

Mechanische Aspekte des hydraulisch induzierten Risswachstums

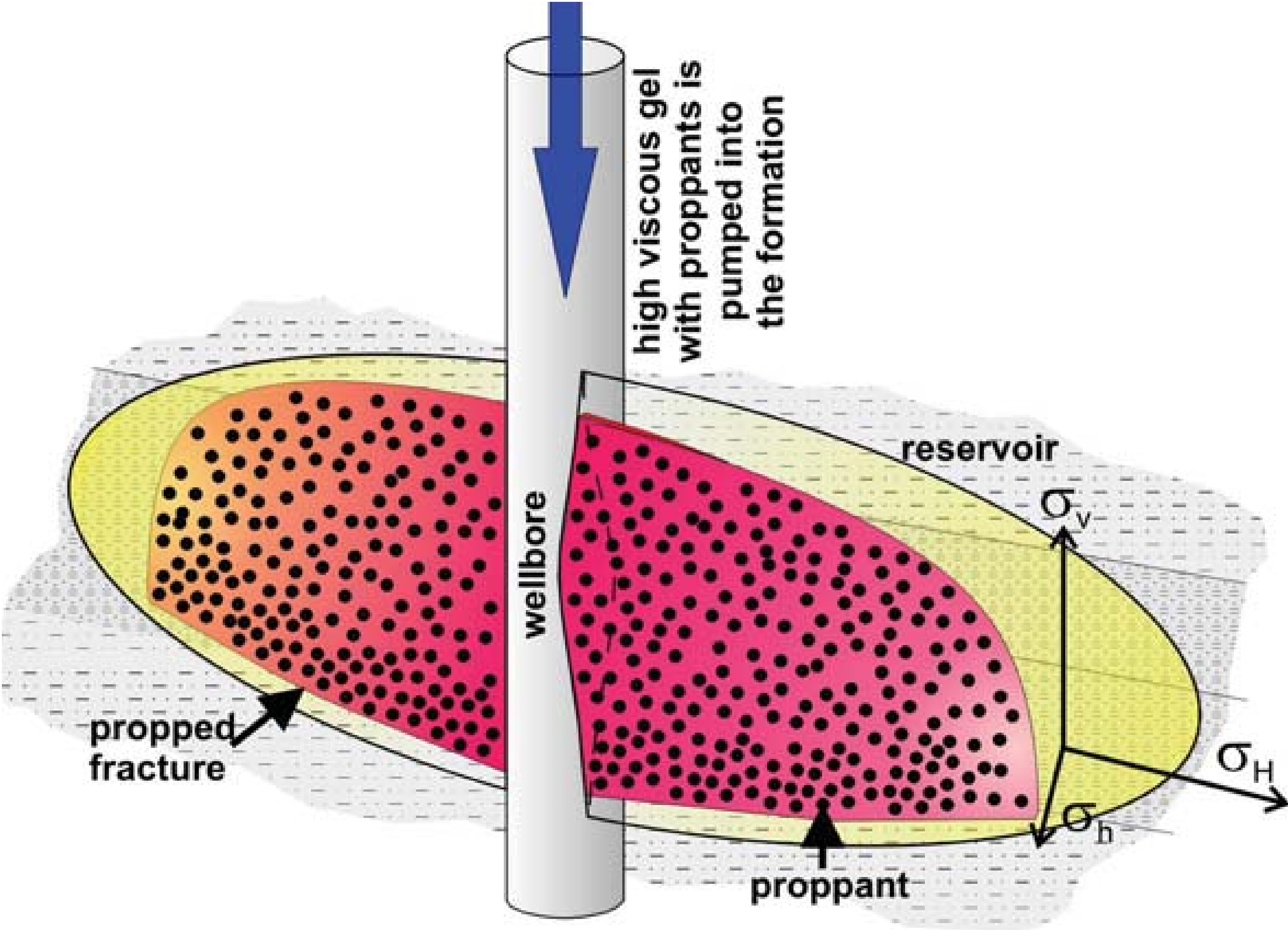
Tobias Backers und Carina Gröhser
geomecon GmbH

hydraulische Stimulation

Überbrückung des bohrungsnahen, geschädigten Bereiches

Anschluss der Bohrung an die hydraulischen Wegsamkeiten

Maximierung der Zuflussfläche



(Reinicke 2009. Dissertation)

Annahmen

homogener Halbraum

es bildet sich ein planarer Riss

dieser wächst senkrecht zur kleinsten Hauptspannung

der Riss ist ein Zugriss

Realität

existentes Rissnetzwerk → inhomogen

existente Risse verbinden sich → kein planarer Riss

Rissnetzwerk kann den Riss ablenken → nicht an Spannungstensor ausgerichtet

existente Risse wachsen auch scherungsdominiert → nicht nur Zug

Fokus des Vortrags

mechanische Aspekte des Risswachstums
Implikationen für die hydraulische Stimulation

Studien und Entwicklungen unterstützt durch

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Aspekte des hydraulisch induzierten Risswachstums

Kooperation mit Ruhr Universität Bochum, Prof. Alber

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Entwicklung mathematischer Modelle kompressiven Risswachstums und numerischer Routinen für

Risswachstumssimulationen

Kooperationspartner Helmholtz Zentrum Potsdam

Risswachstum

Risse im Material erzeugen Spannungskonzentrationen
Risse wachsen bei Erreichen einer kritischen Spannungskonzentration,
der Bruchzähigkeit (fracture toughness)

Spannungskonzentration

Modus I (Zug) —————

Modus II (Scherung) —————

Modus III (rotationale Scherung) —————

$$\begin{bmatrix} K_I \\ K_{II} \\ K_{III} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix} \sqrt{\pi \cdot a}$$

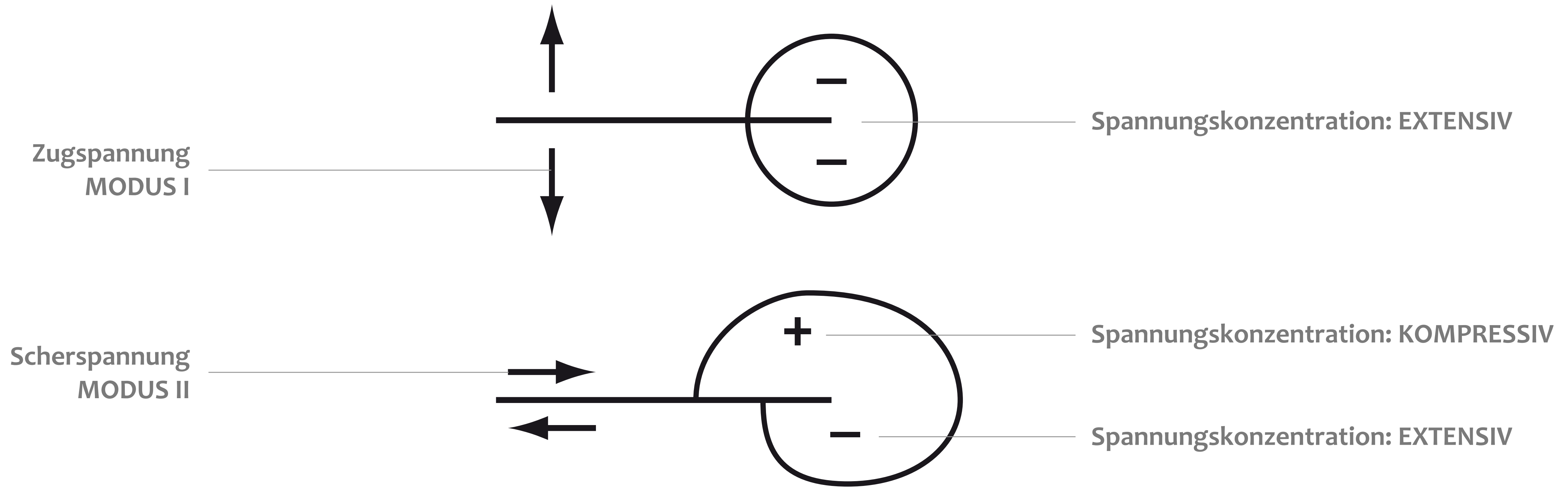
Spannungskonzentration

wirkende Spannung

effektive Risslänge

(weiterführende Literatur: Lawn 1993)

Modus I vs Modus II

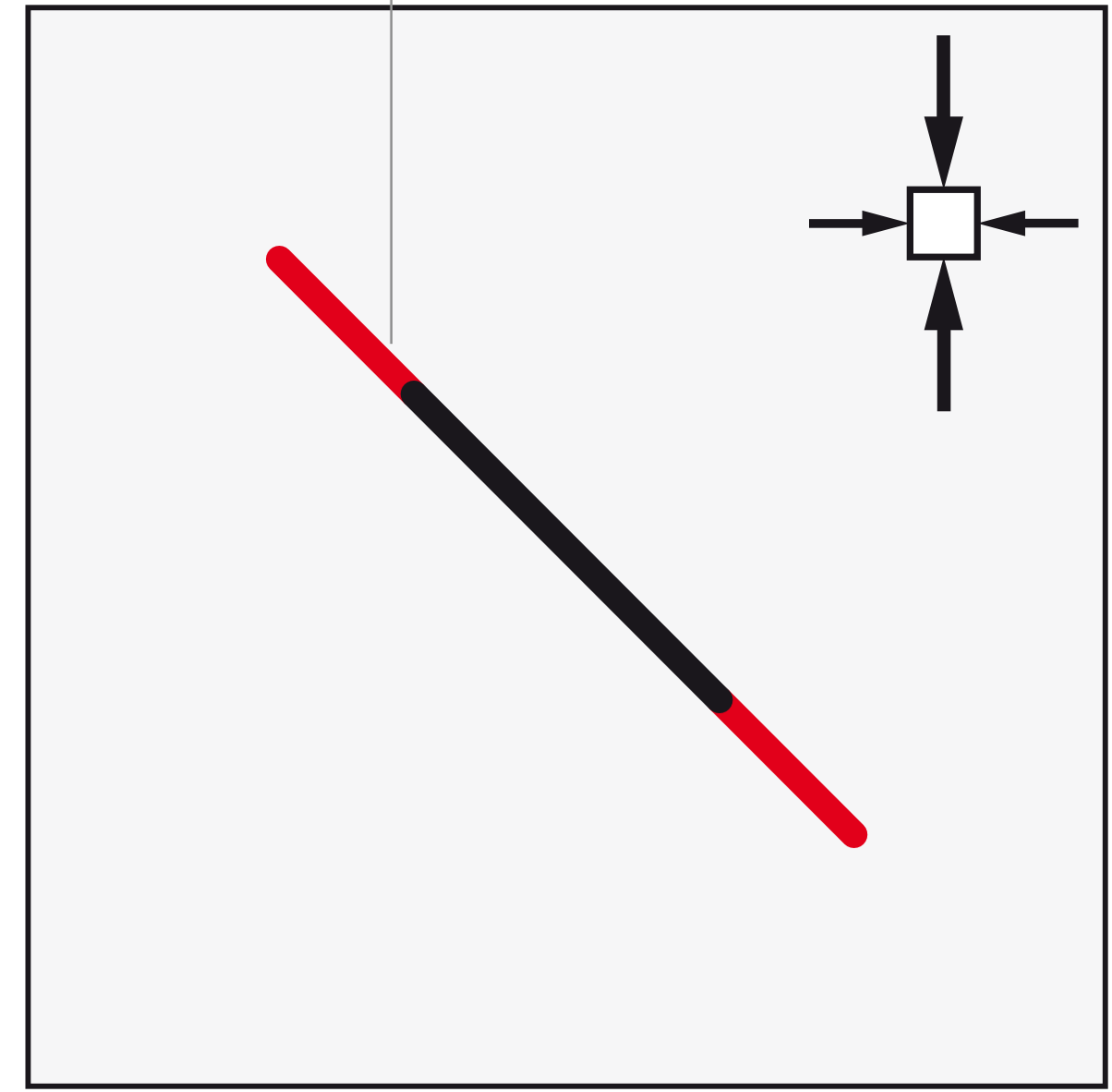
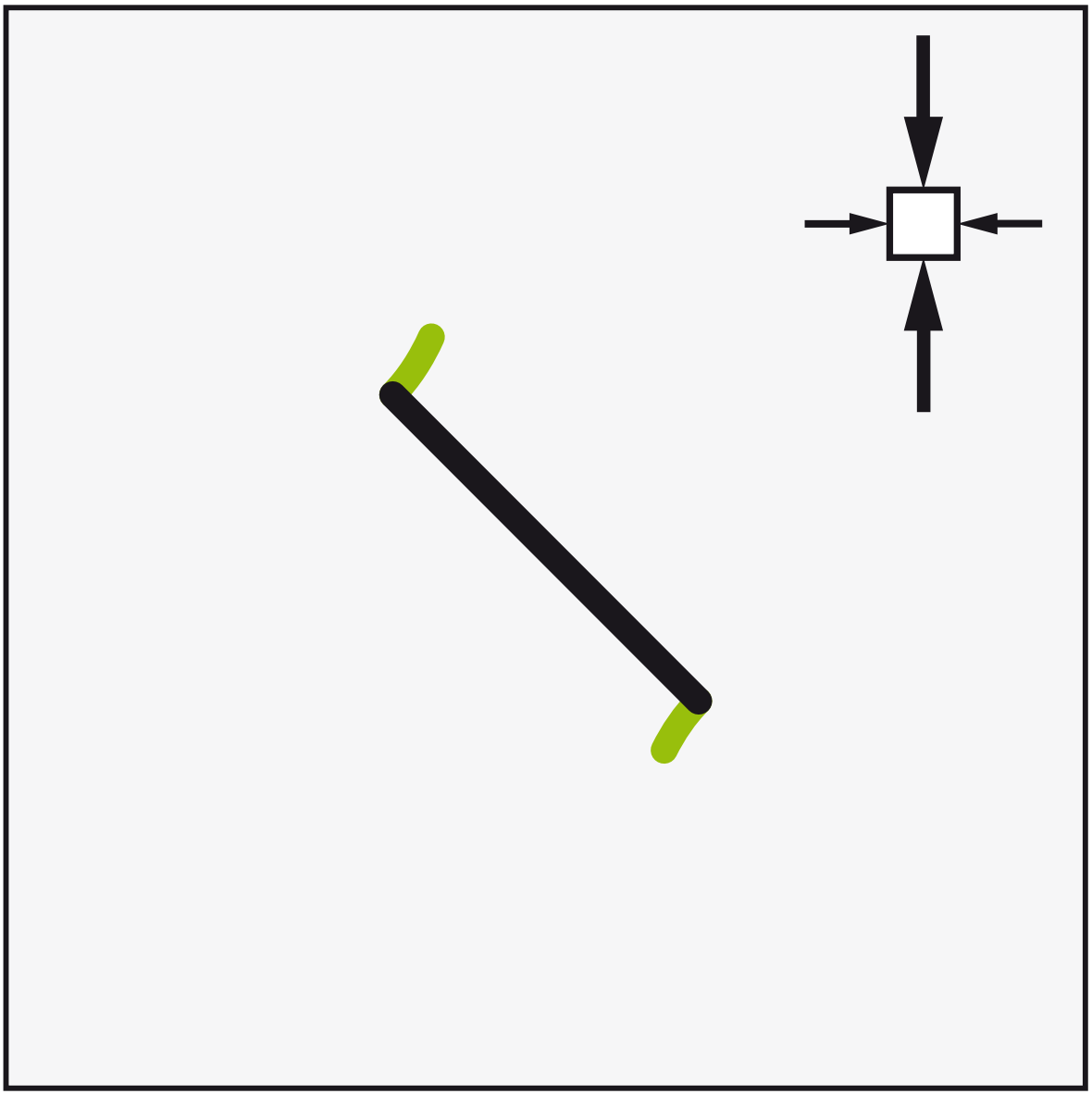
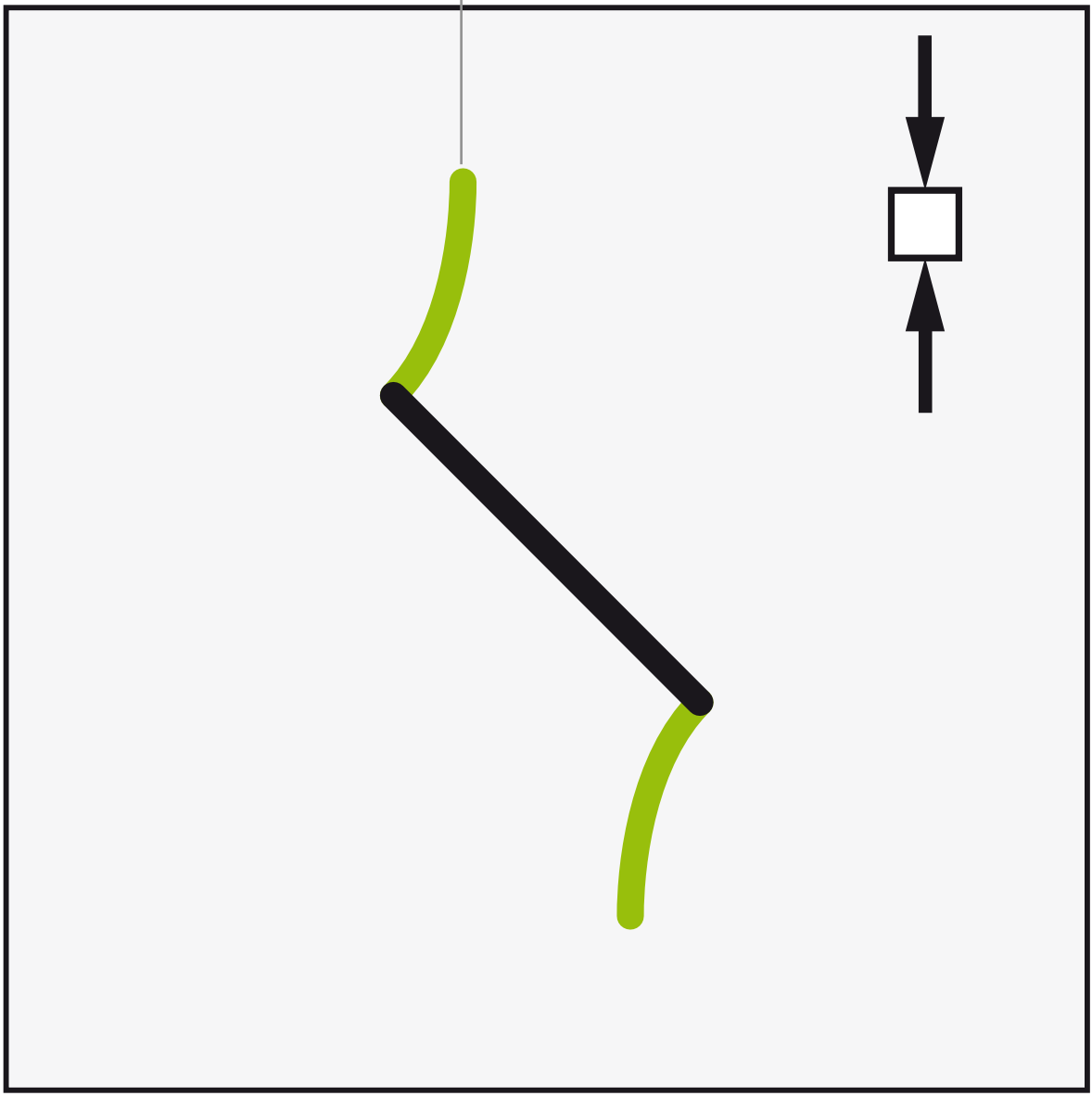


(weiterführende Literatur: Lawn 1993)

Modus I vs Modus II

wing fracture (extensiv)

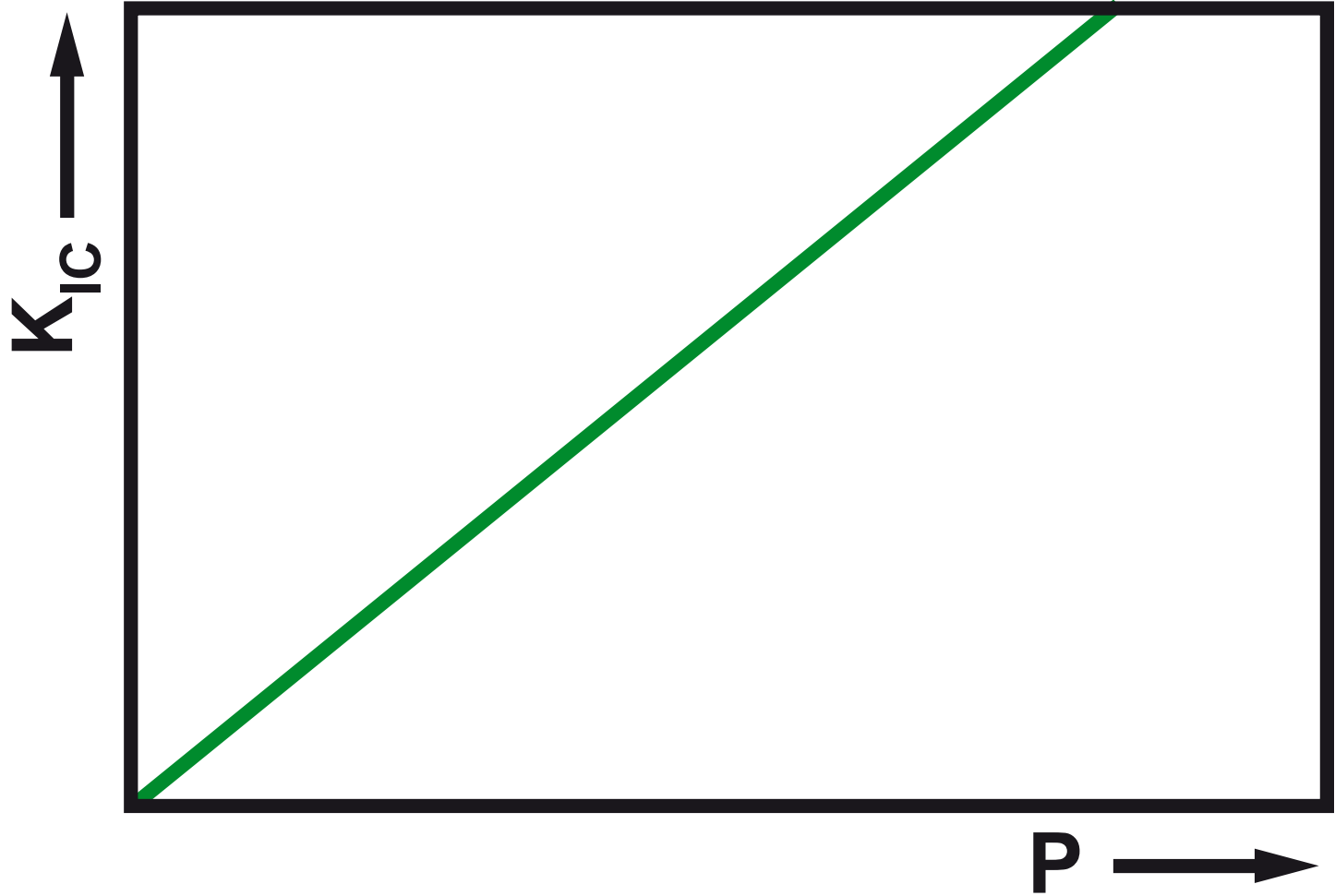
Scherriss (kompressiv)



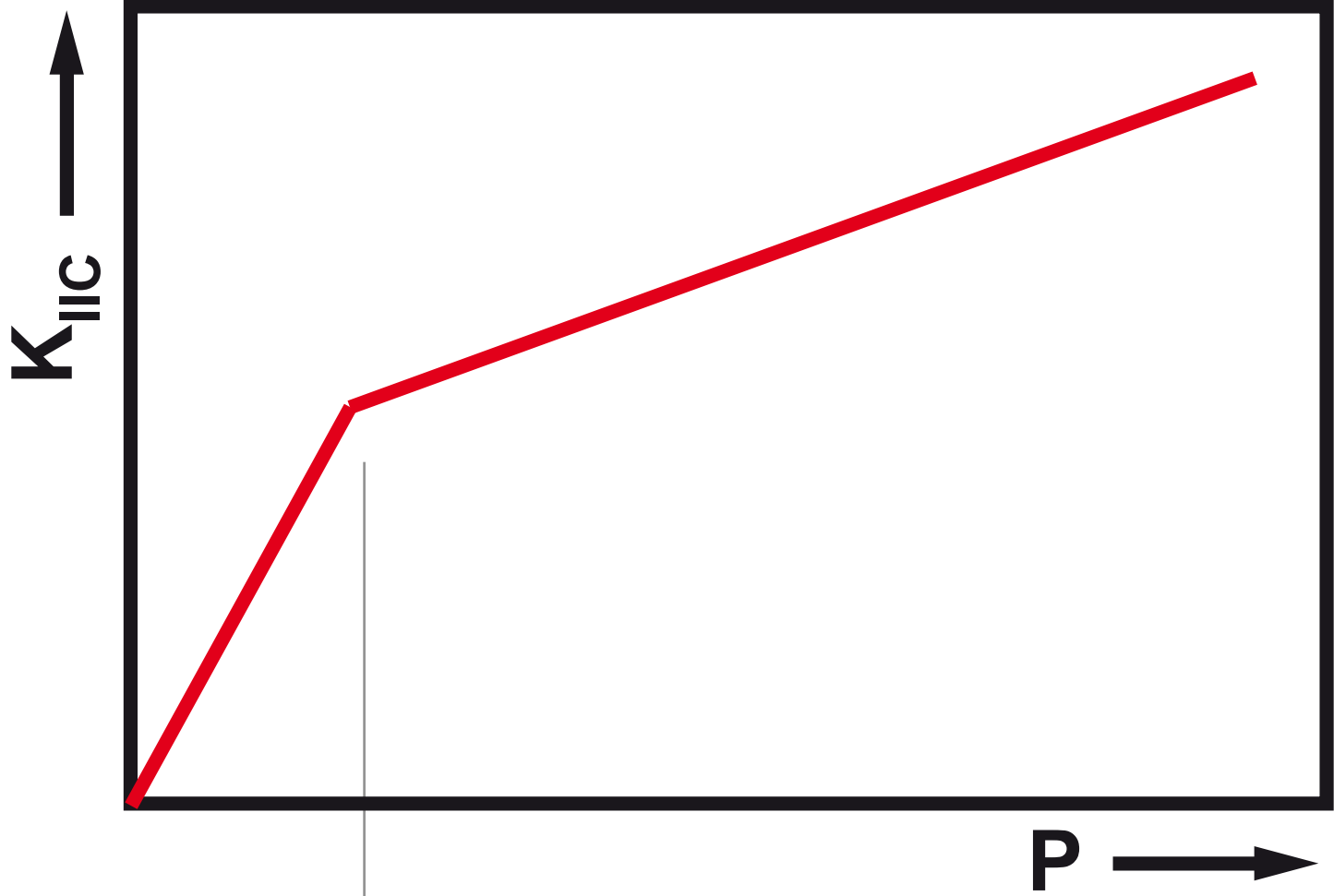
Umlagerungsdruck fördert Modus II Risswachstum

Backers 2005; Bobet und Einstein 1998; Broberg 1999; Lawn 1993; Melin 1996

Modus I vs Modus II



Normalspannung



Wechsel des Mikromechanismus ≈ 25 MPa

Bestimmung der Bruchzähigkeiten

Modus I ISRM Suggested Method 1988, F Ouchterlony

Modus II ISRM Suggested Method 2012, T Backers und O Stephansson

		K_{Ic} [MPam ^{1/2}]	K_{IIc} (P=0.1MPa) [MPam ^{1/2}]	K_{IIc} (P hoch) [MPam ^{1/2}]
Ävrö Granit	Schweden	3,8	4,7	11,5
Aue Granit	Deutschland	1,6	4,2	10,5
Carrara Marmor	Italien	2,4	3,1	6,7
Flechtlinger Sandstein	Deutschland	1,2	2,1	5,3
Bentheimer Sandstein	Deutschland	0,9	2,7	6,1
Rüdersdorfer Kalkstein	Deutschland	1,1	3,1	4,2

Ausgangslage

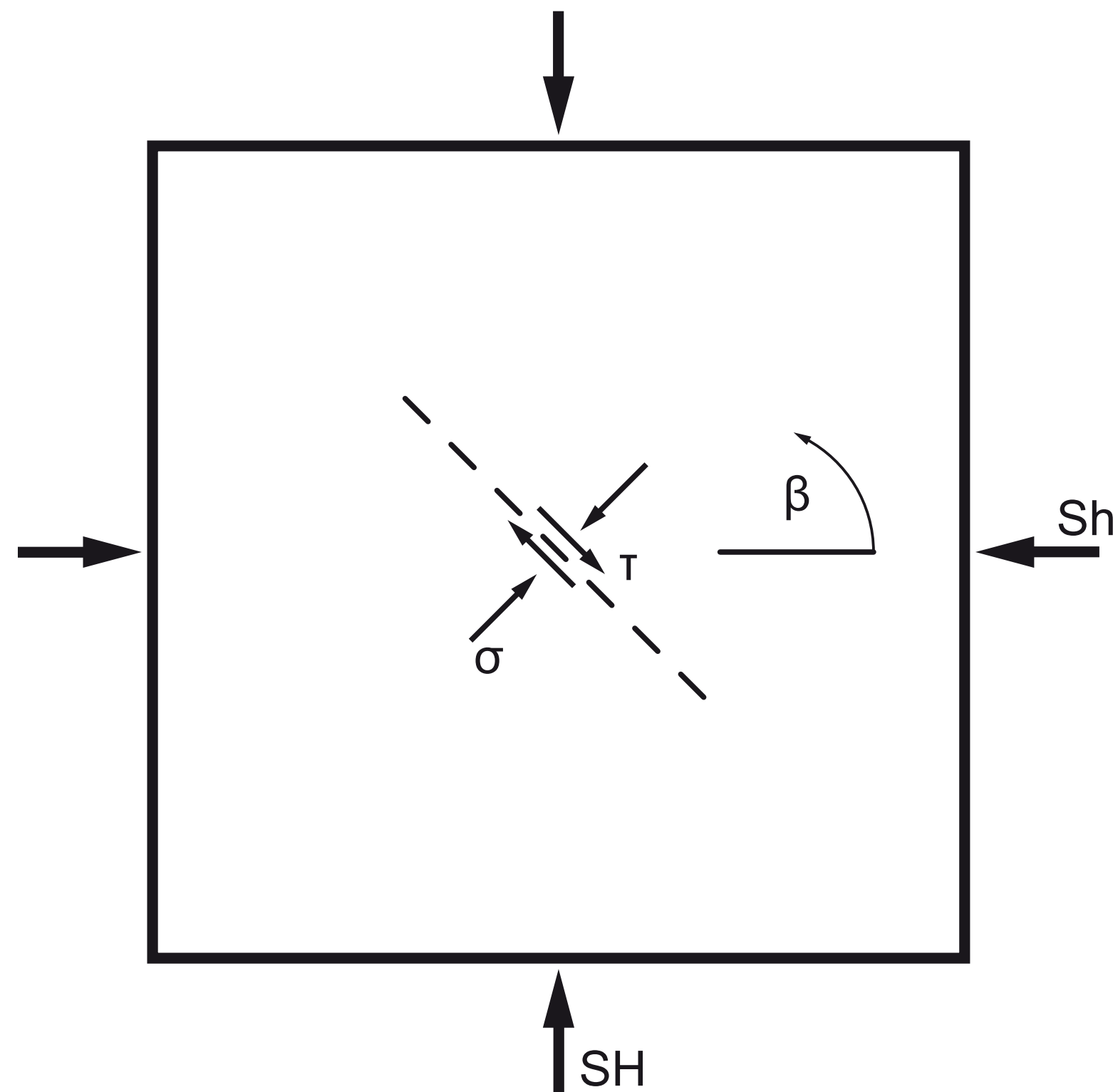
bei typischen Spannungen der geothermischen Anwendung

(a) wird Zugrisswachstum unterdrückt und

(b) Scherrisse wachsen in der eigenen Ebene

Modellparameter

in Anlehnung Groß Schönebeck



Parameter

max. Horizontalspannung $SH = 100 \text{ MPa}$

min. Horizontalspannung $Sh = 50 \text{ MPa}$

Fluiddruck $Pp = \text{variabel}$

Reibungsbeiwert $\mu = \text{variabel}$

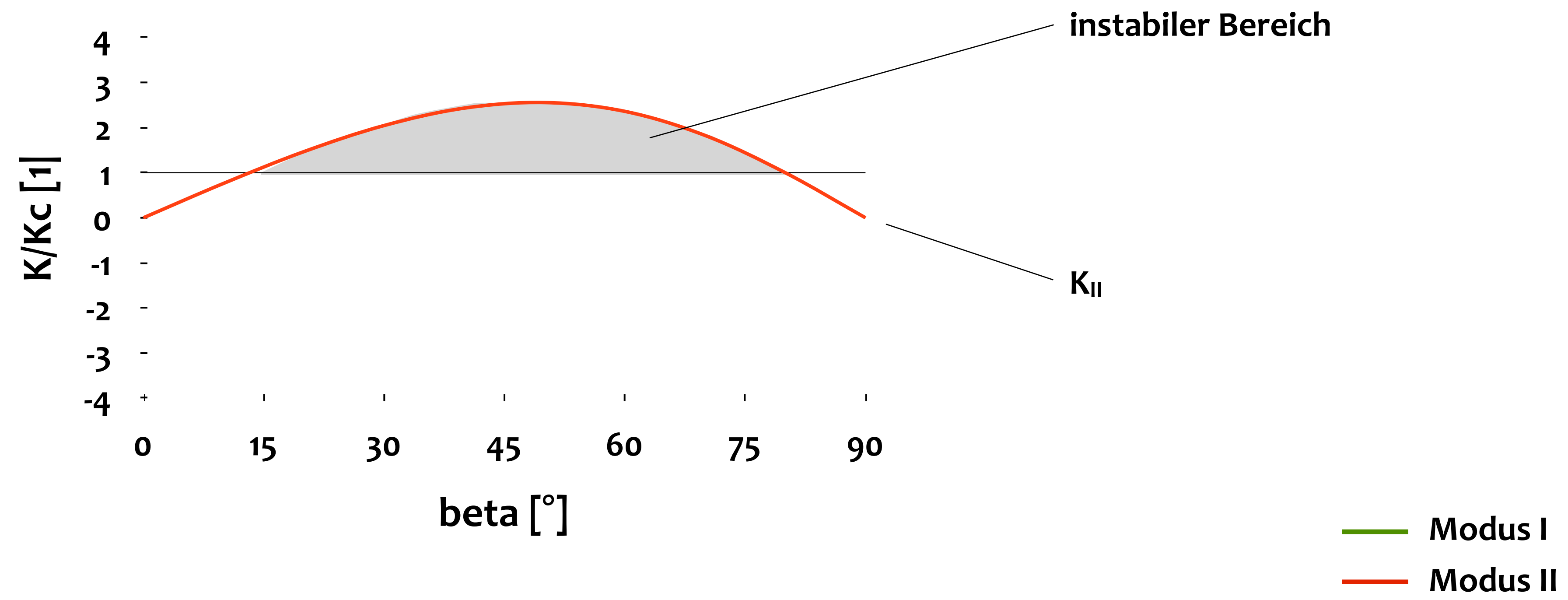
Modus I FT $K_{IC} = 3 \text{ MPam}^{1/2}$

Modus II FT $K_{IIc} = (10 + 0,1 Pp) \text{ MPam}^{1/2}$

Risslänge 2 m

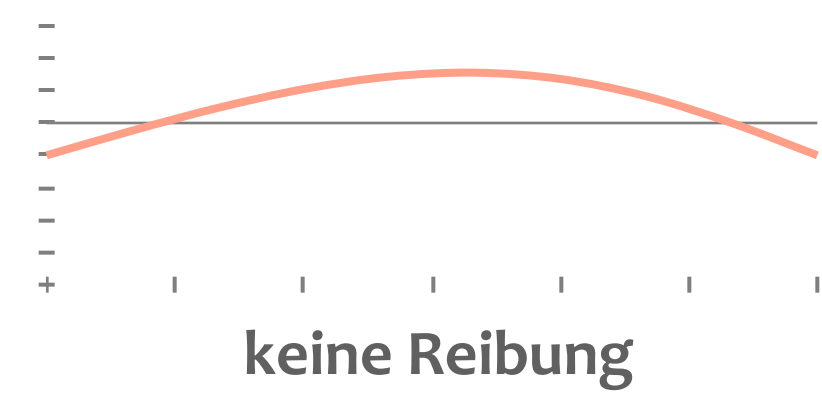
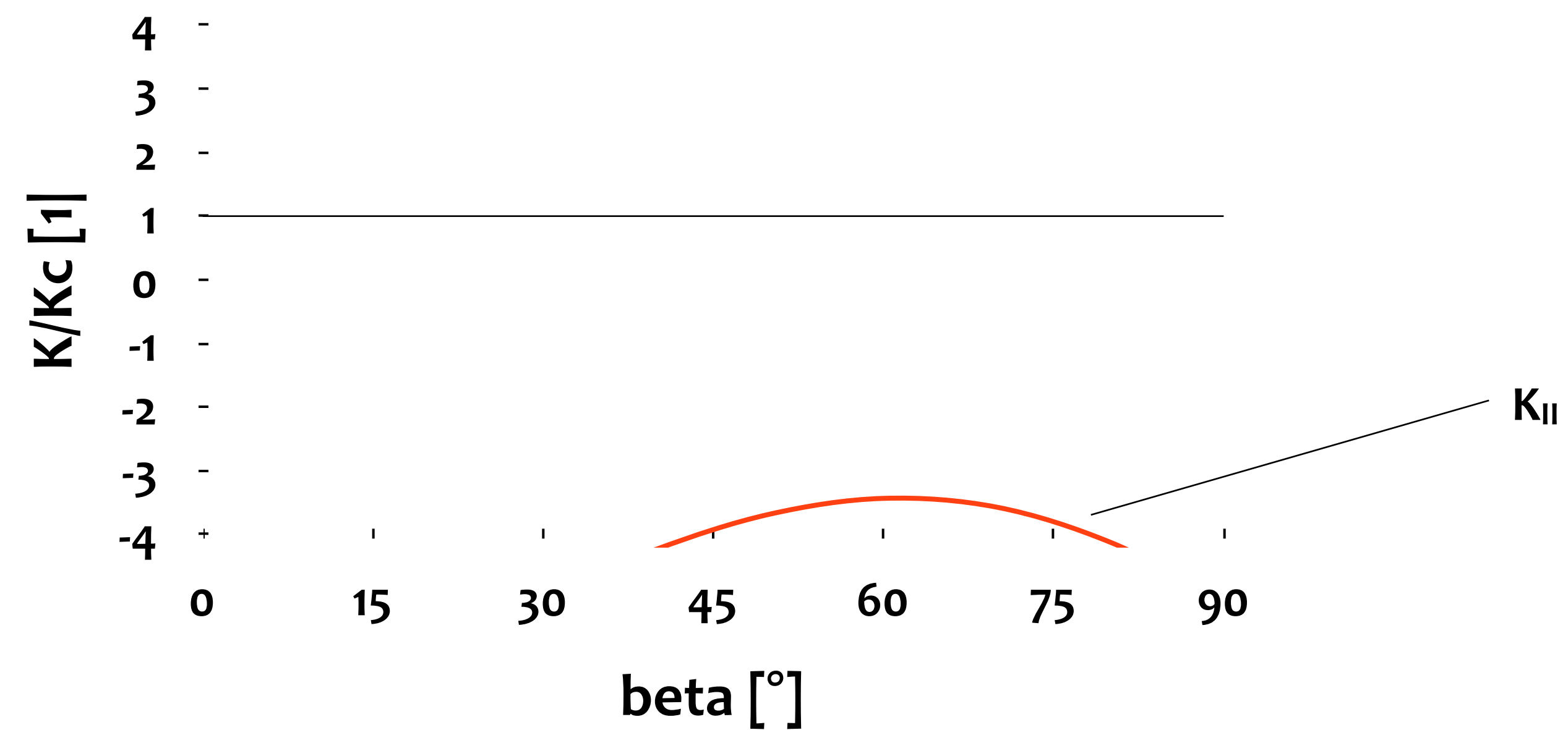
keine Reibung, kein Fluiddruck nur Modus II

SH = 100 MPa
Sh = 50 MPa
Pp = 0 MPa
 $\mu = 0$



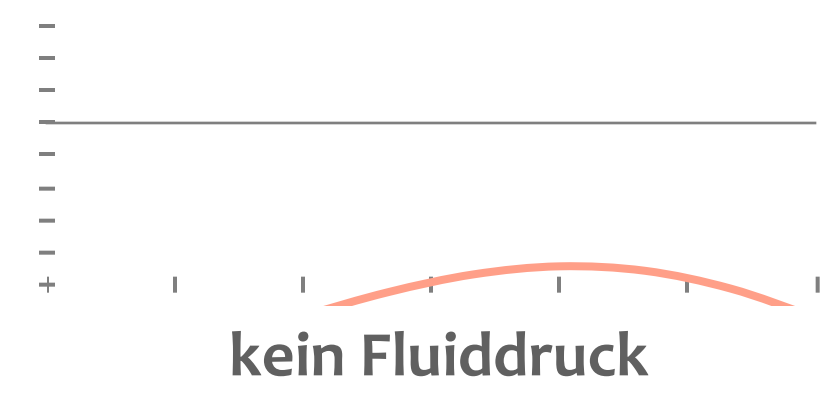
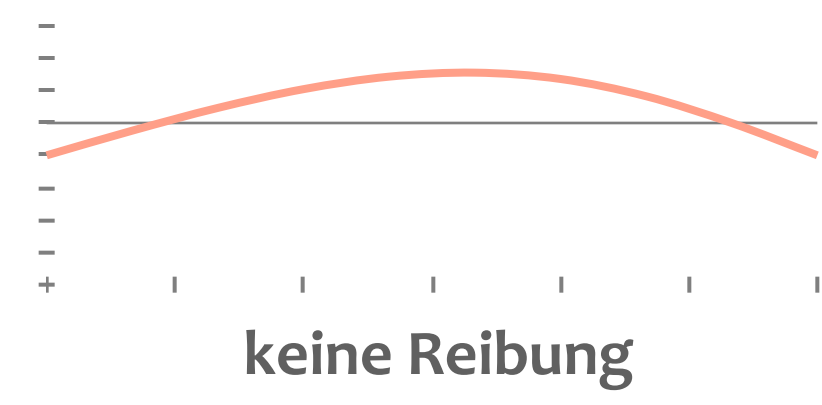
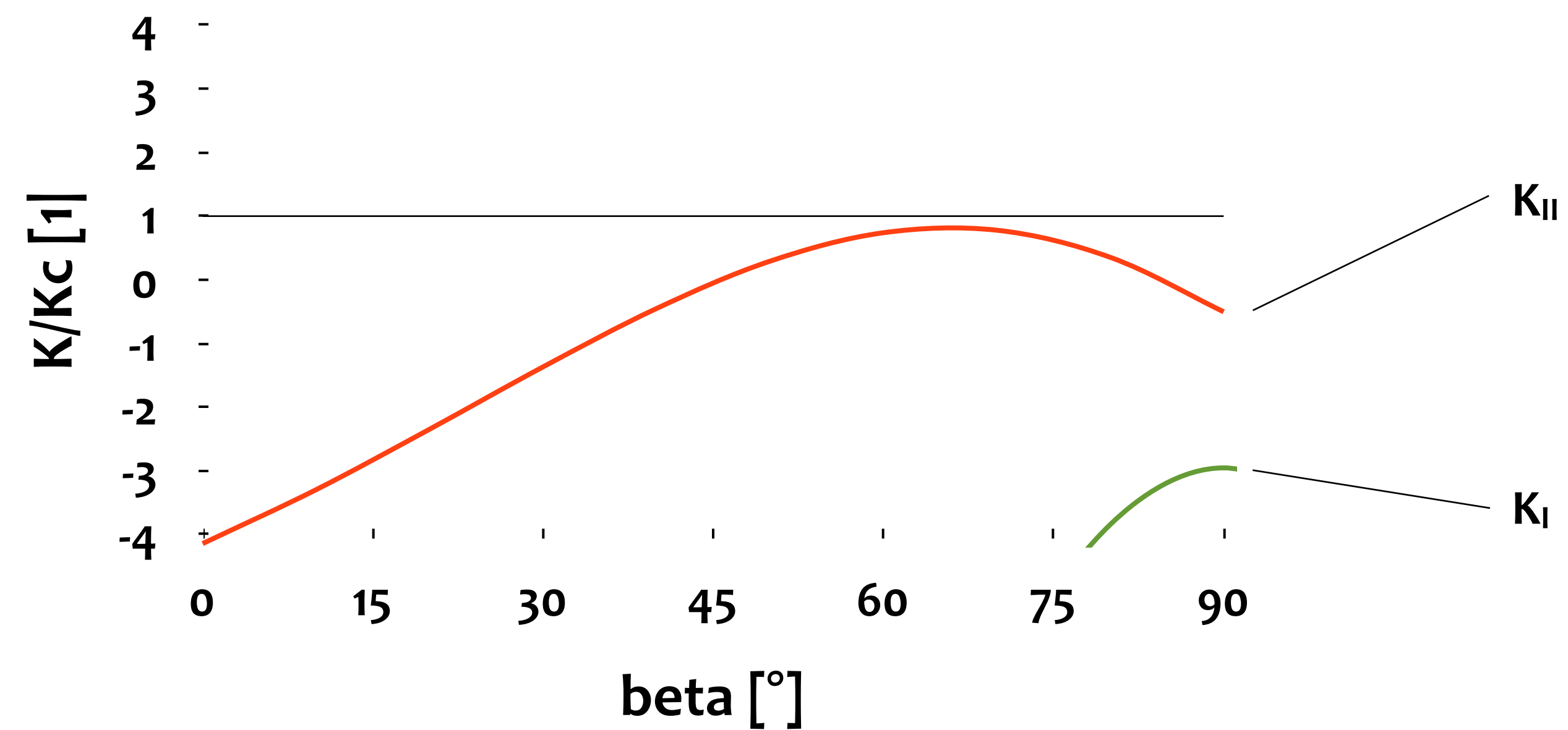
kein Fluiddruck kein Risswachstum

SH = 100 MPa
Sh = 50 MPa
Pp = 0 MPa
 $\mu = 0,85$



in-situ Bedingungen kein Risswachstum

SH = 100 MPa
Sh = 50 MPa
Pp = 45 MPa
 $\mu = 0,85$

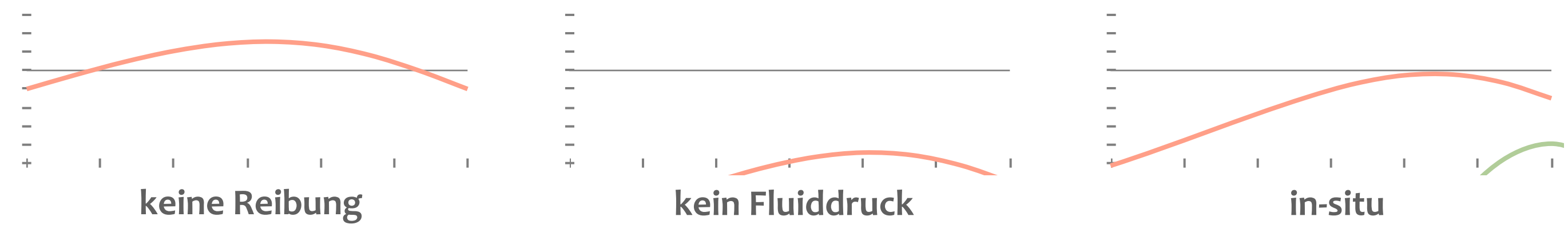
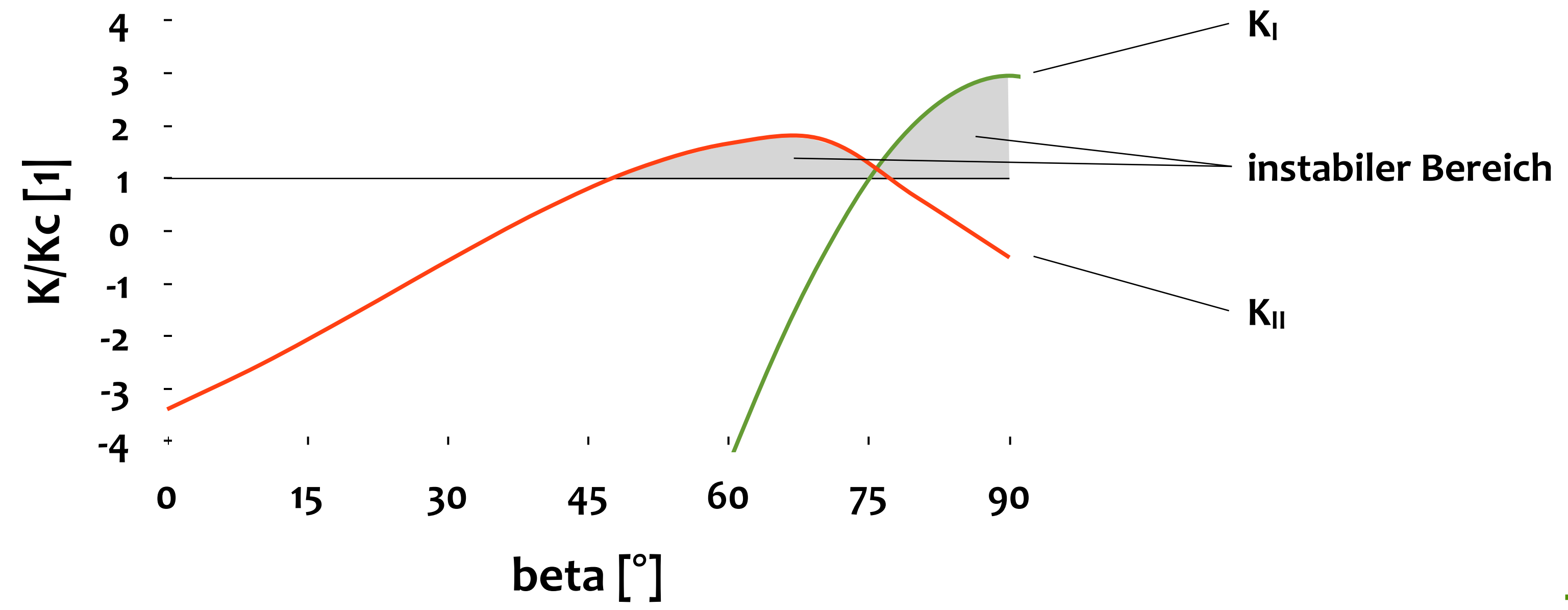


— Modus I
— Modus II

breakdown pressure

Modus I Risswachstum dominant

SH = 100 MPa
Sh = 50 MPa
Pp = 55 MPa
 $\mu = 0,85$

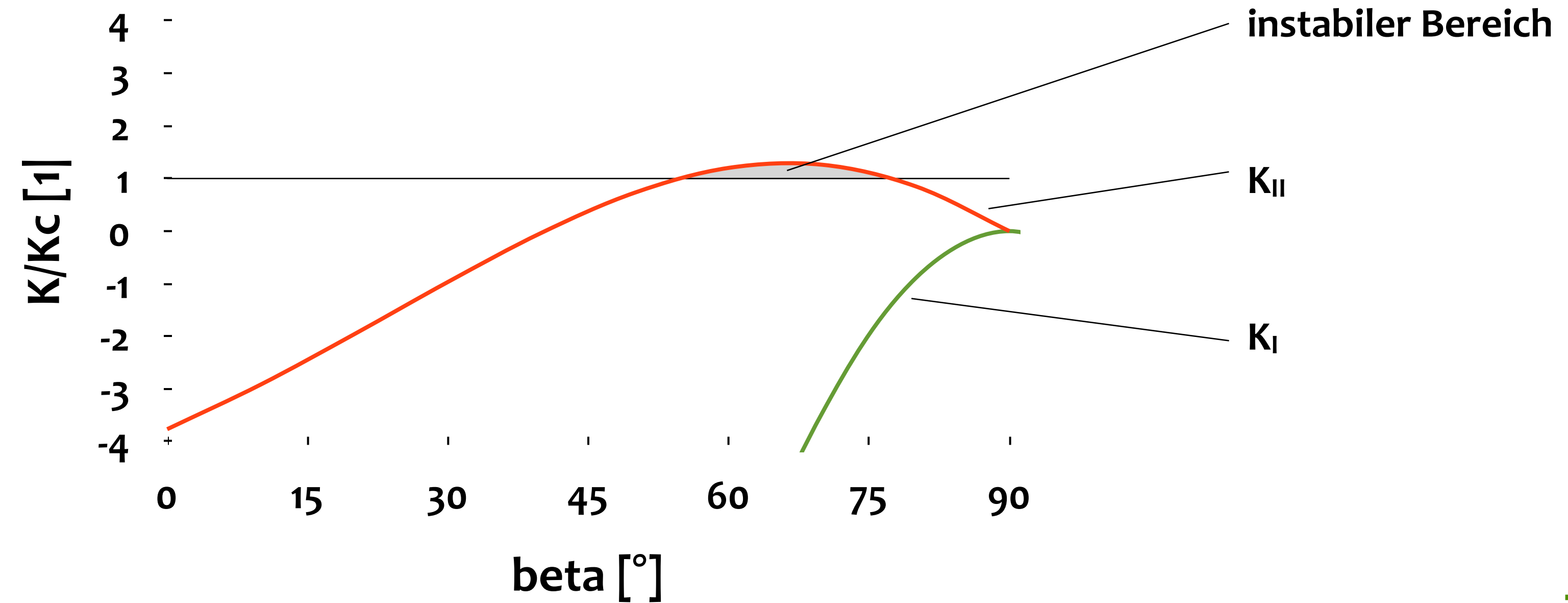


— Modus I
— Modus II

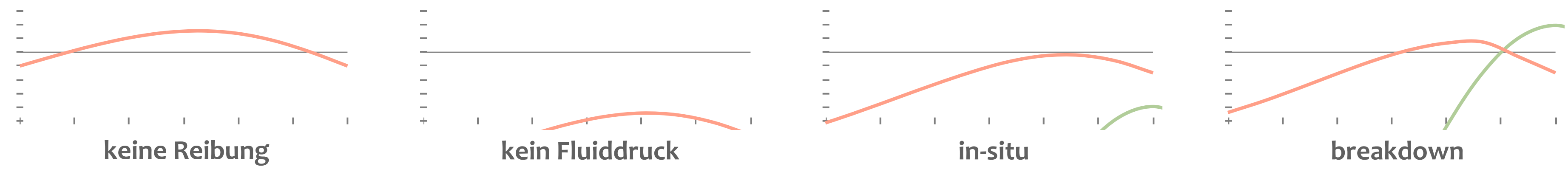
stetige Erhöhung des Fluiddrucks in der Formation

Modus II Risswachstum dominant

SH = 100 MPa
 Sh = 50 MPa
Pp = 49 MPa
 μ = 0,85



— Modus I
 — Modus II

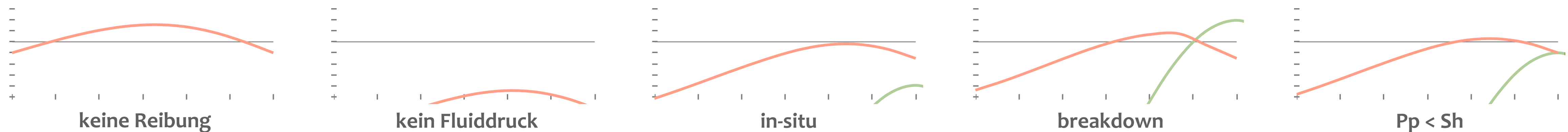


Zusammenfassung

geneigte Risse ($60^\circ - 70^\circ$) werden zuerst aktiviert (Modus II)

höhere Fluiddrücke aktivieren Risse im Bereich $50^\circ - 90^\circ$

bei $P_p < S_h$ können Risse in Modus II wachsen



explizites Kluftinventar

Risswachstum und Interaktion

Rissinitiierung

Forschungssoftware roxol

linear-elastisches Material

Eigenentwicklung der geomecon GmbH

basiert auf rissmechanischen Ansätzen

Neumannränder

Dirichletränder

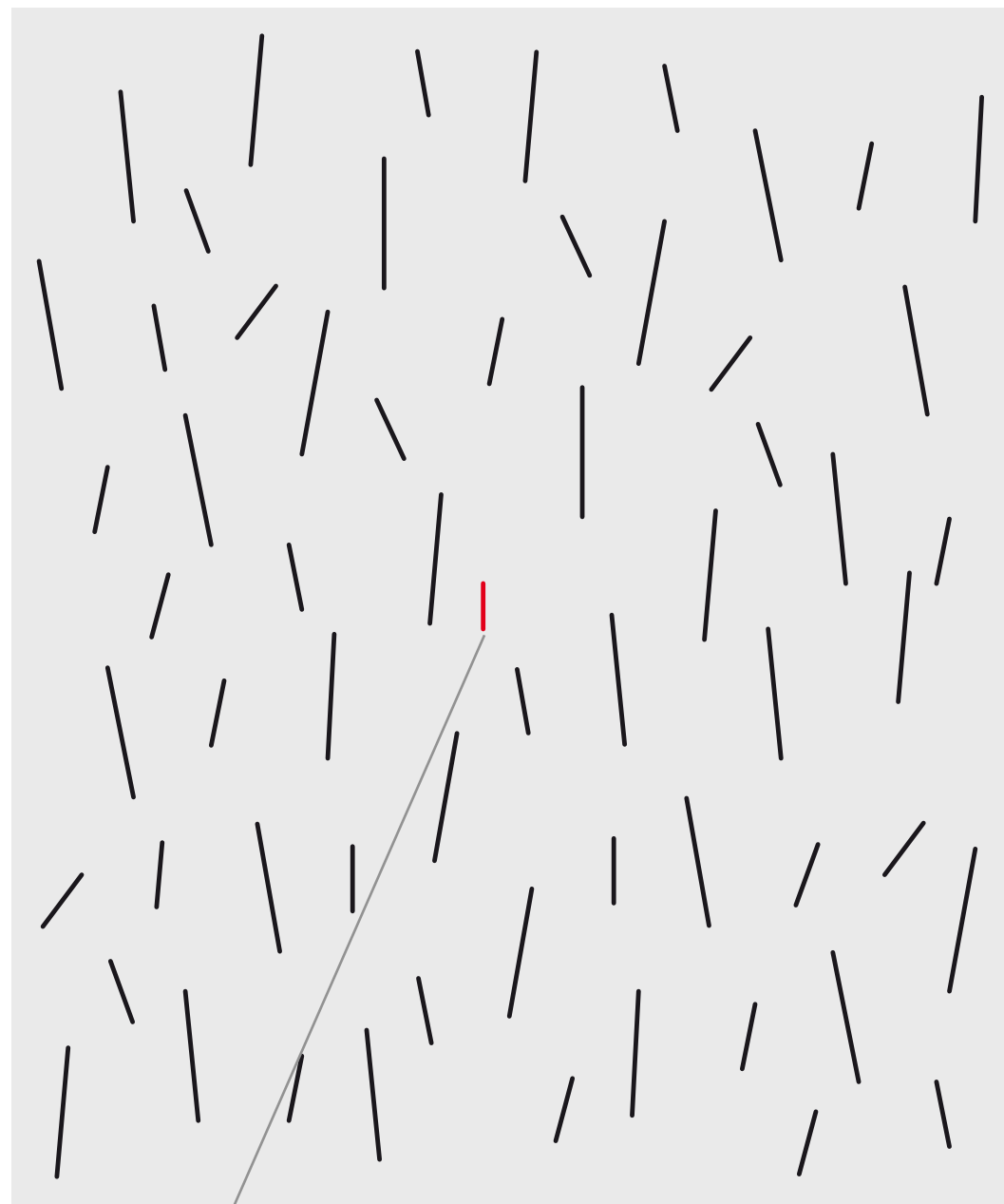
Erweiterung der Finiten Elemente Methode

XFEM

Normalspannung auf Rissen

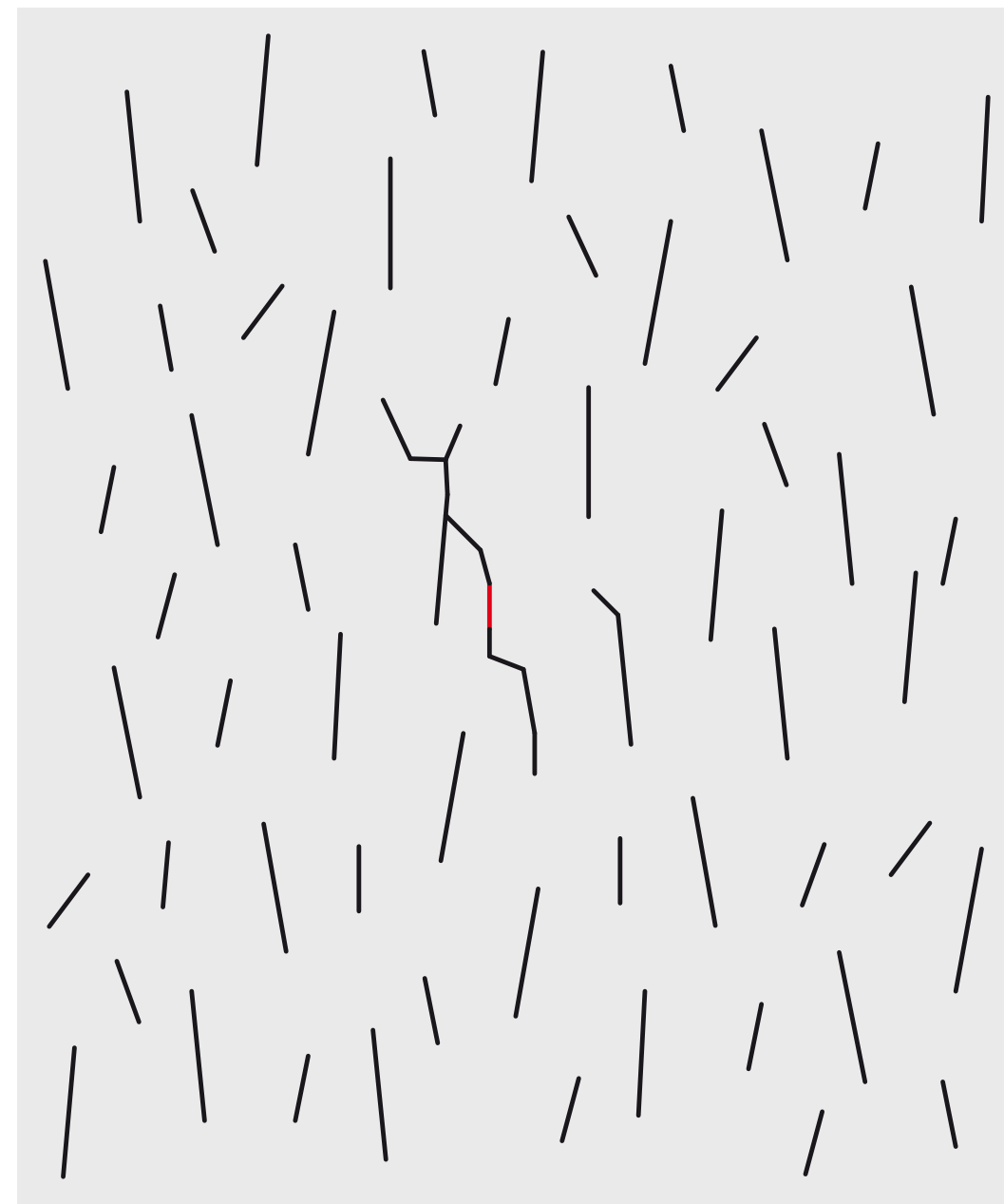
offene Client-Server Architektur

t₀

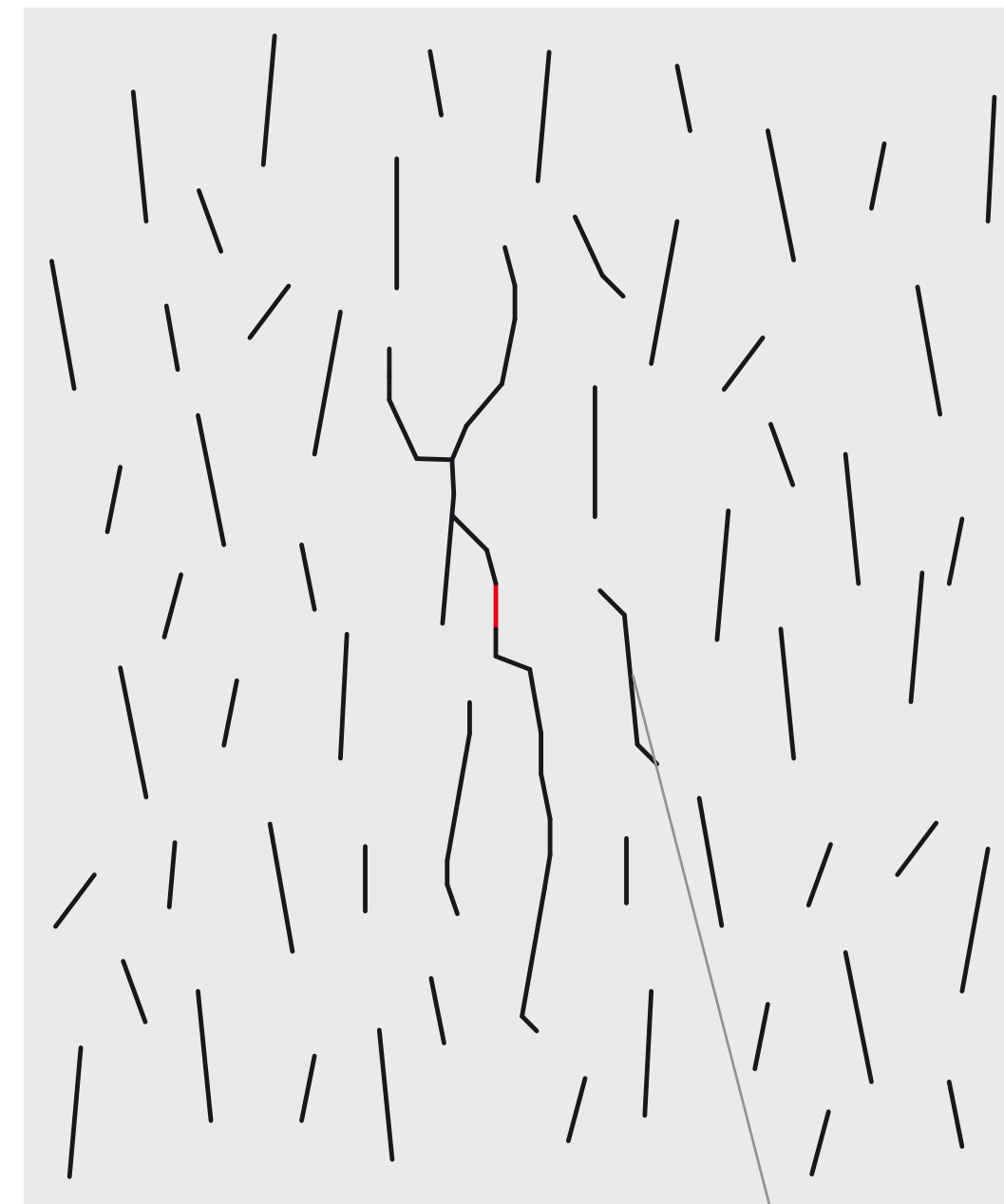


Injektion P = constant

t₁

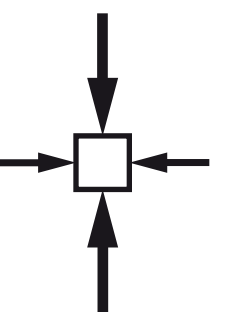
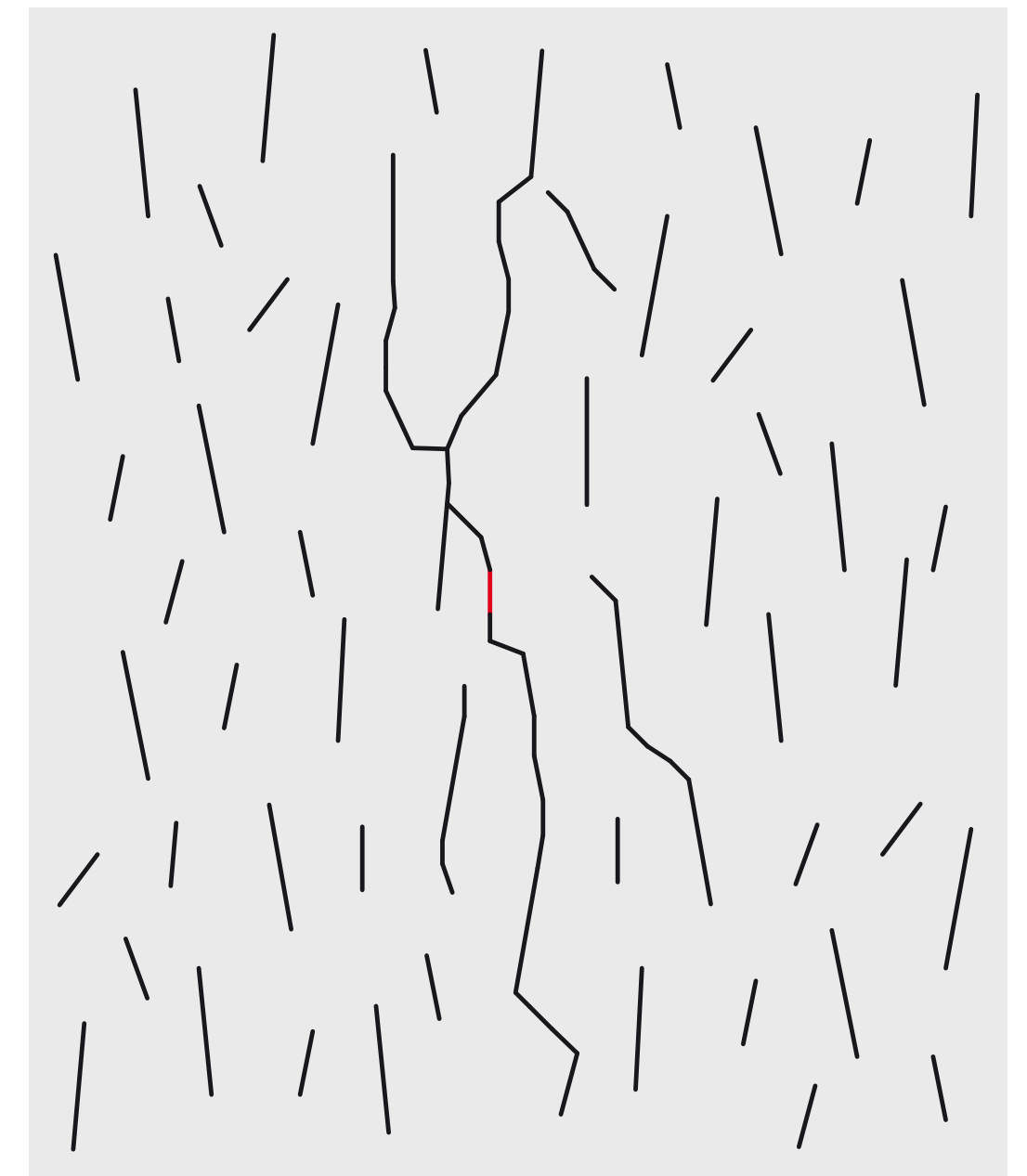


t₂



aktivierter Riss

t₃



Implikationen (1)

**die Spur des Risses kann zur SH Richtung geneigt sein
es werden größere Lagerstättenvolumina aktiviert
der Transport von Proppants kann eingeschränkt sein**

Implikationen (2)

**die sich ausbreitende Fluiddruckwelle kann vorhandene Strukturen aktivieren
im Betrieb können auch Fluiddrücke $< S_h$ zu Risswachstum führen (hydraulischer Kurzschluss)**

Datengrundlage

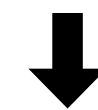
was sollten wir berücksichtigen?

Spannungsfeld

Rissnetzwerk

Störungen (seismogen?)

Gesteine



(struktur)geologisches Modell

laufende Arbeiten

Entwicklung eines Workflows, der rissmechanische und poroelastische Effekte kombiniert

Implementierung der Druckabhängigkeit von Risswachstumskriterien

Untersuchung des kombinierten riss/poroelastischen Einflusses auf induzierte Seismizität

Danksagungen

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg und der EU gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Die Entwicklung von roxol wurde von der Europäischen Union, Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung, Programm „Investment to Future“ Zeitraum 2007 - 2013 unterstützt.

Die Software roxol wird im Rahmen eines BMU geförderten Projektes zur Untersuchung der Mechanismen bei hydraulischen Stimulationen eingesetzt und weiterentwickelt.

Die mathematischen Grundlagen und geomechanischen Modelle für Risswachstum mittels der Software roxol werden im Rahmen eines BMWi geförderten Projektes weiterentwickelt.

Investitionsbank
des Landes
Brandenburg **ILB**



Dr. Tobias Backers

geomecon GmbH

August-Bebel-Straße 27

14482 Potsdam

Germany

www.geomecon.de

+49 331 97 99 68 68

geomecon, the geomecon logo, roxol and the roxol logo are registered trademarks