

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 66 (2004)
Heft: 8

Artikel: Fahrwerk und Ackerboden : TASC: eine PC-Anwendung zum Beurteilen und Optimieren der Bodenbeanspruchung
Autor: Diserens, Etienne / Spiess, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080676>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fahrwerk und Ackerboden

TASC: Eine PC-Anwendung zum Beurteilen und Optimieren der Bodenbeanspruchung¹

TASC² steht für *Tyres/Tracks and soil compaction* und ist eine praxistaugliche Excel-Anwendung, die bei der Agroscope FAT Tänikon entwickelt worden ist. Sie liefert objektive Kriterien für die Abschätzung der Tragfähigkeit von Ackerböden beim Einsatz von Grossmaschinen.

Etienne Diserens und
Ernst Spiess, Agroscope FAT
Tänikon, Eidgenössische
Forschungsanstalt für Agrarwirt-
schaft und Landtechnik,
CH-8356 Ettenhausen

Mit TASC lässt sich die Bodenbeanspruchung durch Reifen- und Raupenfahrwerke, je nach den Fahrwerkparametern und den Bodeneigenschaften beurteilen. D.h. man kann eine mögliche Schadverdichtungsgefahr unterhalb den von den Auflockerungswerzeugen erfassten Zonen anzeigen.

Die technischen Angaben zur Bereifung können dabei von über 1000 gespeicherten Reifentypen aus der Forst- und Landwirtschaft angewählt und übernommen werden. Auf Grundlage der internationalen Reifen- und Felgennormen lässt sich auch die maximal zulässige Belastung je nach Bereifung, Reifeninnendruck und Fahrgeschwindigkeit berechnen. TASC ist somit auch ein nützliches Hilfsmittel für die Reifenvergleich und die Reifenabstimmung. Die Anwendung eignet sich auf abgesetzten bindigen Ackerböden mit einer verfestigten Pflugsohle zwischen 20 und 25 cm. Das Hauptziel ist der präventive Schutz der Ackerböden ge-

gen schwere reversible und irreversible Schadverdichtungen.

Zunehmende Lasten, höhere Bodenbeanspruchung

Mit Radlasten bis über 11 t und Maximalgewichten um 60 t stehen etwa in der Zuckerrübenernte die bisher schwersten Landmaschinen im Einsatz. Eine wirtschaftliche Nutzung von Grossmaschinen bedingt lange Arbeitszeiten bzw. hohe Auslastungen. Damit steigt die Gefahr, dass der Boden vermehrt auch unter ungünstigen Bedingungen (Feuchtigkeit) befahren wird.

Das Vorsorgeprinzip steht bei der langfristigen Sicherung der Multifunktionalität des Bodens und damit dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit im Vordergrund. Die Umsetzung bereitet bisher beträchtliche Probleme, da konkrete bzw. fallspezifische, fundierte Anweisungen und Anhaltspunkte in der landwirtschaftlichen Praxis fehlen. Dies vor allem deshalb, weil der Boden ein heterogenes lebendiges Gebilde ist, welches stetigen Wechselwirkungen unterworfen ist.

TABELLE 1

Software-Spezifikationen – Bestellung

Version: TASC.xls V1.0, 2004

Ab Win 98 (2ed), ab Office 97

Deutsch, Französisch, Englisch

ca. 50 MB, CD-Rom

Gewerbl. CHF 350.– (Update CHF 150.–)

Eigengebrauch: CHF 120.– (Update CHF 50.–)

E-Mail-Kontakt: etienne.diserens@fat.admin.ch

Herausgeber und Vertrieb: Agroscope FAT Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

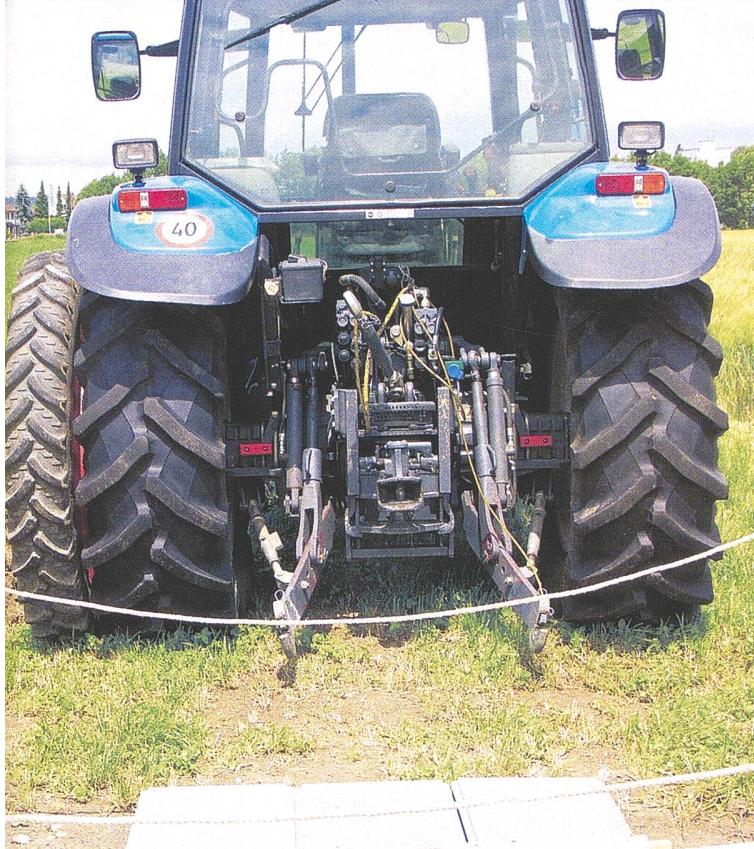
www.fat.ch, doku@fat.admin.ch

Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90

¹ abgekürzte Fassung des FAT-Berichts 613

² ausgeschrieben in Deutsch:
Reifen/Raupen und Bodenverdichtung





Anwendungsbeispiele

- Überprüfung der Bodenbeanspruchung je nach Bereifungs-/Raupendimension, Rad-/Raupenlast und Reifeninnendruck für eine vorgegebene Oberbodenfestigkeit.
- Überprüfung der Bodenbelastung je nach Oberbodenfestigkeit für eine vorgegebene Belastung (Bereifung, Radlast, Reifeninnendruck).
- Beurteilung der Schadverdichtungsgefahr mit verschiedenen Belastungen je nach Bodentypen, Oberbodenfestigkeit und maximaler Auflockerungstiefe.
- Überprüfung der Bodenbeanspruchung in einem beliebigen Punkt des Bodens (z.B. innerhalb einer Pflanzenreihe bzw. ausserhalb des Spurbereichs).
- Vergleich Reifenarten und -typen hinsichtlich der Reifen- und Felgendiffinitionen, des Lastindexes, der Tragfähigkeit je nach Reifeninnendruck, Fahrgeschwindigkeit und der Druckausbreitung im Boden.
- Berechnung der maximal zulässigen Radlast je nach Reifendimension, -innendruck und Fahrgeschwindigkeit.

*Tag der offenen Tür an der FAT:
Mit gutem Beispiel voran:
Breit- oder Doppelbereifung und
niedriger Bodendruck verhin-
dert Schadverdichtungen in der
Tiefe (Bild: Ueli Zweifel).*

TASC – Das Wichtigste in Kürze

Vor Arbeitseinsätzen mit schweren Maschinen stellt sich besonders bei erhöhter Bodenfeuchtigkeit die Frage nach der Bodenbeanspruchung. Besteht das Risiko einer Bodenverdichtung, welche technischen Massnahmen bringen welchen Nutzen?

Muss der Arbeitseinsatz allenfalls verschoben werden?

TASC (Tabelle 1) ist ein praxisbezogenes Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung, geeignet für alle Bereiche, die mit dem Problem Fahrwerk-Bodenbeanspruchung konfrontiert sind: Also die landwirtschaftliche Praxis, die Beratung, Planung, Lehre, Reifen- und Landmaschinenindustrie. Für einen oder mehrere Anwendungsfälle (gleichzeitig maximal vier) können die Bodenbeanspruchung und die Schadverdichtungsgefahr je nach Fahrwerkart, Last, Bereifungs- oder Reifendimension, Reifeninnendruck, Bodenart und -festigkeit dargestellt werden. Für eine einfache und schnelle Erfassung der Reifendaten ist entweder eine direkte Eingabe der Reifenabmessungen in Zentimetern oder aber eine Datenübernahme durch Anklicken aus den abgespeicherten Reifentabellen für die Land- und Forstwirtschaft nötig. Verlangt werden unter anderem je eine Eingabe für die Bodenart- und die Bodenfestigkeit. Diese Informationen können allenfalls durch Fühlproben und den so genannten «Schraubenziehertest» leicht am Boden ermittelt werden. Indirekt wird mit der Bodenfestigkeit auch der Feuchtigkeitszustand, der in der Praxis kaum direkt gemessen werden kann, im Oberboden berücksichtigt. Diese «Praxis-Methoden» werden in der Anwendung anschaulich erörtert.

Grundkonzept TASC

Die Anwendung stützt sich auf das Grundkonzept der so genannten Vorbelastung. Ist die durch eine Lasteinwirkung hervorgerufene Druckspannung (F) in einer bestimmten Tiefe kleiner als der Bodenwiderstand (R , auch Vorbelastung genannt), entsteht keine Verformung, der Boden reagiert eher elastisch. Wird F jedoch größer als R , dann reagiert der Boden eher plastisch. Verformungen in Form von Verdichtungen sind zu erwarten (Abb. 1).

Einzelemente

Die Anwendung besteht aus folgenden Teilen: Eingabe- und Ausgabebereich sowie den Reifentabellen mit der zugehörigen Berechnungsoption zur Ermittlung der zulässigen Radlast nach den ETRTO-Normen (The European Tyre and Rim Technical Organisation).

Eingabebereich: Leicht erfassbare Kenngrößen (Abb. 2)

Bodenart im Bereich der maximalen Auflockerungstiefe: Bei der Festlegung des maximal zulässigen Bodenwiderstandes spielt die Bodenart (Körnung des Bodens) eine Rolle. Die Körnung wird in fünf Klassen eingeteilt. Die Bestimmung der einzelnen Klassen (falls unbekannt) lässt sich anhand von Fühlproben (Häsinger et al. 1993) durchführen (Abb. 3).

Mit der **maximalen Auflockerungstiefe** wird festgelegt, ab welcher Tiefe eine Schadverdichtungsgefahr vorkommen kann.

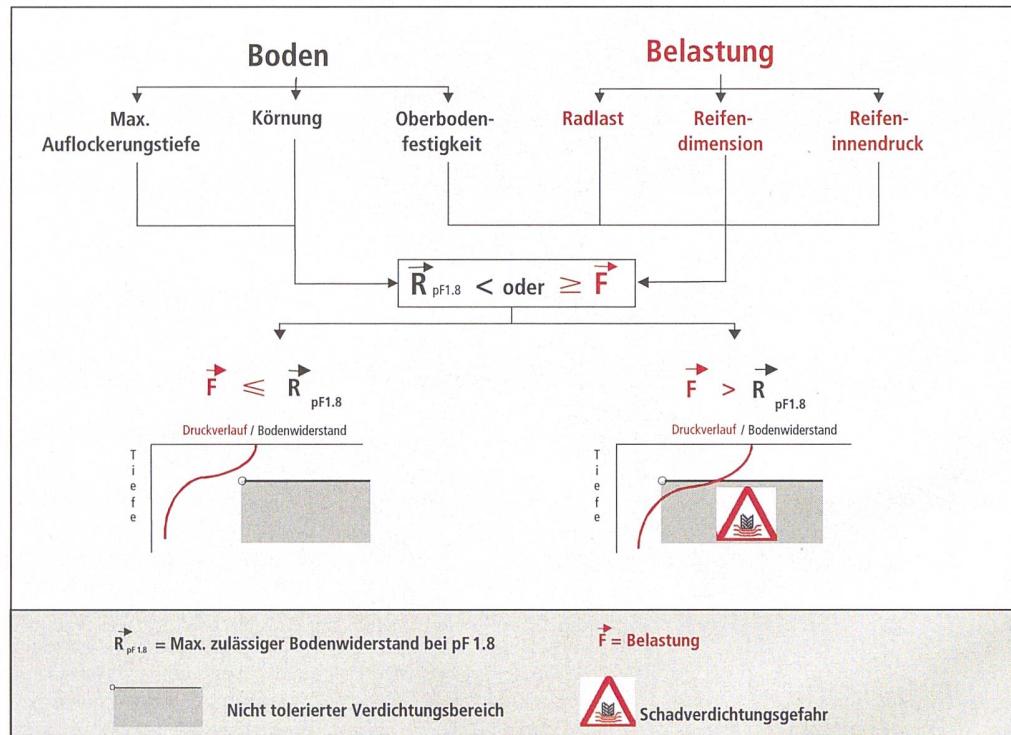


Abb. 1: Grundprinzip der Anwendung. Ist die Druckspannung F in der maximalen Auflockerungstiefe höher als der kritische Bodenwiderstand R in dieser Tiefe, entsteht eine Schadverdichtungsgefahr.

Diese entspricht im Ackerbau oft der Höhe der verfestigten Pflugsohle, wenn der Boden periodisch nicht tiefer bearbeitet wird.

Die **Oberbodenfestigkeit** ist entscheidend für die Tragfähigkeit des Bodens. Die Intensität der Druckausbreitung wird dadurch stark beeinflusst. Mittels des Schraubenziehertestes lässt sich die Oberbodenfestigkeit, die vor allem von der Bodenstruktur, Bo-

denfeuchte und vom Wurzelnetz abhängt, auf einfache Weise in der Praxis einschätzen.

Die Bodenfestigkeit wird hier mit den drei Klassen «fest», «halb-fest» und «weich» definiert. Bei etwas Erfahrung im Umgang mit dieser Methode ist es sehr wohl möglich, auch noch je eine Zwischenbewertung durchzuführen. Im verfestigten, meist feuchten bis sehr feuchten **Unterboden** konnte der Einfluss des **Wassergehaltes** auf die Druckausbreitung in unseren mehrjährigen Feldversuchen dagegen nicht nachgewiesen werden (Diserens et al. 2002).

Reifenart, Reifenbreite und -durchmesser bzw. Raupenbreite und -länge bestimmen weitgehend die Kontaktfläche zwischen Fahrwerk und Boden. Für die Reifen können die Art (Normalquerschnitt, Niederquerschnitt

oder Terra) und die Dimensionen direkt aus den Reifendaten-Tabellen in die Eingabetabelle übernommen oder auch manuell eingetragen werden. Bei Raupen werden die Angaben ausschliesslich manuell eingetragen. Die **Rad- bzw. Raupenlast** ist sowohl massgebend zur Ermittlung der Kontaktfläche als auch zur Erfassung des Kontaktdruckes. Um die Grenzbereiche aufzuzeigen, wird dabei die höch-

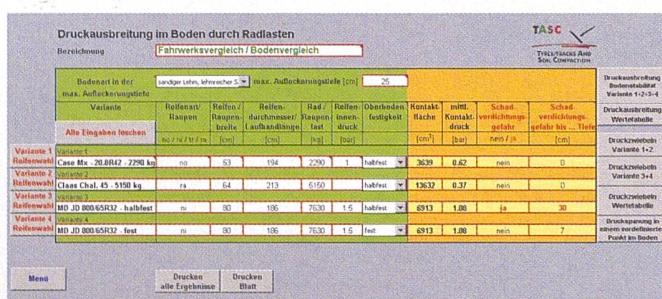


Abb. 2: Eingabemaske. Bis vier Varianten lassen sich gleichzeitig bearbeiten bzw. vergleichen. Die Reifentabellen können entweder aus der Reifentabelle übernommen werden oder aber direkt in Zentimetern eingegeben werden.

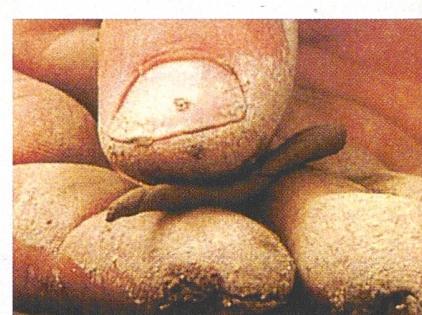


Abb. 3: Mittels der Fingerprobe können direkt im Feld Rückschlüsse auf die Körnung bzw. die Bodenart und die Bodenfeuchtigkeit gezogen werden.

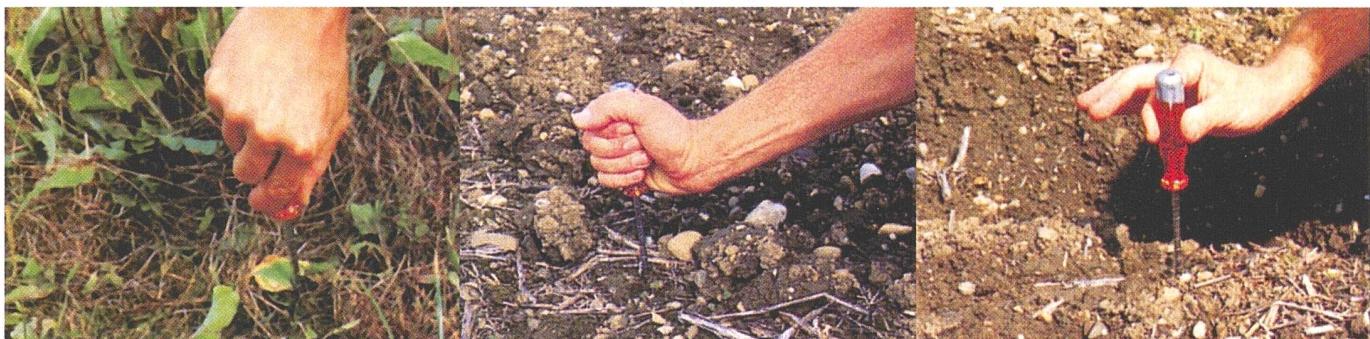


Abb. 4: Schraubenziehertest zur einfachen Bestimmung der Oberbodenfestigkeit: a) fest (>8 kg Druck), b) halbfest (5–8 kg Druck), c) weich (bis 5 kg Druck). Fotos: M. Welter.

te Rad-Raupen-Last einer Arbeitsseinheit (Maschine, Fahrzeug) für die Berechnung in Betracht gezogen. Auch der Reifeninnendruck steht in engem Zusammenhang mit der Kontaktfläche im Feld. Je tiefer der Reifeninnendruck, desto grös-

ser wird die Kontaktfläche (Diserens 2002). Die Grundlagen von TASC sind bisher vorwiegend auf Farmer- und Traktionsprofil ausgerichtet (Abb. 5).



Abb. 5: Den Ausgangsversuchen für TASC liegen vorwiegend Farmer- und Traction-Reifenprofile zugrunde. Fotos: Trelleborg

FACHBEGRIFFE

Boden

Sand (S, s=sandig): Grobe Bodenfraktion (\varnothing zwischen $2 \times 10^3 > 50 \mu\text{m}$). Knirscht zwischen den Zähnen, Sandkörner sichtbar.

Schluff (U, u=schluffig): Feine Bodenfraktion (\varnothing zwischen 2 und $50 \mu\text{m}$), wirkt seifig im feuchten Zustand und mehlig im trockenen Zustand.

Ton (T, t-tonig): Feinste Bodenfraktion ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$), wirkt klebrig im feuchten Zustand.

Lehm (L, l=lehmig): Boden mit 20 bis 30% Ton- und weniger als 50% Schluffanteil.

Leichter Boden (S, Is,): Sandkörner sicht- und fühlbar, nicht oder schwach bindig, kaum formbar, rissig, brüchig.

Mittelschwerer Boden (L, IU, sL, U): Wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, knirscht zwischen den Zähnen, formbar, rissig, ausrollbar, bleistift-dick ($\varnothing 2-7\text{mm}$).

Schwerer Boden (T, IT, tL, tU): Kaum Sandkörner sicht- und fühlbar, knirscht kaum zwischen den Zähnen, gut formbar, glänzende Reibfläche, nageldick rollbar ($\varnothing < 2\text{mm}$).

Bodenkörnung: Einteilung des Bodens nach den Korngrössen (siehe Korngrösse für Ton, Schluff, Sand).

Bodenbeschaffenheit: Einteilung des Bodens nach den Kornfraktionen (Ton, Schluff, Sand).

Skelett: Grobe Bodenfraktion (\varnothing ab 2 mm).

Feldkapazität: Bodenfeuchtezustand ohne Gravitationswasser. Je höher der Wassergehalt bei der Feldkapazität liegt, desto mehr Wasser steht für die Pflanzen zur Verfügung ohne Mangel an Sauerstoff.

Lagerungsdichte [g/cm³] (auch trockene Lagerungsdichte): Masse der Festsubstanz des Bodens pro Volumeneinheit.

Effektive Lagerungsdichte [g/cm³]: Korrigiertes Mass für die Lagerungsdichte nach Berücksichtigung des Tongehalts.

Wasserspannung [hPa]: Sämtliche Kräfte pro Flächeneinheit, die den Wasseraustritt im Boden gegen die Schwerkraft wirken (Adsorptions-, Kapillarkräfte). 1 hPa = 100 Pa = 100 N/m² = 10^{-3} bar

pF-Wert: Negativer Logarithmus der Wasserspannung. Mass für den Trocknungsgrad des Bodens (zum Beispiel: pF 1,8 = 63 hPa, Boden feucht, Grobporen $\varnothing > 10 \mu\text{m}$ entwässert; pF 2,5 = 316 hPa, Boden trocken, Mittel- und Grobporen $\varnothing > 95 \mu\text{m}$ entwässert).

Moor: Hydromorphe Böden (mit Wasser geprägt) mit einem Torfhorizont über 30 cm.

Anmoor: Humusform mit zeitweise «erdigem Gefüge» und bei Sättigung mit einem «schlammigen Gefüge»

Gley: Boden mit geprägter Horizontfolge durch das Grundwasser.

Torf: Teilzersetztes organisches Material wegen hohen und häufigem Sättigungsgrad des Bodens.

Mittlerer Kontaktdruck [bar]: Berechneter Wert aus dem Quotient Radlast durch die Berührungsfläche des Reifens mit dem Boden.

Bodenstabilität: Mechanische Eigenschaft für die Anfälligkeit eines Bodens, sich definitiv als Folge einer Belastung zu verformen.

Bodenwiderstand: (Siehe Bodenstabilität)

Vorbelastung: (Siehe Bodenstabilität)

Kohäsive Böden: Böden mit mässigem bis hohem Scherwiderstand, gilt für mittelschwere bis schwere bindige Böden.

Druckspannung [bar]: Aktive Kraft in einer bestimmten Bodentiefe pro Flächeneinheit, die durch das Bodenwasser und die Kornaggregate übertragen werden.

Druckzweibel: Zweidimensionale grafische Darstellung der Druckausbreitung (in die Tiefe und senkrecht zur Fahrrichtung und zur Bodentiefe) mit Isobarlinien (Linien mit konstantem Druck)

Algorithmen: Gesamtheit der Operationen (Gleichung), die zu einer bestimmten Lösung führt (Ermittlung der Kontaktfläche, der Druckausbreitung im Boden).

Bereifung

Normalquerschnitt: Bereifungshöhe/Bereifungsbreite $\geq 0,8$

Niederquerschnitt: Bereifungshöhe/Bereifungsbreite $0,6 < \times < 0,8$

Terrareifen: Bereifungshöhe/Bereifungsbreite $\leq 0,6$

Lastindex (LI): Der Lastindex (LI) ist eine internationale Angabe für die maximale tragbare Last bei einer durch die Reifenhersteller gegebenen Geschwindigkeit, bezeichnet als Geschwindigkeitsindex.

Geschwindigkeitsindex (SI): Der Geschwindigkeitsindex (SI) ist eine internationale Angabe der maximalen Geschwindigkeit, für die bei einem bestimmten Last (LI) ein Reifen ausgelegt ist.

Ergebnisse

Der **Kontaktfäche** liegen die Reifenart, Reifendimension, Radlast, und der Reifeninnendruck (die letzteren beiden Kriterien nur bei grossen Bereifungen, Durchmesser >130 cm) sowie die mathematischen Zusammenhänge (Algorithmen) für normal gelagerte (abgesetzte), feuchte Ackerböden zu Grunde (Diserens 2002).

Beim **Kontaktdruck** als Ausgangsgröße für die Berechnung der Druckausbreitung im Boden handelt es sich um den Mittelwert (im Oberboden verläuft die Druckverteilung z.B. infolge der Stolleneinwirkung sehr heterogen). Der mittlere Kontaktdruck wird durch die Rad- oder Raupenlast und die Kontaktfläche bestimmt.

Bodengefährdung: Über- schreitet die Druckspannung den festgelegten Bodenwiderstand bei $pF1.8$ auf der Höhe der maximalen Auflockerungstiefe, so wird die Schadverdichtungsgefahr mit einem «ja» bestätigt und allenfalls die maximale Tiefe der Schadverdichtungsgefahr angegeben, im anderen Fall verneint.

Die Berechnung der **Druckausbreitung** wurde auf Grund zahlreicher Messungen in der Ackerkrume und im Unterboden auf bindige (kohäsive) Böden aus Lehm, Schluff

oder Ton mit unterschiedlichen Oberbodenfestigkeiten ermöglicht (Abb. 6).

Technische Angaben von mehr als 1000 Reifentypen

In einer **Reifendaten-Tabelle** finden sich über 1000 Reifentypen (Stand 2003), unterteilt in fünf Hauptgruppen (Antriebs- und Anhängerreifen aus der Forstwirtschaft, Lenkungs-, Antriebs- und Anhängerreifen aus der Landwirtschaft). In jeder Hauptgruppe sind die Bereifungen nach zunehmendem Felgendurchmesser in Zoll aufgelistet. Die Angaben über Reifenart und Reifendimension können eingesehen und direkt in die Eingabetafel übernommen werden. Unabhängig von den ersten Anwendungsteilen lässt sich von jeder Reifenposition die maximal zulässige Radlast je nach Bereifung, Reifeninnendruck und Fahrgeschwindigkeit nach den ETRTO-Normen berechnen.

Optimaler Nutzen

Für einen optimalen Nutzen der Applikation sollen sowohl dem

Anwendungsbereich als auch den Einschränkungen besondere Beachtung geschenkt werden.

Schlussfolgerungen

Die grundlegende Frage, ob eine Beurteilung der zulässigen Boden- gefährdung durch Maschinenlast im praktischen Einzelfall möglich ist, war bisher weitgehend offen. Die nun vorliegende Anwendung – basierend auf mehrjährigen Feld- versuchen und Datenauswertun-

gen aus dem In- und Ausland – zeigt, dass nützliche Ansätze hier- für vorerst für kohäsive Böden (Lehm-, Schluff-, Tonböden) im Ackerbau vorliegen. Die Überprüfung der Aussage für den Unterboden ergab eine positive Bilanz über 85%. Auch lassen sich die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Fahrwerk und Boden für eine bestimmte Situation praktisch aufzeigen. Im Hinblick auf das Vorsorgeprinzip beim Bodenschutz kann TASC in der Praxis einen beträchtlichen Beitrag leisten. ■

TABELLE 2

Anwendungsbereich und Einschränkungen im Überblick

Anwendungsbereich

TASC ist vor allem auf praxisbezogene Empfehlungen und Richtlinien für den Maschineneinsatz ausgerichtet. Im Vordergrund steht die Verhinderung von Schadverdichtungen im Unterboden. Im Einzelfall kann der Zustand des Bodens lokal nicht wiedergegeben werden. Die Anwendung berücksichtigt:

- kohäsive, eher bindige Ackerböden (Lehm-, Schluff- oder Tonböden) mit einem geprägten Bearbeitungshorizont (Pfügen, Grubbern) zwischen 20 und 25 cm.
- feuchte bis nasse Unterbodenverhältnisse mit einem geringeren Steinanteil.
- eine Felddurchfahrt mit bis zu drei Reifenüberfahrten (drei Achsen).
- Fahrgeschwindigkeiten zwischen 3 und 8 km/h.
- Bereifungen mit geprägten Stollen (Farmer, Tractionsprofil).
- Der Reifeninnendruck zur Erfassung der Druckausbreitung wird nur für Reifendurchmesser über 130 cm berücksichtigt.
- Der Druckspannungsverlauf wird ab einer Tiefe von ca. 15 cm realistisch wiedergegeben (bei geringeren Tiefen in der Praxis heterogen).

Einschränkungen

Für die folgenden Situationen/Aspekte wurde TASC bisher noch nicht oder nur unzureichend ausgerichtet bzw. evaluiert:

- nicht kohäsive Böden wie Sandböden oder organische Böden sowie Naturwiese und Waldböden.
- trockene bindige Unterböden. Die Schadverdichtungsgefahr nimmt hier stark ab.
- Böden mit hohem Steinanteil. Hier kann davon ausgegangen werden, dass die Tragfähigkeit höher ist.
- Vorgewendeflächen: Durch die Vielfachbefahrungen mit hohen Lasten wird der Boden beim Wenden übermäßig stark beansprucht, Schadverdichtungen können die Folge sein.
- Radlastveränderungen am Fahrzeug während dem praktischen Einsatz (Zug- und Drehmomente oder Schwerpunktverlagerungen) müssen bei der Dateneingabe abgeschätzt bzw. berücksichtigt werden.
- Bereifungen mit flachen Stollen für Transport (Implementreifen, Ackerwagen, Flotationsprofile, Durchmesser kleiner 130 cm). Der Reifeninnendruck zur Erfassung der Druckausbreitung wird bisher nicht berücksichtigt.
- Bestehende Schadverdichtungen können mit TASC nicht erkannt werden.

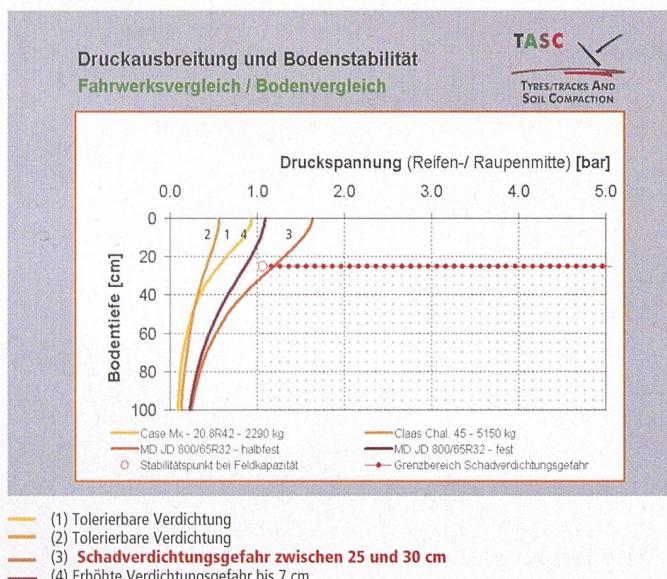


Abb. 6: Druckausbreitung im Boden. Wird der Grenzbereich durch die Druckausbreitungskurve geschnitten, ist die Belastung als zu hoch zu werten, es besteht Schadverdichtungsgefahr.