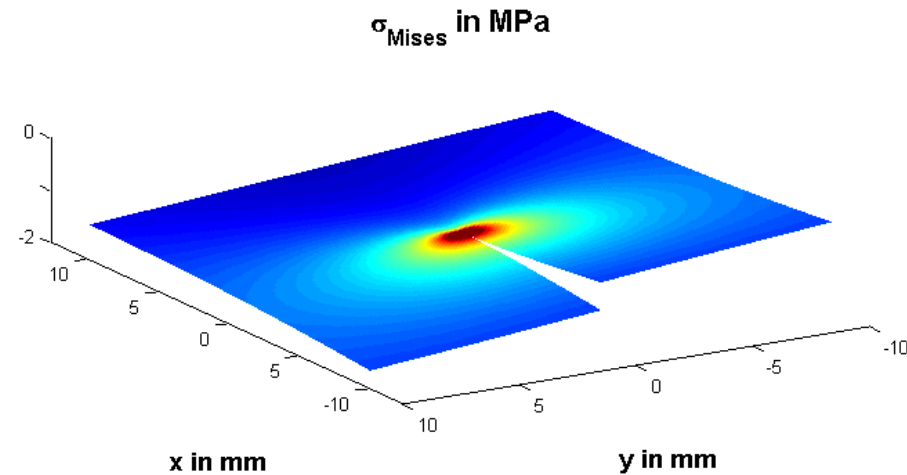
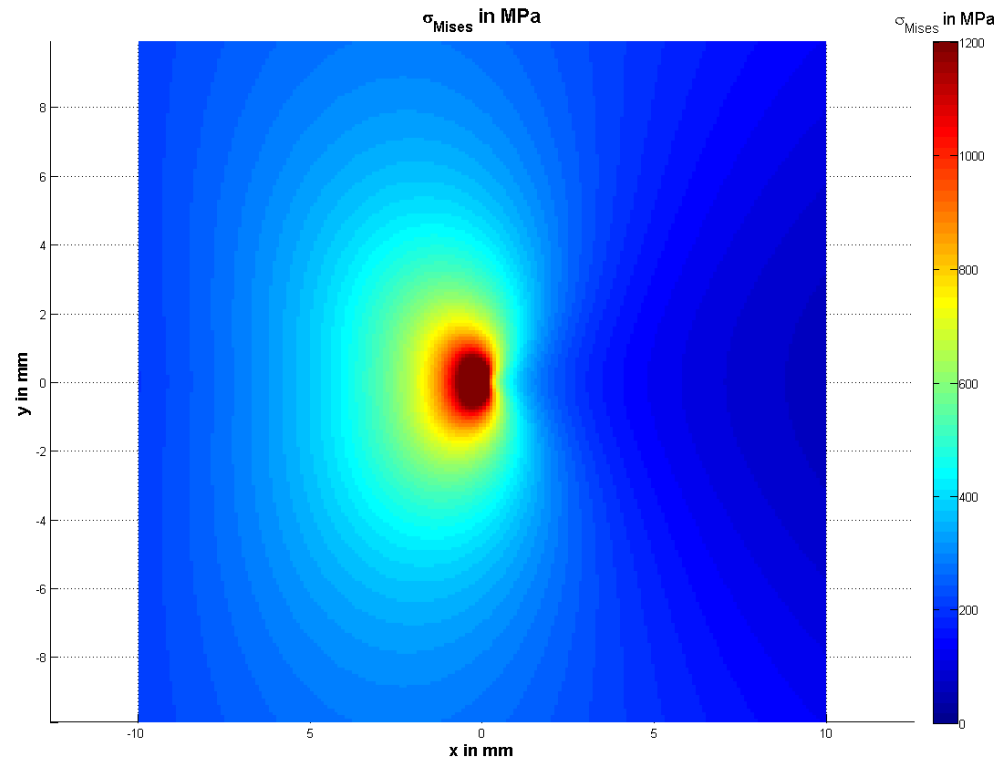
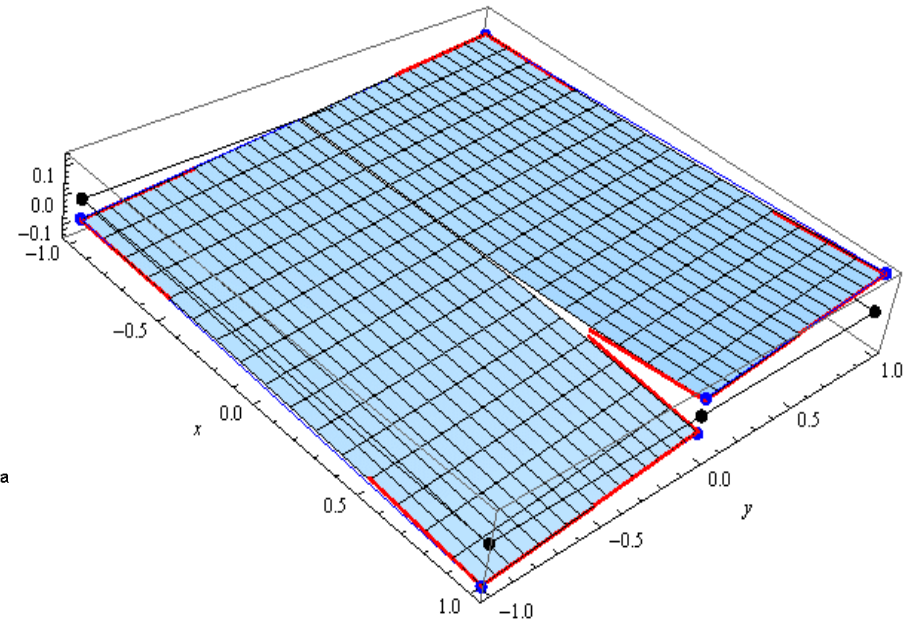
- Getrennte Betrachtung von in-plane- und out-of-plane-Verformungen
- Gesamtsteifigkeitsmatrix ist Blockmatrix aus beiden Teilsteifigkeitsmatrizen

$K_{ges} =$



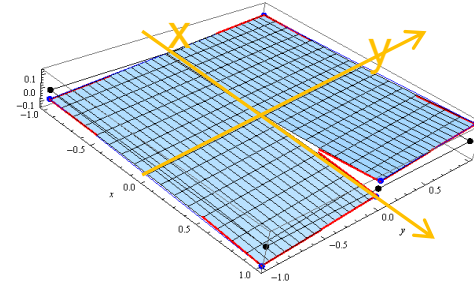
Verschiebungen und Spannungen

- analytische Lösungen an Rissspitze
- Kopplungsrandbedingungen werden schwach erfüllt

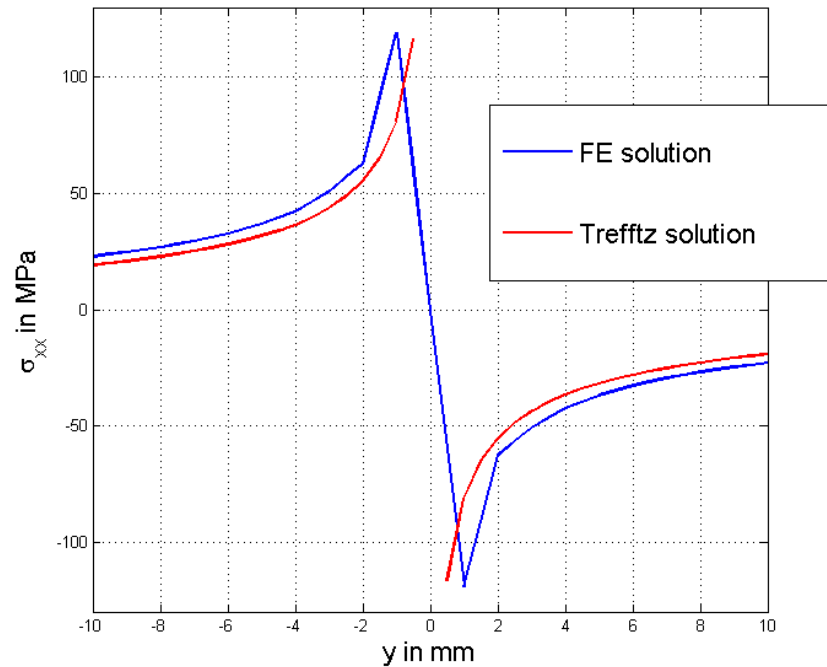


Trefftz-Element und FE-Modell

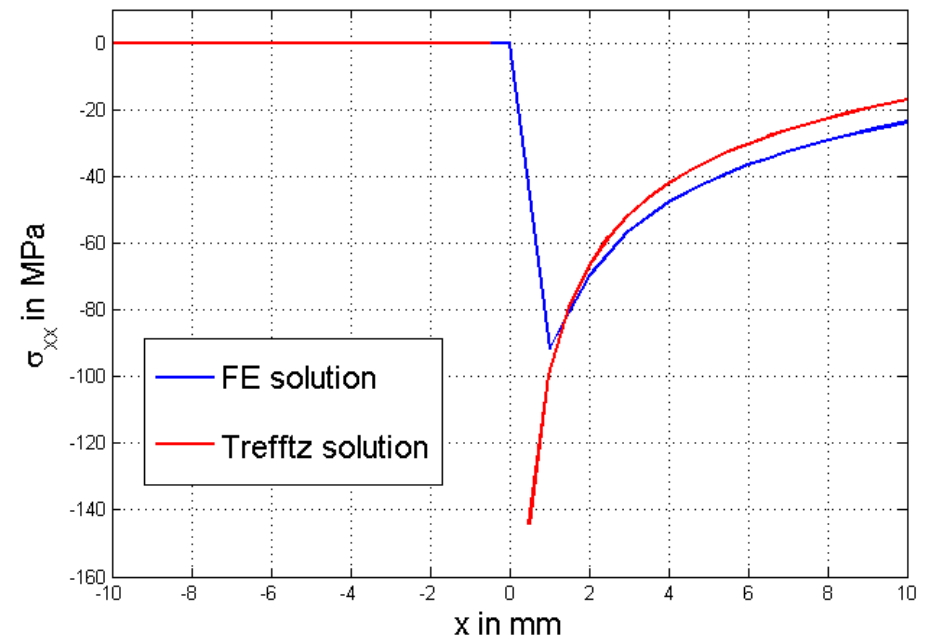
- Implizite FE-Referenzlösung (128*128=16384 Elemente)
- Gute Übereinstimmung
- Spannungssingularität an der Rissspitze im Trefftz-Modell



Component σ_{xx} of Stress



Component σ_{xx} of Stress



Aufbau der Schnittstelle:

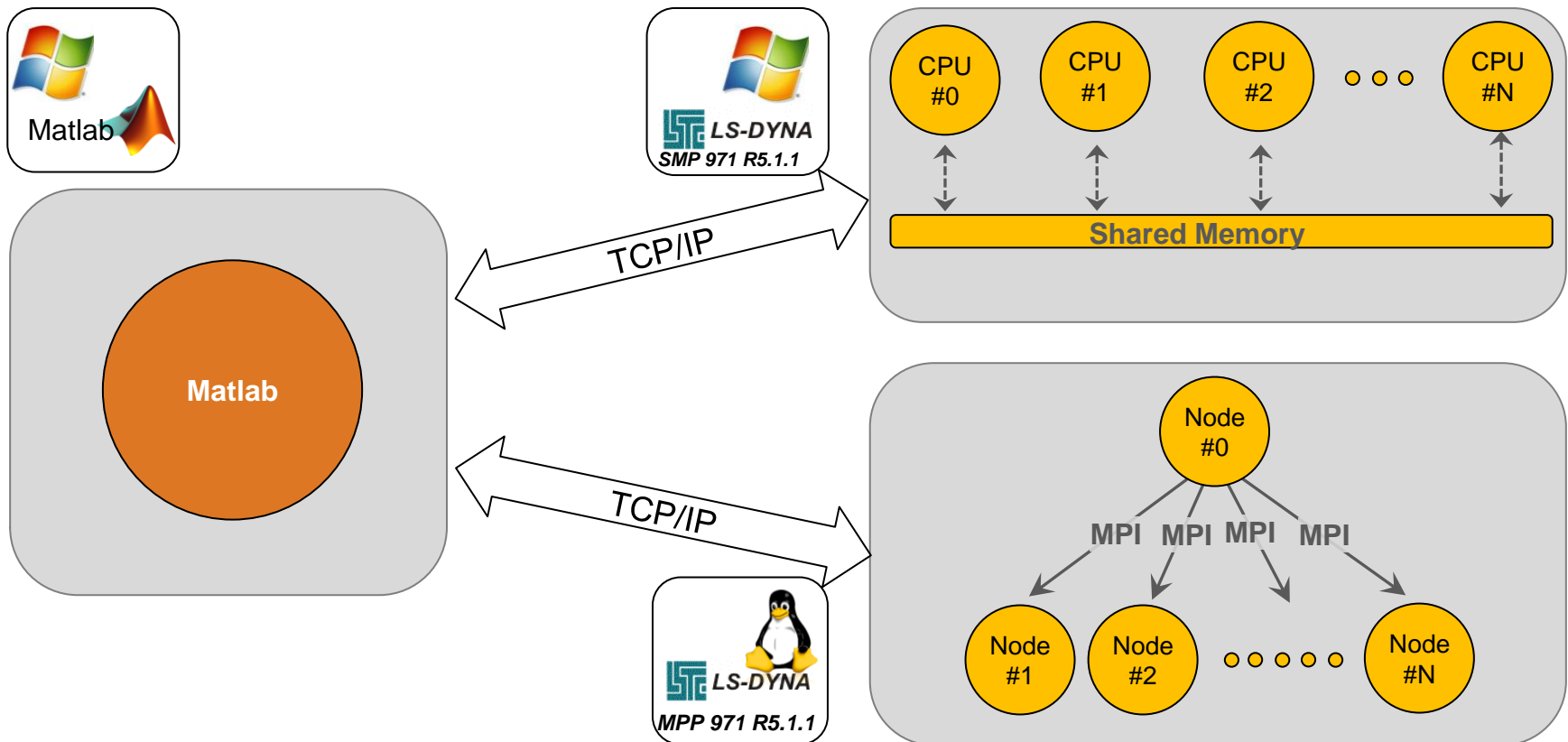
- Implementierung Trefftz-Shell-Element in Matlab
- LS-Dyna lokal unter Windows oder am Linux-Cluster

Anforderungen:

- Plattformunabhängigkeit
- Einfache Bedienung
- Kontrolle der Ergebnisse möglich

Kopplung Matlab-LS-Dyna

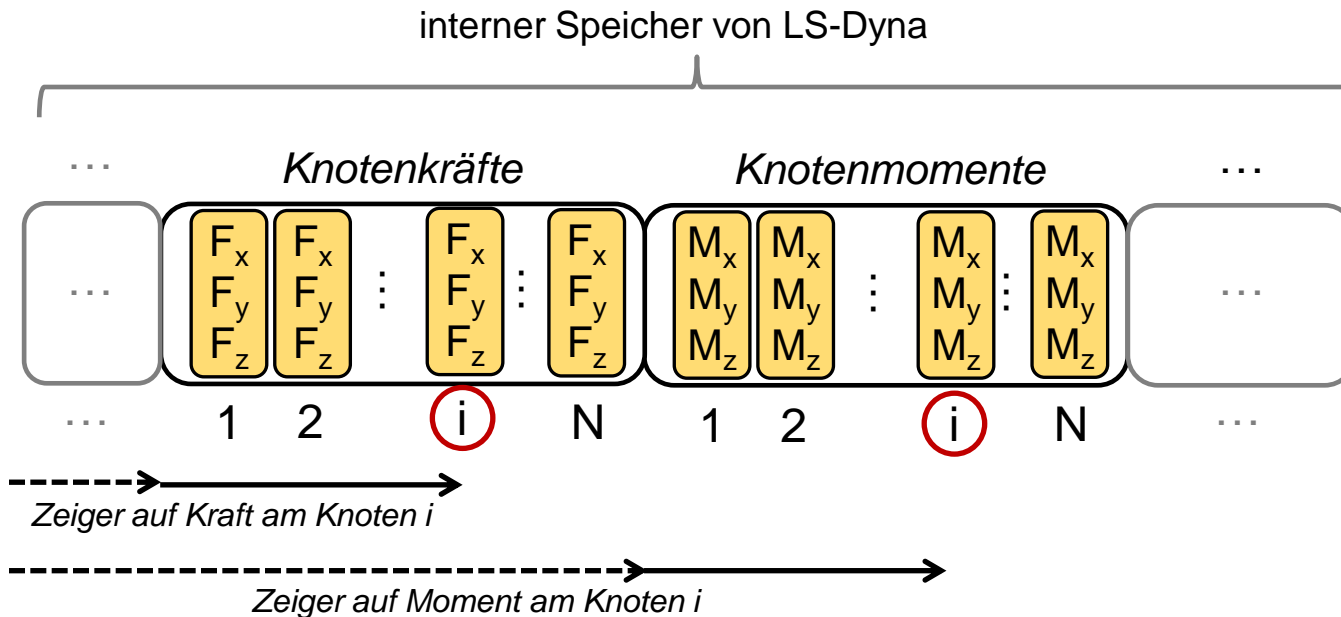
unterstützte Systeme: Windows/Windows und Windows/Linux (Cluster)



Kopplung Matlab-LS-Dyna

Direkter Zugriff auf Momente in LS-Dyna (`loadud` nur Kräfte)

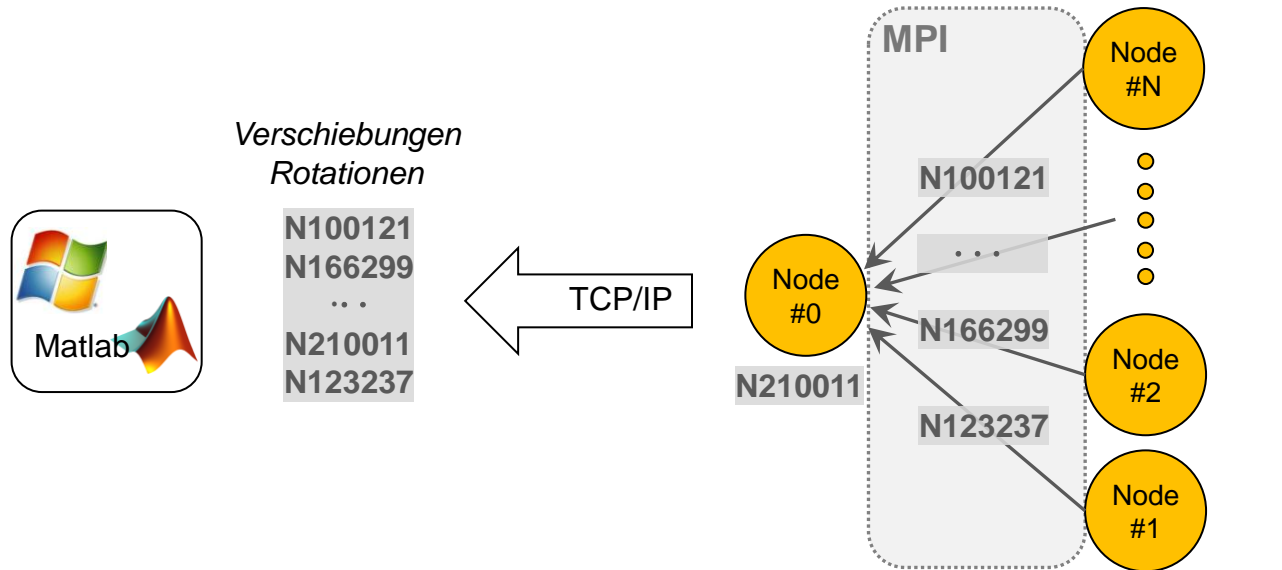
- Zeiger auf bestimmte Speicherbereiche verfügbar (nicht offiziell dokumentiert)
- Indizierung der Felder über interne Knoten ID



Kopplung Matlab-LS-Dyna

Kommunikation über MPI (Message Passing Interface)

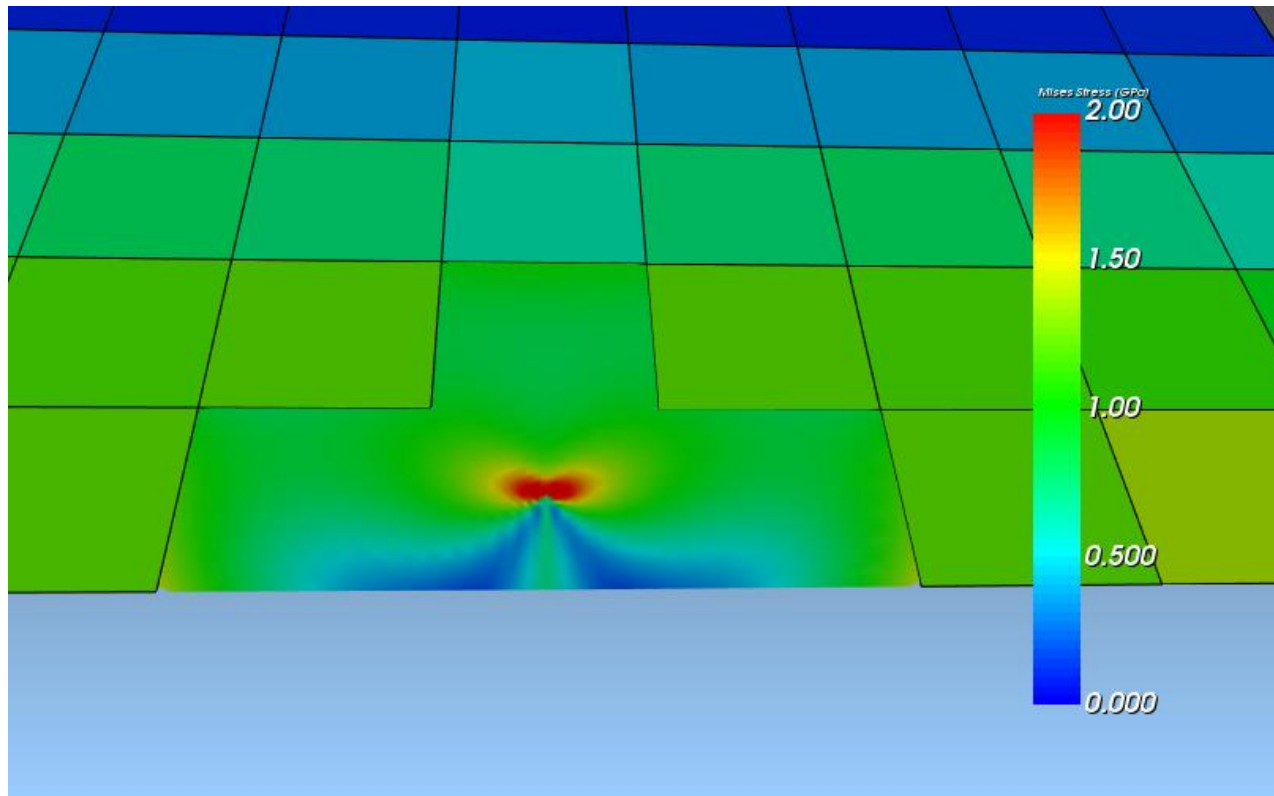
Beispiel: Übertragung der Knotenverschiebungen/Knotenrotationen



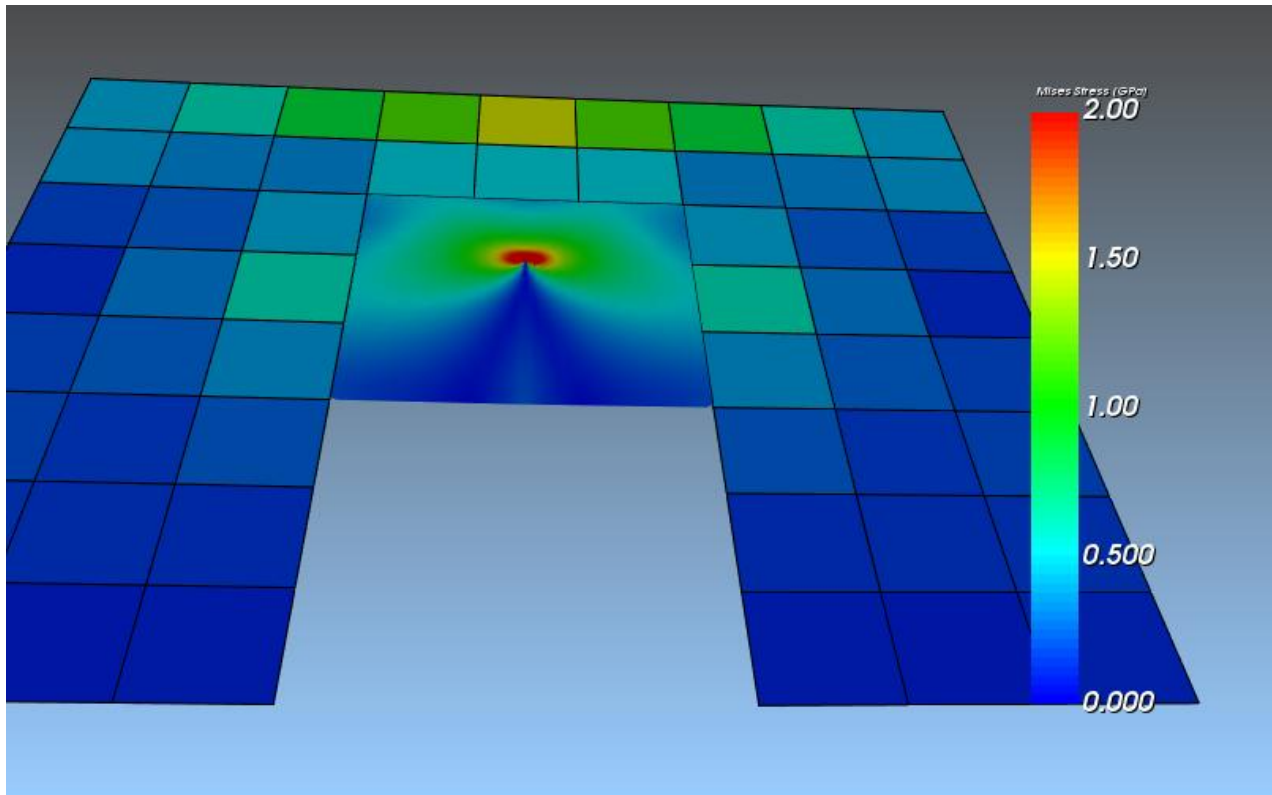
Übermittlung der Knotenverschiebungen und Knotenrotationen vom "Master-Knoten" an das Trefftz Element (Matlab) via TCP/IP.

Sammeln der Knotenverschiebungen und Knotenrotationen aller Cluster-Nodes via MPI am "Master-Knoten".

- Rissöffnung in der gekoppelte Simulation unter Mode-I-Belastung (von Mises Spannung in GPa)



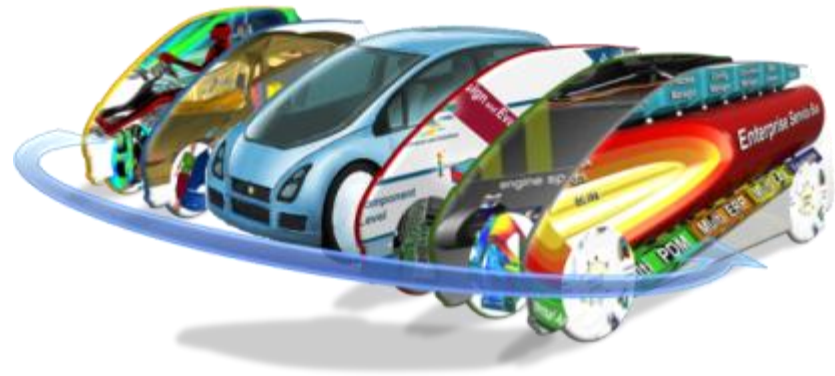
- Rissausbreitung in der gekoppelten Simulation unter Mode-I-Belastung (von Mises Spannung in GPa)



- Eine sinnvolle Berücksichtigung von Rissausbreitung in der Crashsimulation erfordert eine Erweiterung der expliziten Standard-Finite-Elemente-Methode
- Ein Lösungsansatz ist das hybride Trefftz-Shell-Element
- Das Trefftz-Shell-Element beinhaltet neben dem singulären Spannungsterm auch höhere Ordnungen
- Eine Softwareschnittstelle zum Test der gekoppelten Simulation steht zur Verfügung

Weitere Entwicklungsschritte:

- Mehrere Risse in einem Bauteil
- Rissabknicken innerhalb des Trefftz-Elements
- Modellierung von Rissspitzenplastizität über Kohäsivzonenansatz



Johannes Hartmann
VIRTUAL VEHICLE Research Center
johannes.hartmann@v2c2.at