

Spannungspfadabhängige Verformungen bei Baugruben in weichen Böden

Dipl.-Ing. Patrick Becker, Universität Kassel, p.becker@uni-kassel.de

Die Einflüsse der Baugrubenherstellung in weichen Böden auf die Belastung der Verbauwand werden zurzeit in der Baupraxis auf der sicheren Seite liegend für den ungünstigsten Fall einer undränierten und dränierten Spannungsanalyse erfasst. Eine zuverlässige Prognose der mit den Konsolidationsvorgängen verbundenen Setzungen des Bodens hinter der Wand und Hebungen in der Baugrube ist mit dem derzeitigen Kenntnisstand allerdings nicht möglich. Gründe hierfür sind vor allem in dem nichtlinearen viskoplastischen Materialverhalten der weichen Böden und in den komplexen Randbedingungen der Baugrund-Tragwerk-Interaktion bei Baugruben zu finden.

In der Praxis werden Grenzzustandsbetrachtungen für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei Baugruben in weichen Böden sowohl mit analytischen als auch mit numerischen Methoden nur mit einer Anzahl von Vereinfachungen und auf der sicheren Seite liegend durchgeführt. Baubegleitend sind daher immer messtechnische Verfahren im Rahmen der Beobachtungsmethode erforderlich.

Zur Untersuchung der zeitabhängigen Spannungsentwicklung bei Baugruben in weichen Böden sind mit einer numerischen Parametervariation für maßgebende Bauzustände bei Baugruben in weichen Böden (Abb. 1) charakteristische Spannungspfadzonen ermittelt worden. Materialparameter, die das zeitabhängige Spannungs-Dehnungsverhalten beeinflussen, und geometrische Abmessungen wurden unter Verwendung verschiedener Stoffgesetze (Hardening Soil Modell, Soft Soil Modell, Mohr Coulomb Modell) variiert, so dass eine Abgrenzung in charakteristische Spannungspfadzonen ermöglicht wurde.

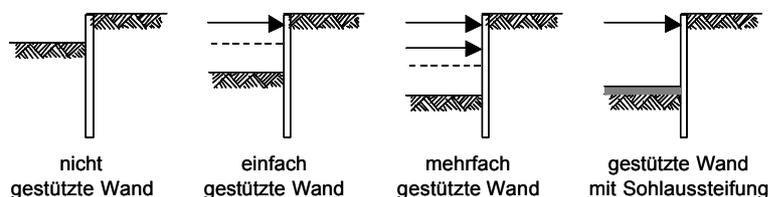


Abb. 1:
Charakteristische Bauzustände
bei der Baugrubenherstellung

Exemplarisch werden hier für den Bauzustand einer nicht gestützten und im Boden eingespannten Wand, z.B. erster Vorbauzustand mit sehr geringer Aushubtiefe zur Herstellung der Kopfaussteifung, die Spannungs- und Dehnungspfade für die maßgebenden Bereiche bei einer Berechnung mit dem Hardening Soil Modell (HSM) in Abb.2 dargestellt. Aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit ist dieser Bauzustand bei Baugruben in weichen Böden besonders kritisch, da bereits geringe Aushubentlastungen zu großen Verformungen der Verbauwand infolge der Mobilisierung der bodenmechanischen Einspannung und somit zu erheblichen Setzungen hinter der Wand führen. In EAB (2006) wird daher die Herstellung eines umlaufenden Kopfbalkens im vorweg des Aushubs empfohlen, der als Gurtung für eine Steifelage in Geländehöhe dienen kann.

Die Totalen Spannungspfade in Abb.2 beschreiben Entlastungspfade infolge des Aushubs. Für die Bereiche, die durch die Mobilisierung der bodenmechanischen Einspannung der Wand horizontal beansprucht werden (Punkte D und H), ist erwartungsgemäß ein Belastungspfad festzustellen. Anhand der Porenwasserdruckentwicklung (Abb. 3) und des Dehnungspfad für den Bereich unterhalb der Baugrubensohle direkt neben der Wand (Punkt D) wird eine nahezu volumenkonstante Verformung mit ansteigendem Porenwasserüberdruck ersichtlich.

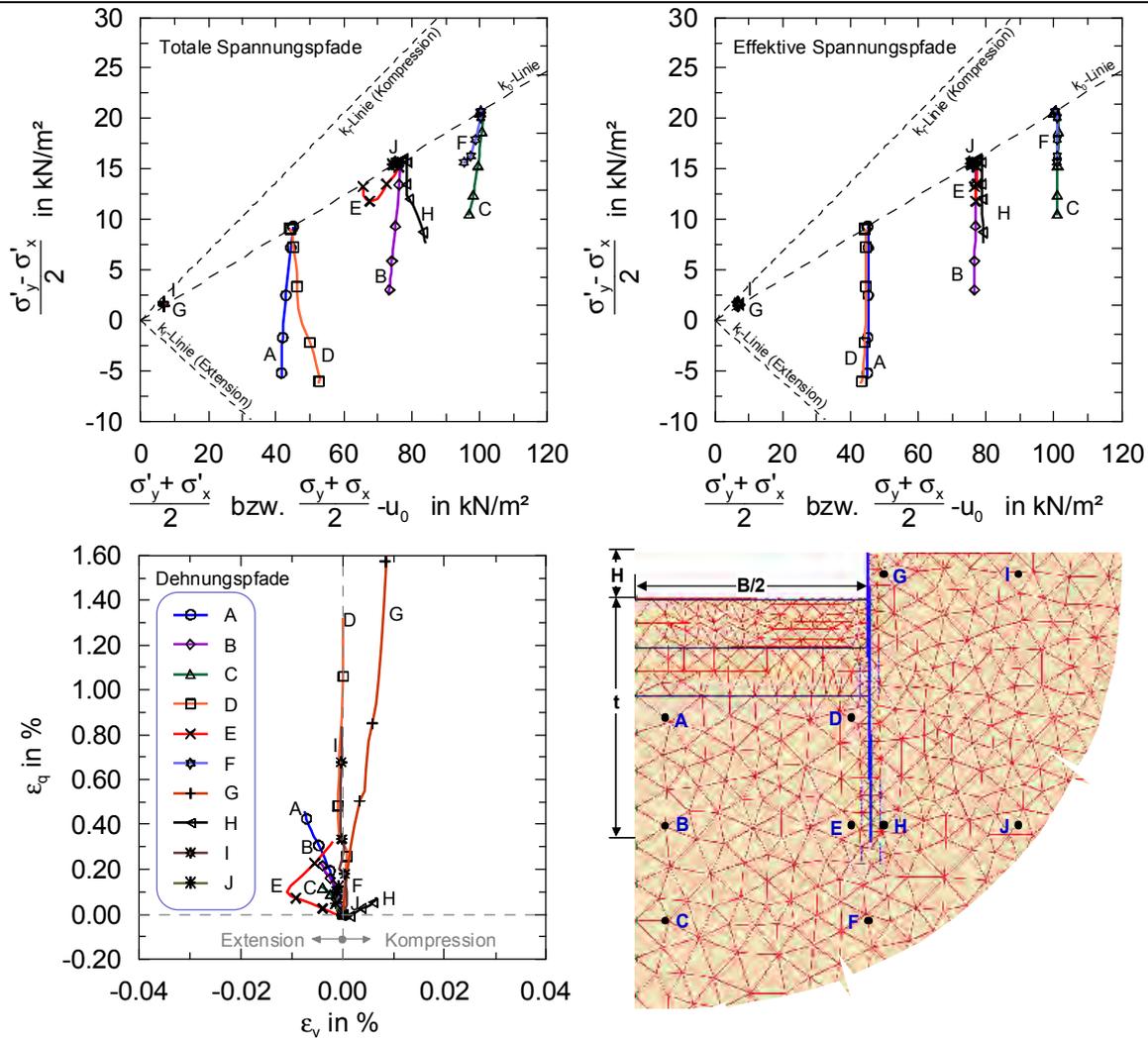


Abb. 2: Spannungs- und Dehnungspfade infolge Herstellung einer nicht gestützten Baugrube (HSM)

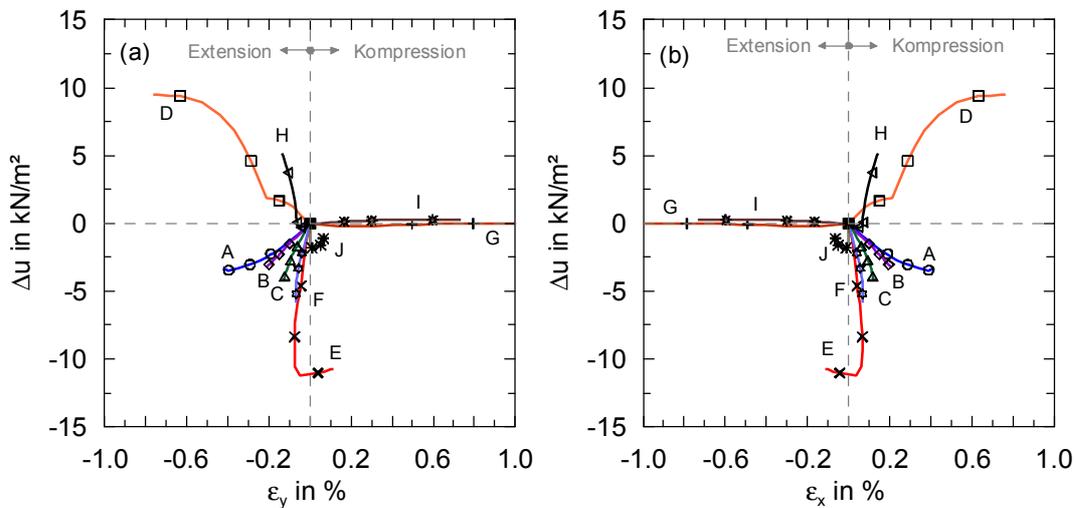
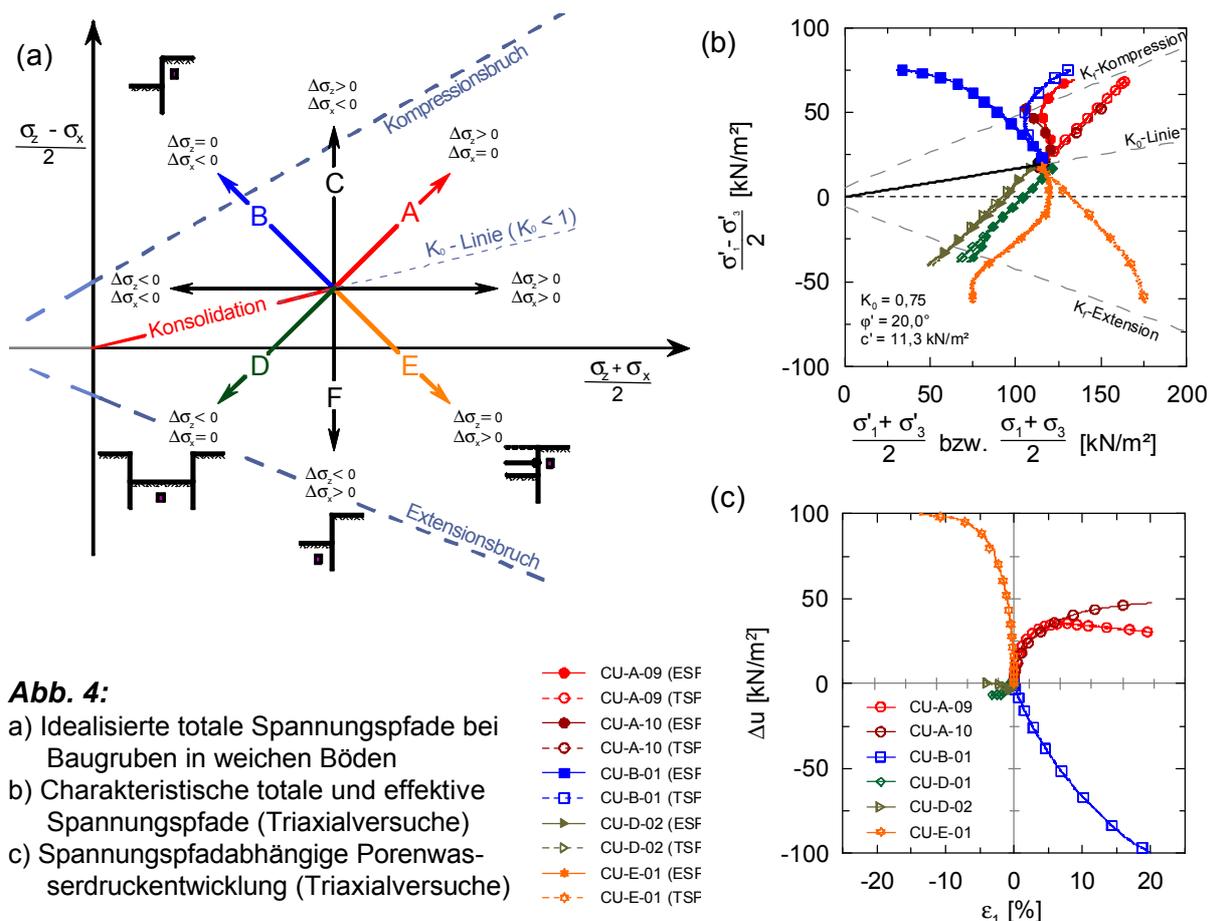


Abb. 3: Porenwasserüberdruckentwicklung in Abhängigkeit vertikaler (a) und horizontaler (b) Dehnungen infolge Herstellung einer nicht gestützten Baugrube (HSM)

Mit spannungspfad- und spannungsratengesteuerten Triaxialversuchen wurde darüber hinaus der Zusammenhang zwischen der spannungspfadartigen Beanspruchung bei Baugruben in weichen Böden und der zeitabhängigen Porenwasserdruckentwicklung untersucht. Ergebnisse der Elementversuche für die Belastung mit idealisierten totalen Spannungspfaden sind beispielhaft in Abb. 4 dargestellt. Der Vergleich mit den Berechnungsergebnissen einer numerischen Analyse unter Verwendung verschiedener höherwertiger Stoffgesetze zeigt eine nicht immer zufriedenstellende Prognose des zeitabhängigen Spannungs-Verformungsverhalten.



Aufgrund der Anisotropie der weichen Böden ist die spannungspfadabhängige Steifigkeit ein wesentlicher Einflussfaktor für die Verformung bei Baugruben. Die spannungspfadgesteuerten Triaxialversuche können hierzu weitere Erkenntnisse liefern. Darüber hinaus ist die zeitabhängige Porenwasserdruckentwicklung wegen der komplexen Randbedingungen der Baugrund-Tragwerk-Interaktion bei Baugruben in weichen Böden nicht immer zweifelsfrei prognostizierbar. Auswertungen von messtechnisch überwachten Baugrubenherstellungen in weichen Böden und die numerische Parametervariation für idealisierte Bauzustände werden zur Definition von charakteristischen Spannungspfadzonen verwendet, die eine Zuordnung der Porenwasserdruckentwicklung ermöglichen.

Spannungspfadabhängige Verformungen bei Baugruben in weichen Böden

Dipl.-Ing. Patrick Becker, Universität Kassel, p.becker@uni-kassel.de

Die Einflüsse der Baugrubenherstellung in weichen Böden auf die Belastung der Verbauwand werden zurzeit in der Baupraxis auf der sicheren Seite liegend für den ungünstigsten Fall einer undränierten und dränierten Spannungsanalyse erfasst. Eine zuverlässige Prognose der mit den Konsolidationsvorgängen verbundenen Setzungen des Bodens hinter der Wand und Hebungen in der Baugrube ist mit dem derzeitigen Kenntnisstand allerdings nicht möglich. Gründe hierfür sind vor allem in dem nichtlinearen viskoplastischen Materialverhalten der weichen Böden und in den komplexen Randbedingungen der Baugrund-Tragwerk-Interaktion bei Baugruben zu finden.

In der Praxis werden Grenzzustandsbetrachtungen für die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei Baugruben in weichen Böden sowohl mit analytischen als auch mit numerischen Methoden nur mit einer Anzahl von Vereinfachungen und auf der sicheren Seite liegend durchgeführt. Baubegleitend sind daher immer messtechnische Verfahren im Rahmen der Beobachtungsmethode erforderlich.

Zur Untersuchung der zeitabhängigen Spannungsentwicklung bei Baugruben in weichen Böden sind mit einer numerischen Parametervariation für maßgebende Bauzustände bei Baugruben in weichen Böden (Abb. 1) charakteristische Spannungspfadzonen ermittelt worden. Materialparameter, die das zeitabhängige Spannungs-Dehnungsverhalten beeinflussen, und geometrische Abmessungen wurden unter Verwendung verschiedener Stoffgesetze (Hardening Soil Modell, Soft Soil Modell, Mohr Coulomb Modell) variiert, so dass eine Abgrenzung in charakteristische Spannungspfadzonen ermöglicht wurde.

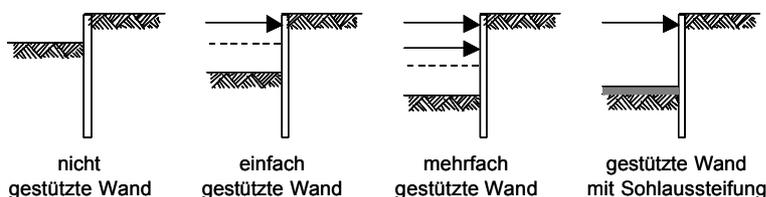


Abb. 1:
Charakteristische Bauzustände
bei der Baugrubenherstellung

Exemplarisch werden hier für den Bauzustand einer nicht gestützten und im Boden eingespannten Wand, z.B. erster Vorbauzustand mit sehr geringer Aushubtiefe zur Herstellung der Kopfaussteifung, die Spannungs- und Dehnungspfade für die maßgebenden Bereiche bei einer Berechnung mit dem Hardening Soil Modell (HSM) in Abb.2 dargestellt. Aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit ist dieser Bauzustand bei Baugruben in weichen Böden besonders kritisch, da bereits geringe Aushubentlastungen zu großen Verformungen der Verbauwand infolge der Mobilisierung der bodenmechanischen Einspannung und somit zu erheblichen Setzungen hinter der Wand führen. In EAB (2006) wird daher die Herstellung eines umlaufenden Kopfbalkens im vorweg des Aushubs empfohlen, der als Gurtung für eine Steifenlage in Geländehöhe dienen kann.

Die Totalen Spannungspfade in Abb.2 beschreiben Entlastungspfade infolge des Aushubs. Für die Bereiche, die durch die Mobilisierung der bodenmechanischen Einspannung der Wand horizontal beansprucht werden (Punkte D und H), ist erwartungsgemäß ein Belastungspfad festzustellen. Anhand der Porenwasserdruckentwicklung (Abb. 3) und des Dehnungspfad für den Bereich unterhalb der Baugrubensohle direkt neben der Wand (Punkt D) wird eine nahezu volumenkonstante Verformung mit ansteigendem Porenwasserüberdruck ersichtlich.

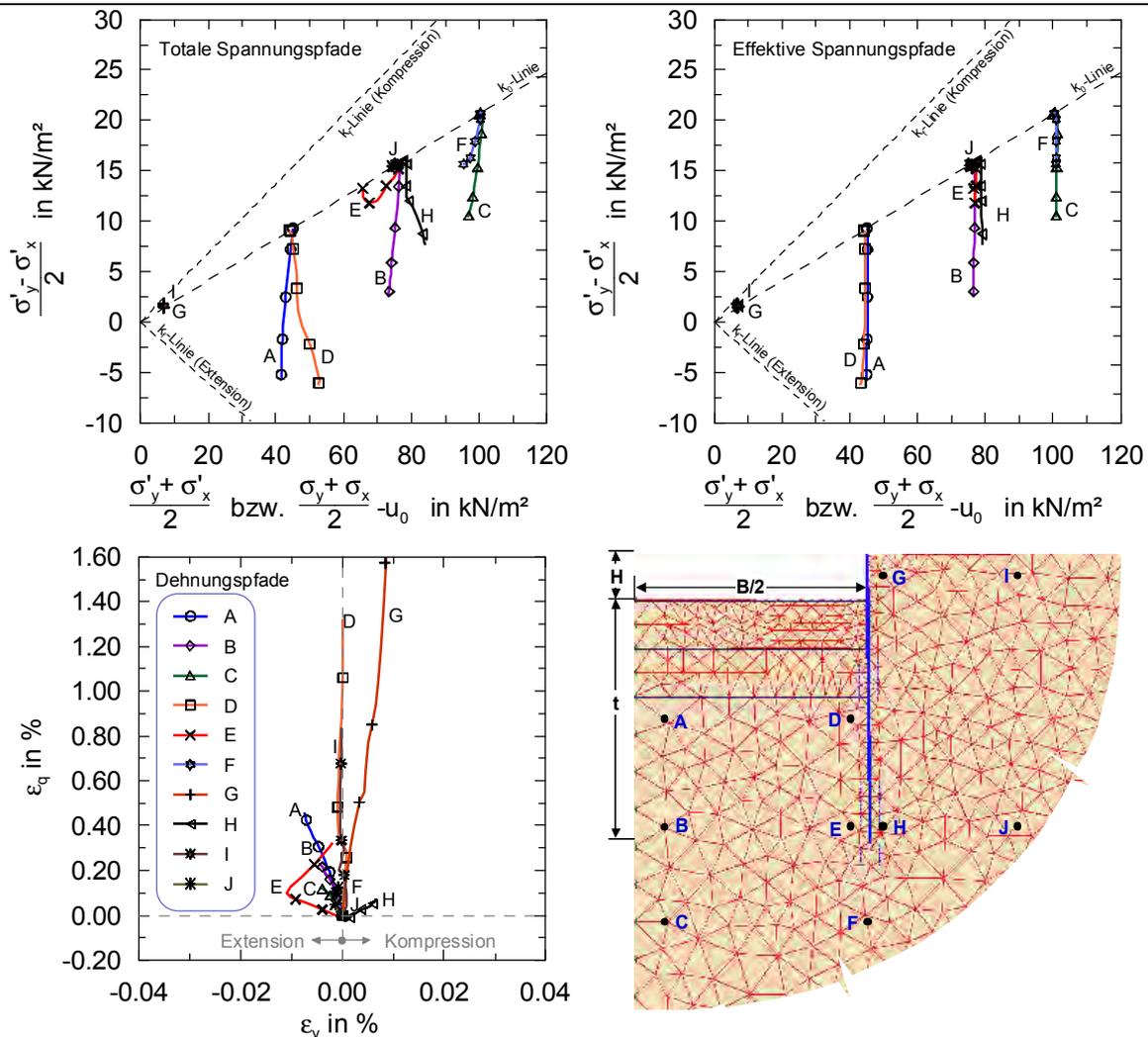


Abb. 2: Spannungs- und Dehnungspfade infolge Herstellung einer nicht gestützten Baugrube (HSM)

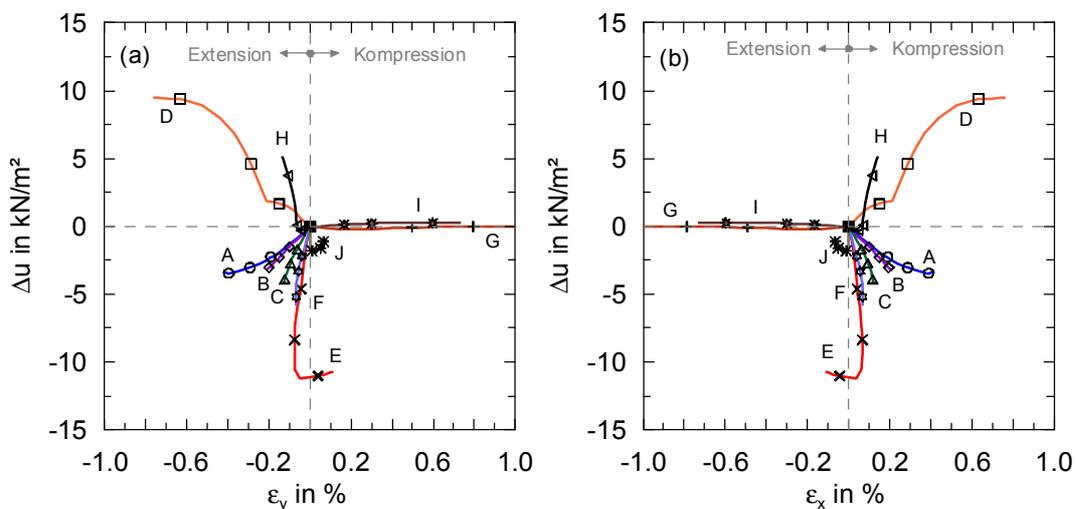
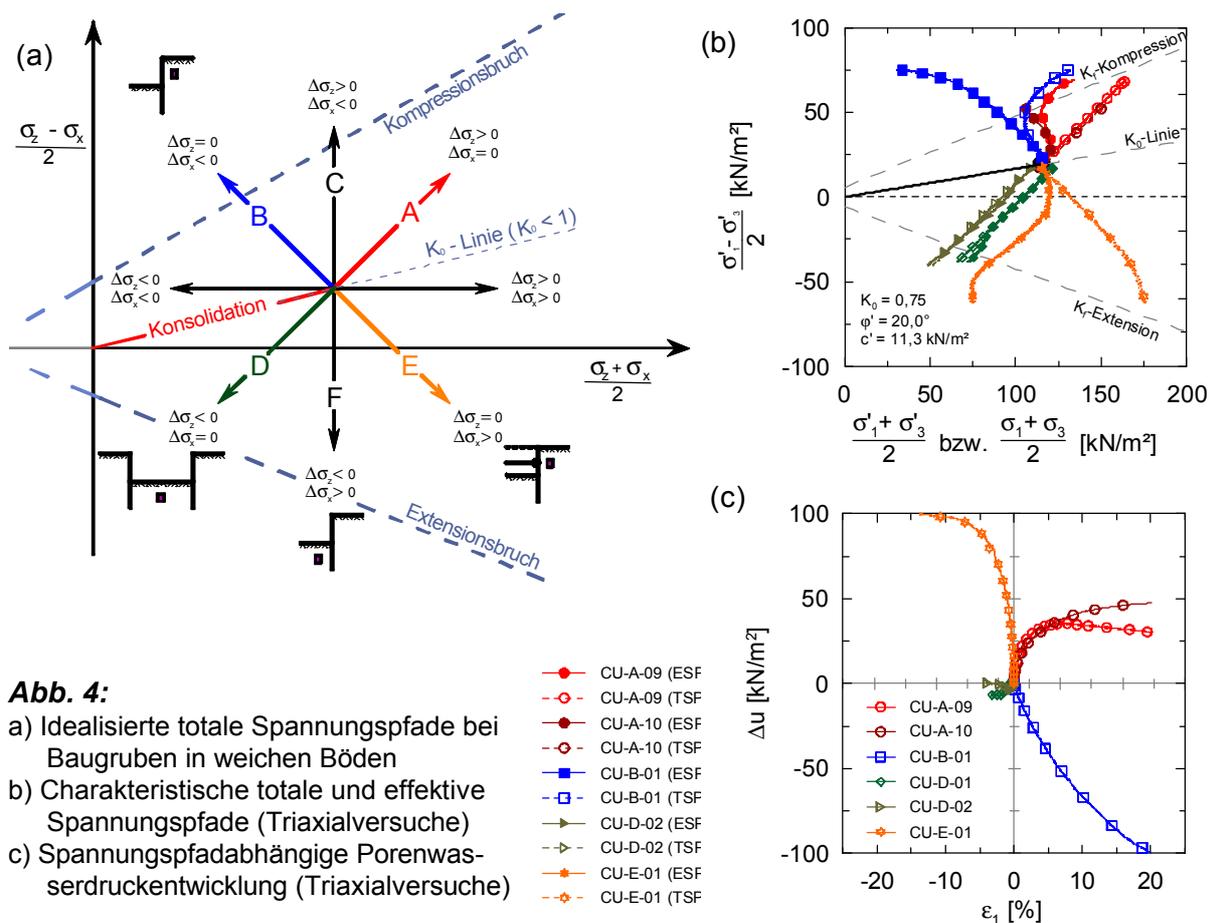


Abb. 3: Porenwasserüberdruckentwicklung in Abhängigkeit vertikaler (a) und horizontaler (b) Dehnungen infolge Herstellung einer nicht gestützten Baugrube (HSM)

Mit spannungspfad- und spannungsratengesteuerten Triaxialversuchen wurde darüber hinaus der Zusammenhang zwischen der spannungspfadartigen Beanspruchung bei Baugruben in weichen Böden und der zeitabhängigen Porenwasserdruckentwicklung untersucht. Ergebnisse der Elementversuche für die Belastung mit idealisierten totalen Spannungspfaden sind beispielhaft in Abb. 4 dargestellt. Der Vergleich mit den Berechnungsergebnissen einer numerischen Analyse unter Verwendung verschiedener höherwertiger Stoffgesetze zeigt eine nicht immer zufriedenstellende Prognose des zeitabhängigen Spannungs-Verformungsverhalten.



Aufgrund der Anisotropie der weichen Böden ist die spannungspfadabhängige Steifigkeit ein wesentlicher Einflussfaktor für die Verformung bei Baugruben. Die spannungspfadgesteuerten Triaxialversuche können hierzu weitere Erkenntnisse liefern. Darüber hinaus ist die zeitabhängige Porenwasserdruckentwicklung wegen der komplexen Randbedingungen der Baugrund-Tragwerk-Interaktion bei Baugruben in weichen Böden nicht immer zweifelsfrei prognostizierbar. Auswertungen von messtechnisch überwachten Baugrubenherstellungen in weichen Böden und die numerische Parametervariation für idealisierte Bauzustände werden zur Definition von charakteristischen Spannungspfadzonen verwendet, die eine Zuordnung der Porenwasserdruckentwicklung ermöglichen.