

TASC V3.0 – Prognose Bodengefährdung und Treibstoffverbrauch

Eine PC-Anwendung zur Beurteilung der Bodenbeanspruchung im Ober- und Unterboden in der Land- und Forstwirtschaft sowie zur Schätzung des Energie- und Treibstoffbedarfs im Ackerbau.

September 2013

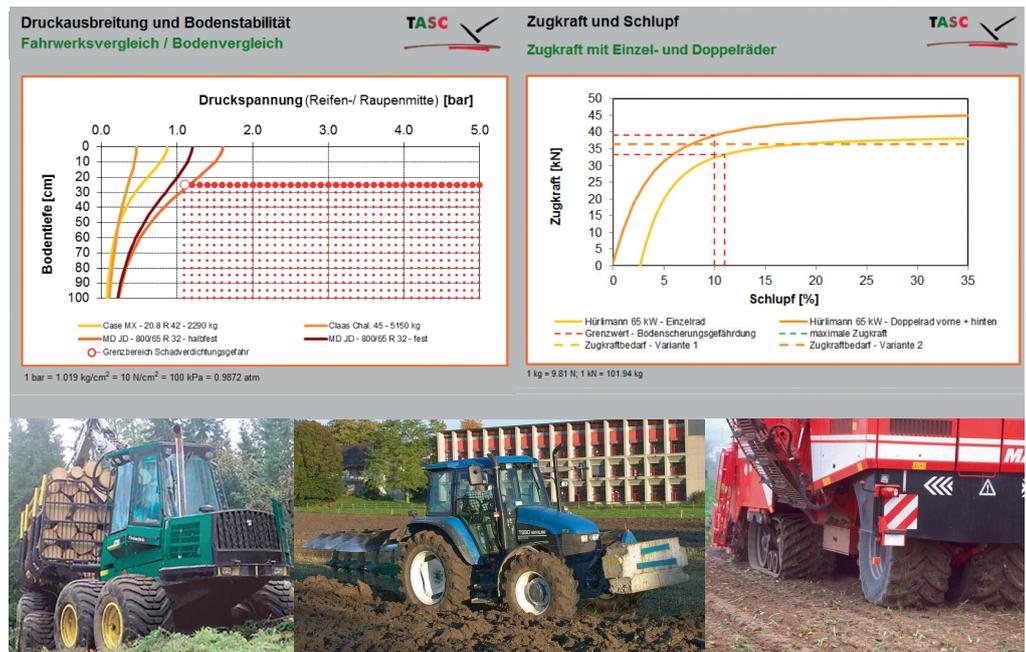


Abb. 1: TASC V3.0 berechnet Druckspannungen und Zugkraft-Schlupf-Kurven mit Angaben über Bodenschonung. Dadurch lässt sich die Bodengefährdung beurteilen.

Autoren

Etienne Diserens, Andrea Battiato,
ART
etienne.diserens@
agroscope.admin.ch

Impressum

Herausgeber:
Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen,
Redaktion: Etel Keller, ART

Die ART-Berichte/Rapports ART
erscheinen in rund 20 Nummern
pro Jahr. Jahresabonnement
Fr. 60.–. Bestellung von Abonne-
ments und Einzelnummern:
ART, Bibliothek, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7568

TASC V3.0 (Tyres/Tracks And Soil Compaction) ist eine praxistaugliche, aktualisierte Excel-Anwendung von Agroscope für die Entscheidungsfindung für die Ausrüstung und den Einsatz von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen mit Bezug auf die Bodenschonung und zum Teil auch auf den Treibstoffverbrauch. Diese Anwendung besteht aus fünf Modulen. Das Erste befasst sich mit Schadverdichtungen. Übermässige, durch Fahrwerke im Boden verursachte Druckspannungen werden in der entsprechenden kritischen Tiefe angezeigt. Das neue zweite Modul rechnet die Zugkraft-Schlupf-Kurven mit Angaben, ab welchem Radschlupf der Boden gesichert wird. Zugkraft- und Treibstoffbedarf lassen sich für unterschiedliche Anbaugeräte, Boden- und Traktorparameter bestimmen.

Das dritte Modul berechnet den Fahrspurflächenanteil eines oder mehrerer Arbeitsgänge. Ein weiteres Modul enthält die technischen Angaben von über 1270 Reifen inkl. Felgen aus der Forst- und Landwirtschaft. Auf Grundlage der internationalen Reifen- und Felgennormen lässt sich in einem fünften Modul auch die maximal zulässige Belastung je nach Bereifung, Reifeninnendruck und Fahrgeschwindigkeit für forst- und landwirtschaftliche Bereifungen berechnen.

Die Simulationsberechnungen basieren auf Feldversuchen auf landwirtschaftlichen Böden.

Seit einer Dekade leistet TASC europaweit einen Beitrag zur Sensibilisierung und Verbesserung des Bodenschutzes, der mit der aktuellen Version noch vertieft werden soll.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Problemstellung

Seit Mitte der 1980er-Jahre hat die Mechanisierung der Land- und Forstwirtschaft im Zeichen des technischen Fortschritts und der Rationalisierung stark zugenommen. Die Leistungsfähigkeit der Feld- oder Forstmaschinen wurde extrem gesteigert, parallel dazu sind die Geräte-, Maschinen- und Traktorengewichte deutlich angestiegen. Mit Radlasten bis gegen 5 Tonnen für Traktoren, 6 Tonnen für Harvester, 11 Tonnen für Mähdrescher; mit Gesamtgewichten um 30 Tonnen für Forwader, 60 Tonnen für Zuckerrübenvollernter werden die Böden sehr hohen Lasten ausgesetzt (Abb. 1). Bodenverdichtungen sind schleichende, oft persistente Schäden, die bei Witterungsextremen (dauerhaftem Regen, Trockenheit, anhaltender Kälte) zum Ausdruck kommen. Ertragseinbußen zwischen 5 bis 15 Prozent lassen sich in der Landwirtschaft beobachten (1). In der Forstwirtschaft rechnet man mit einem Produktivitätsverlust von 6 bis 16 Prozent des Vorrats in der Nächstgeneration (2). Ausserdem stellt sich nicht nur die Frage nach auftretenden Bodenverdichtungen, sondern auch die Frage der Bodenschichtung und -verformung bei Zugarbeiten. Bei hohem Schlupf wird der Oberboden geschert. Es entsteht eine lose, leicht erodierbare Schicht. Unterhalb wird der Boden verdichtet und weitergeschert. Verdichtungen und Scherungen führen zu verminderter Wasserinfiltration, was die Häufigkeit und Schwere von Überschwemmungen und Erosion begünstigt.

In der Schweiz wird in den «Rechtsgrundlagen der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo vom 1.7.1998)», der Bodenverdichtung und Bodenerosion hohe Priorität beigemessen. Das Vorsorgeprinzip steht bei der langfristigen Sicherung der Multifunktionalität des Bodens und damit dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit im Vordergrund.

TASC V3.0 – Das Wichtigste in Kürze

TASC V3.0 (Tyres/Tracks And Soil Compaction – Reifen/Raupen und Bodenverdichtung) ist die dritte Version eines praxisbezogenen Hilfsmittels zur Entscheidungsfindung mit fünf Modulen (Abb. 2), geeignet für alle Bereiche, die mit dem Problem Fahrwerk-Bodenbeanspruchung konfrontiert sind: Land- und forstwirtschaftliche Praxis, Beratung, Planung, Lehre, Verwaltung, Ingenieurbüros, Reifen-, Land- und Forstmaschinenindustrie.

Modul 1 – Druckausbreitung und Bodengefährdung

Für einen bis vier Fälle können Bodenbeanspruchung und Schadverdichtungsgefahr je nach Fahrwerk, Last, Bereifungs- und Raupendimension, Reifeninnendruck, Bodennutzung und Bodeneigenschaften dargestellt werden (Abb. 2). Reifendaten lassen sich entweder durch direkte Eingabe der Reifenabmessungen oder durch Anklicken der abgespeicherten Reifendaten im Modul 4 auswählen. Basierend auf einfachen und schnellen Feldtests, können Bodenart (Bodentextur), Bodennutzung / Bodenfeuchte, Bodenfestigkeit (Eindringwiderstand) und kritische Tiefe (maximale Lockerungstiefe, Mächtigkeit der organischen Auflage) definiert werden. Daraus werden die Kontaktfläche und der Kontaktdruck berechnet mit dem Hinweis auf eine allfällige Schadverdichtungsgefahr. Als Zusatzinfor-

mationen sind folgende Bodenkennwerte abrufbar: Druckausbreitung und Druckzwiebeln (grafisch und numerisch) sowie die Druckspannung in einem beliebigen Punkt des Bodens (numerisch).

Anwendungsbeispiele:

- Auswirkung auf den Bodendruck von zwei Reifen mit vordefinierter Last, Reifeninnendruck und Bodenbeschaffenheit.
- Fahrwerküberprüfung: Einzelrad oder Doppelräder – was ist bodenschonender?
- Überprüfung der Bodengefährdung für eine vordefinierte Belastung (Bereifung, Radlast, Reifeninnendruck) je nach Oberbodenfestigkeit, Bodenfeuchte und -art (Bodentextur).
- Überprüfung der Bodengefährdung in der direkten Nähe von Fahrspuren oder Rückgassen.

Modul 2 – Zugkraft, Schlupf, Oberbodengefährdung und Treibstoffverbrauch

Zugkraftbedarf kann gemäss ASAE (3) je nach Arbeitsgerät, Bearbeitungstiefe, Fahrgeschwindigkeit und Boden parallel für zwei Fälle berechnet werden. Das Ausmass des Schlupfes, Lastübertragung, Treibstoffverbrauch (Abb. 2) werden je nach Traktoreigenschaften (Bereifungsdimensionen, Radlast, Reifeninnendruck, Radstand, Anhängerhöhe) und Bodenbeschaffenheit (Bodentextur, Bodenkohäsion, Eindringwiderstand) dargestellt. Als Indiz für die Oberbodengefährdung werden Radschlupf und Zugkraft angegeben, ab welcher Scherungen auftreten. Die Reifendaten können ebenfalls über eine direkte Eingabe der Reifenabmessungen oder durch Anklicken aus den abgespeicherten Reifendaten (Modul 4) erfasst werden. Der Nutzer kann basierend auf einfachen und schnellen Feldtests Bodenart, Bodenfestigkeit, Bodenkohäsion und Spurtiefe eingeben.

Als Zusatzinformationen sind folgende Kenngrössen in einem Bereich von 1 bis 35 Prozent Schlupf abrufbar: Nettozugkraft am Zughaken, gesamte Zugkraft an den Rädern, Bodenwiderstand, dynamische Radlast (vorne und hinten) und Traktionskoeffizient (Verhältnis zwischen Nettozugkraft und Fahrzeuggewicht). Energiebezogene Parameter sind von 1 bis 35 Prozent Schlupf ebenfalls zugänglich: Zugleistung, Leistung an Radnabe, Motorleistung mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 85 Prozent (hohe Motorauslastung mit wenigen Getriebeverlusten), stündiger Dieserverbrauch und Zugleistungseffizienz (Verhältnis zwischen Zugleistung und Leistung an der Radnabe). Grafisch sind einerseits Zugkraft, Motorleistung und stündiger Treibstoffverbrauch als Funktion des Schlupfes und andererseits der spezifische Zugleistungsdieserverbrauch und die Zugleistungseffizienz als Funktion der Zugkraft wiedergegeben.

Anwendungsbeispiele

- Auswirkung von unterschiedlichen Reifen- und Bodeneigenschaften auf die Oberbodengefährdung (Bodenschichtung).
- Berechnung des Zugkraftbedarfs je nach Anbaugerät, Boden, Bearbeitungstiefe und Fahrgeschwindigkeit.
- Auswirkung von unterschiedlichen Reifen-, Bearbeitungsgerät- und Bodeneigenschaften auf den Zugkraftbedarf und den Dieserverbrauch.

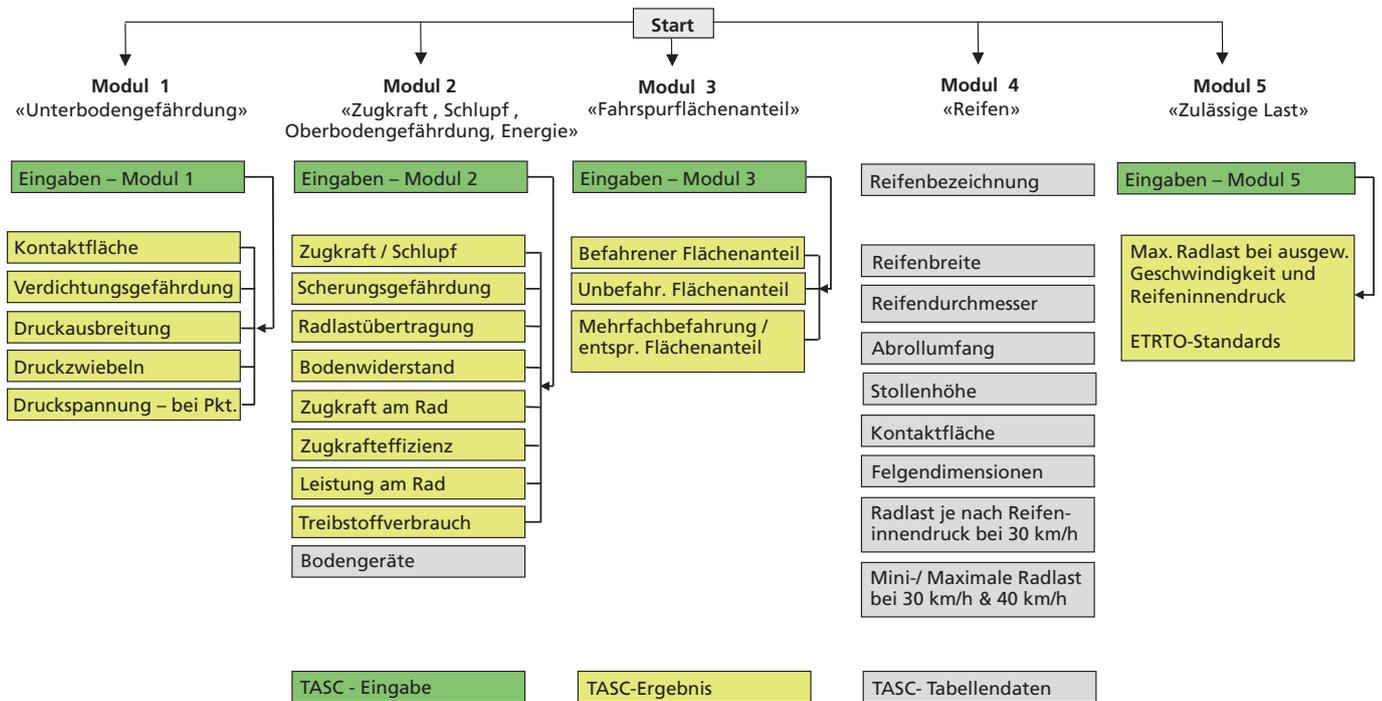


Abb. 2: TASC-Ergebnisse mit Tabellendaten im Überblick.

Modul 3 – Fahrspurflächenanteil

Der Fahrspurflächenanteil gilt als weiteres Indiz der Oberbodengefährdung. Auf strukturempfindlichen und schwer durchlässigen ton- und schluffhaltigen Böden ist es unter feuchten bis nassen Bodenverhältnissen wegen der Verminderung der Wasserinfiltration sinnvoll, den Boden möglichst kleinflächig zu befahren. Grobkörnige, sandige Böden reagieren weniger empfindlich.

Der Fahrspurflächenanteil lässt sich je nach Arbeitsbreite, Reifenbreite und Fahrwerkkonfiguration berechnen. Dabei lassen sich auch mehrere Arbeitsgänge berechnen. Bis 24 Rädertypen können in der Modellberechnung berücksichtigt werden. Ergebnisse lassen sich sowohl numerisch wie grafisch darstellen (Abb. 2).

Anwendungsbeispiele:

- Zuckerrübenanbau: 2-reihiger Rübenvollernter (gezogen, mit/ohne Überladefahrzeug) im Vergleich zu selbstfahrendem 6-reihigem Rübenvollernter.
- Zuckerrübenanbau: Spurtreu versus versetztes Verfahren mit selbstfahrendem Rübenvollernter.
- Feldbau: Auswirkung des CTF-Verfahrens (Controlled traffic farming) für den Oberboden innerhalb einer Vegetationsperiode von der Grundbodenbearbeitung bis zur Ernte oder allenfalls für verschiedene hintereinander angebaute Kulturen.

Modul 4 – Reifendatenbank

Die Reifendatenbank enthält über 1270 Reifentypen eingeteilt in fünf Gruppen: Antriebs- und Anhängerreifen der Forstwirtschaft, Lenkungs-, Antriebs- und Anhängerreifen der Landwirtschaft. Angaben über Reifenart und Reifendimensionen können konsultiert oder direkt in die Eingabetabellen übertragen werden. Die Angaben können auch zur Berechnung der maximal zulässigen Radlast je nach

Bereifung, Reifennennendruck und Fahrgeschwindigkeit benutzt werden. In jeder Hauptgruppe sind die Bereifungen nach zunehmendem Felgendurchmesser in Zoll eingeordnet.

Neben den Standardgrößen wie Felgendurchmesser, Felgentypen, Reifenbreite, Reifendurchmesser (Abrollumfang und Stollenhöhe bei landwirtschaftlichen Antriebsreifen), Kontaktfläche, Last- und Geschwindigkeitsindex sind auch Angaben über die Tragfähigkeit bei 30 km/h und 40 km/h mit entsprechenden Reifennennendrücken angegeben (Abb. 2). Für alle Bereifungen sind auch die entsprechenden Reifenhersteller aufgelistet.

Anwendungsbeispiele:

- Vergleichen von Reifen bezüglich ihrer Eigenschaften.
- Auswahl von speziellen Bereifungen für Acker- und Futterbau.
- Auswahl von Antriebsreifen vorne und hinten unter Berücksichtigung des mechanischen Verhältnisses wegen der Voreilung.
- Überprüfung der Felgendimension beim Wechseln von Reifen.
- Überprüfung der Tragfähigkeit je nach Reifennennendruck bei 30 km/h und mit maximalen Werten bei 40 km/h.

Modul 5 – Reifentragfähigkeit

Die Tragfähigkeit der Reifen kann je nach Maschineneinsatz, Reifenkategorie, Reifennennendruck und Fahrgeschwindigkeit variieren. Um die maximal zulässige Radlast für eine bestimmte Geschwindigkeit und einen bestimmten Reifennennendruck zu berechnen, wird aus der Reifendatenbank die Radlast bei 30 km/h mit entsprechendem Reifennennendruck in die Berechnungstabelle des Moduls 5 übertragen und anschliessend die gewünschte Geschwindigkeit eingetragen (Abb. 2).

Anwendungsbeispiele:

- Berechnung der zulässigen Last beim Arbeitseinsatz im Wald mit Antriebsreifen (tiefem Drehmoment).
- Berechnung der zulässigen Last bei Strassenfahrt (40 km/h) mit dem entsprechend zulässigen Reifeninnendruck mit stark belasteten Antriebsreifen (Säkombination).
- Berechnung der maximalen zulässigen Last bei 10 km/h für einen bestimmten Anhängerreifen.

Grundprinzip und Beurteilung der Bodengefährdung

Eine Bodenverformung entsteht, sobald eine von aussen wirkende Kraft die entsprechende Bodenreaktionskraft übersteigt. Für den Unterboden gilt das Druckausbreitungs-Vorbelastungs-Konzept; für den Oberboden gilt das Scherspannungs-Scherwiderstands-Konzept mit der Bruchgerade von Mohr-Coulomb (4).

Unterbodengefährdung durch Schadverdichtungen

Ist die durch eine Lasteinwirkung hervorgerufene Druckspannung F nach Boussinesq (4) in einer bestimmten Bodentiefe kleiner als der Bodenwiderstand R (auch Vorbelastung genannt), entsteht keine Verformung. Der Boden reagiert elastisch. Ist F jedoch grösser als R , dann reagiert der Boden plastisch. Verformungen in Form von Verdichtungen sind zu erwarten. Bei übermässigen Druckspannungen treten Schadverdichtungen ein (Abb. 3). Zur Beurteilung des Verdichtungsgrades sind die Richtwerte der effektiven Lagerungsdichte wichtige Bezugsgrössen. Für Waldböden gelten $1,5 \text{ g/cm}^3$ und für landwirtschaftliche Böden $1,7 \text{ g/cm}^3$ als Richtwerte (5). Zur Berechnung des maximal zulässigen Bodenwiderstandes oder Druckspannungen werden Regressionen zwischen der effektiven Lagerungsdichte und der Vorbelastung bei $pF 1,8$ (Boden feucht und entwässert) und bei $pF 2,5$ (Boden trocken) aus bestehenden Datensätzen gebildet (6). Diese wurden in fünf Körnungsklassen eingeteilt: (1) lehmiger Ton (2) toniger, lehmiger, sandiger Schluff, Schluff (3) toniger Lehm, Lehm (4) sandiger Lehm, lehmreicher Sand (5) lehmiger Sand, schluffiger Sand, Sand.

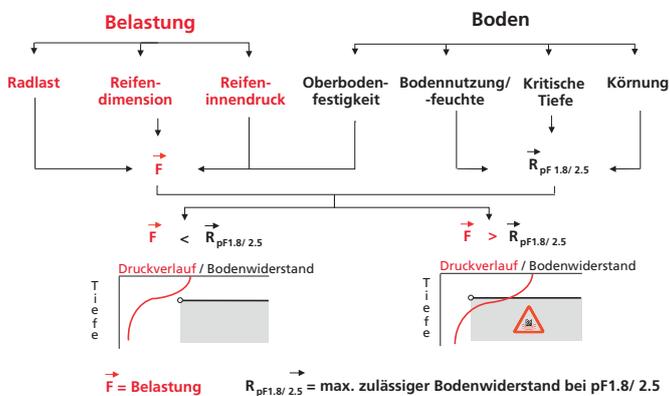


Abb. 3: Erstes Modul «Druckausbreitung, Unterbodengefährdung». Grundprinzip: Ist die Druckspannung F in der kritischen Tiefe höher als der kritische Bodenwiderstand R besteht die Gefahr einer Schadverdichtung.

Oberbodengefährdung durch Abscherung

Die Interaktion des Reifens mit dem Boden löst ein Zusammenspiel von normalen und tangentialen Kräften aus (7). Da die Bodenscherfestigkeit mit zunehmender Druckspannung zunimmt, steht sie als Funktion der Druckspannung, der Bodenkohäsion und des Winkels der inneren Reibung (Mass für die Reibungsbegabung der Bodenoberfläche) nach Mohr-Coulomb (4).

Zeigt sich der Boden gegen Scherkräfte τ widerstandsfähig, $\tau < \tau_{\text{max}}$, dann verhält er sich elastisch. Es tritt kein Bruch oder Abscheren des Oberbodens auf (Abb. 4). Werden dagegen mit zunehmender Zugkraft und Schlupf die Scherkräfte die Bodenscherfestigkeit überschritten $\tau \geq \tau_{\text{max}}$, dann verhält sich der Boden plastisch; der Boden bricht und wird abgeschert (Abb. 4).

TASC im Feldeinsatz

Der Landwirt oder der Förster soll möglichst schnell, mit minimalem Aufwand und ohne Kosten die Befahrbarkeit seines Bodens, im Hinblick auf die Schadverdichtungs- und Scherungsgefährdung überprüfen können. Vier Feldtests sind zu diesem Zweck in der Tabelle 1 dargestellt.

Fühlprobe: Durch die Fühlprobe wird die in fünf Klassen eingeteilte Bodenkörnung bestimmt. Die Bodenfeuchte lässt sich ebenfalls durch Fühlprobe beurteilen. Diese beiden Bodenmerkmale sind für die Festlegung des Stabilitätsrichtwertes (Modul 1) als Scherparameter (Modul 2) von Bedeutung.

Doppelmeter: Festlegung der maximalen Lockerungstiefe, der kritischen Bodentiefe unterhalb welcher der Boden unbedingt vor übermässigen Druckspannungen geschützt sein sollte (Modul 1). Durch die Erhebung der Fahrspurtiefe lassen sich die Kontaktfläche und damit auch die Gesamtkraft am Rad – Umfangskraft – bei Antriebsreifen ermitteln (Modul 2).

Schraubenziehertest: Es handelt sich um einen herkömmlichen Schraubenzieher (Nr. 4: Spitze 6 mm breit, 1 mm dick). Je nach Handposition wird der Boden als weich, halbfest oder fest eingeteilt. Mit diesem Test werden sowohl die Bodenfestigkeit kurz vor dem Befahren (Modul 1) sowie das

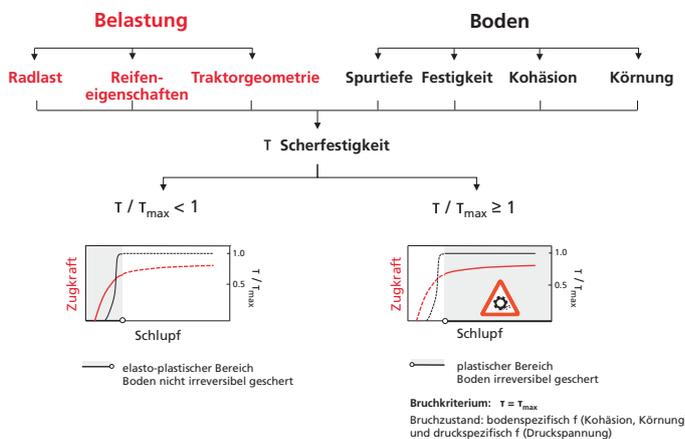


Abb. 4: Zweites Modul «Zugkraft, Energie, Oberbodengefährdung». Grundprinzip: Sind die Scherkräfte der Räder gleich oder grösser als der Scherwiderstand des Bodens, dann treten irreversible Bodenschörungen ein.

Feldtest		Modul 1 Unterbodengefährdung		Modul 2 Oberbodengefährdung		Referenzen Handbuch
Mittel	Prinzip	Parameter	Bedeutung	Parameter	Bedeutung	
	Haftigkeit, Klebrigkeit, Haftigkeit, Bindigkeit, Kälte-wirkung des Bodens in der kritischen Tiefe	Körnung – % Ton, % Schluff Bodenfeuchte – pF-Werte	Festlegung des Stabilitätsrichtwerts Schadverdichtung ja/nein	Körnung – % Ton, % Schluff Winkel der inneren Reibung φ	Bestimmung der Bodenscherfestigkeit und der maximalen Bodenscherfestigkeit	§ 4.2.2 § 4.2.3 § 5.2.3
	Bestimmung der kritischen Tiefe (Spatenstich) – Spurtiefe (Vorderachse – Hinterachse getrennt)	Kritische Bodentiefe z_k	Festlegung des Schutzbereiches im Boden (oberer Teil) – Schadverdichtung ja/nein	Stollenhöhe z_s , Spurtiefe h_s , Verformungsmodul K – Exponent n	Ermittlung der Kontaktfläche und damit auch der Gesamtkraft am Rad	§ 4.2.5 § 5.2.1
	3 Handpositionen bei Eindringung im Boden bis 10 cm (weich: zwischen Daumen und Zeigfinger, mittel: im vollem Handgriff, fest: vom Handballen)	Oberbodenfestigkeit, Konzentrationsfaktor q	Berechnung der Druckspannung in der kritischen Tiefe	Oberbodenfestigkeit Scherverformungsmodul k	Erfassung der Scherspannungsverteilung im Interface Reifen / Boden	§ 4.1.1 § 4.2.4 § 5.2.4.
	5 Körperpositionen beim Bodenscheren (eine Hand, zwei Hände, eine Hand mit angewinkelten Beinen, zwei Hände mit angewinkelten Beinen, nicht möglich), Tiefe der Klinge im Boden und Griffhöhe werden bestimmt			Bodenkohäsion c	Erfassung der Scherspannungsverteilung und der maximalen Bodenscherfestigkeit	§ 5.2.2

Tab. 1: Praxis orientierte Feldtests zur Charakterisierung des Bodens zum Zeitpunkt des Befahrens. Ausführliche Beschreibung siehe Handbuch von TASC.

Scherverformungsmodul als Mass zur Charakterisierung des Scherwiderstandes des Bodens eingeschätzt (Modul 2).

Hacktest: Es handelt sich ebenfalls um ein herkömmliches Gerät. Einsinktiefe, Griffhöhe und Körperhaltung je nach nötiger Zugkraft, um den Boden mit der Hacke abzuscheren, sind die Eingangsgrößen zur Bestimmung der Bodenkohäsion c als weiterer Scherparameter (Modul 2).

Diese vier Feldtests sind einfach und wichtig. Erst wenn der Boden kurz vor dem Befahren effektiv auch untersucht wird, kann die Bodengefährdung auf Grund der Bodenbeschaffenheit zuverlässig bewertet werden. Ausführliche Angaben über diesen Feldtest sind im Handbuch zu finden (8). Sollen hingegen verschiedene Belastungskonstellationen für einen beliebigen Boden miteinander verglichen werden, stehen die Feldtests nicht mehr im Vordergrund.

Simulationsberechnungen und Aussagen anhand von Beispielen

Zwei Beispiele werden hier erläutert, eines aus dem ersten Modul (Abb. 5) und ein zweites aus dem zweiten Modul (Abb. 6). Die Eingaben über Maschinen- und Bodenparameter werden in den grün hinterlegten Bereichen von TASC vorgenommen, die Resultate sind gelb hinterlegt.

Beim ersten Modul (Variante 1 bis 4, Abb. 5) stellt sich die Frage, ob sich ein mittelgrosser Mähdrescher auf einem feuchten sandigen Lehm einsetzen lässt, ohne den Boden zu gefährden. Aus den Simulationsberechnungen ergibt sich beim halbfesten Boden (Eindringwiderstand des Schraubenziehers im Oberboden 7kgf), dass der Boden zwischen 0 und 28 cm übermässig beansprucht wird (Abb. 5). In diesem Bereich liegen die Druckspannungen über dem Richtwert (1,2bar). Eine Verdichtungsgefahr wird angezeigt, da die kritische Tiefe (maximale Lockerungstiefe 28cm mit höchstzulässigen Druckspannungen) höher liegt als die eingegebene Tiefe von 25cm. Damit

keine Schadverdichtungsgefahr besteht, soll die Korntankfüllung um 48 Prozent reduziert werden. Wird der Boden als «weich» bewertet (Eindringwiderstand des Schraubenziehers im Oberboden 4kgf), besteht ein Risiko, dass der Boden bis 35cm verdichtet wird. Nur auf festem Boden (erst ab 9,5kgf Eindringwiderstand) sind mit vollem Korntank keine Schadverdichtungen zu befürchten.

Im zweiten Modul (Variante 1 und 2, Abb. 6) stellen sich mit einem 65-kW Traktor bei der Bodenbearbeitung auf schluffreichem Boden die folgenden Fragen:

1. Bei welchem Schluff und welcher Zugkraft wird der Oberboden abgeschert? – 2. Wie hoch ist die Effizienz der Doppelräder gegenüber Einzelrädern? – 3. Wie hoch ist der Treibstoffverbrauch mit einem Untergrundlockerer (fünf Meisselschare) bis 40 cm Bodentiefe? – 4. Welche Rolle spielt die Fahrgeschwindigkeit beim Energiebedarf?

Aus den Simulationsberechnungen (Abb. 6) treten erste Oberbodenschäden durch Scherung bei 11 Prozent Schluff mit Einzelrädern und bei 10 Prozent Schluff mit Doppelrädern auf. Dies entspricht einer Zugkraft von 33kN im ersten und von 39kN im zweiten Fall. Mit diesem Gerät und bei 4,5km/h liegt der Zugkraftbedarf bei 36,5kN. Der Boden lässt sich also nur mit Doppelrädern bearbeiten, damit voraussichtlich keine Oberbodenschere eintritt. Die Effizienz ist mit Doppelrädern eindeutig höher als ohne. Mit Doppelrädern ist die gesamte Kontaktfläche grösser und damit auch der verfügbare Scherwiderstand des Bodens. Damit kann eine höhere Zugkraft vor dem Abscheren des Oberbodens (Bruch) erzielt werden. Mit Einzelrädern wird 19 Prozent Schluff benötigt, um eine erwünschte Zugkraft von 36,5kN zu generieren. Mit Doppelrädern genügt aber 8 Prozent Schluff (Abb. 6).

Der 65-kW-Motor benötigt mit Einzelrädern bei 19 Prozent Schluff (64,0kW) einen Dieselverbrauch von über 19,1l/h. Mit Doppelrädern und 8 Prozent Schluff ist dagegen der 65-kW-Motor mit 60,5kW weniger ausgelastet. Dies bedeutet auch einen tieferen stündigen Dieselverbrauch von 18,1l/h. Bei gleichwertiger Zugleistung (45,7kW) wird pro

Stunde mit Doppelrädern 1,0l Treibstoff gespart, was einen spezifischen Zugleistungsdieserverbrauch von 21 g/kWh ausmacht. Zu hoher Schlupfanteil bedeutet höhere Oberbodengefährdung und Treibstoffverlust. Wie sehen die

Berechnungen mit einer tieferen Fahrgeschwindigkeit von 2 km/h anstatt 4,5 km/h aus? Der Zugkraftbedarf nimmt mit gleichem Anbaugerät mit 32,4kN entsprechend ab. Diese Zugkraft wird mit 10 Prozent und 5 Prozent Schlupf bei Ein-

Druckausbreitung im Boden durch Rad-, und Raupenlasten

Bezeichnung: **Mährescher (132 kW) und Unterbodengefährdung**



Nutzung - Bodenfeuchte		Landwirtschaft - feuchter Boden - pF 1.8		kritische Tiefe [cm]		25					
Bodenart in der kritischen Tiefe		sandiger Lehm, lehmreicher Sand		Tongehalt [%]							
				Schluffgehalt [%]							
Variante	Reifenart / Raupen	Reifen-aufbau	Reifen-/Raupen-breite	Reifen-durchmesser/Laufbandlänge	max Rad-/Raupen-last	Reifen-innen-druck	Oberboden-festigkeit	Kontakt-fläche	mittl. Kontakt-druck	Schad- verdichtungs- gefahr **	Schad- verdichtungs- gefahr bis ... Tiefe
Alle Eingaben löschen											
no/ni/tr/ra d/r [cm] [cm] [kg] [bar]* [kgf] [cm ²] [bar]* nein / ja [cm]											
Variante 1: LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen											
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	halbfest	5888	1.27	ja	28
Variante 2: LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen											
800/65R32 - Korntank 50% voll	ni	r	77	182	6830	1.5	halbfest	5497	1.22	nein	25
Variante 3: LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen											
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	weich	5888	1.27	ja	35
Variante 4: LANDWIRTSCHAFT / Antriebsreifen											
800/65R32 - Korntank voll	ni	r	77	182	7630	1.5	fest	5039	1.49	nein	13

* 1 bar = 1.019 kg/cm² = 10 N/cm² = 100 kPa = 0.9872 atm
** unterhalb der maximalen Auflockerungstiefe
Informationen

Abb. 5: Schadverdichtungsgefährdung (Schadverdichtungsrisiken) im Bodenprofil mit einem Mährescher. Eingabefelder sind grün, Resultatfelder sind orange umrandet.

Bodenscherung, Zugkraftbedarf und Energie



Variante 1: **Hürlmann 65 kW - Einzelrad**

Bodenart		schluffreiche Böden		Oberbodenfestigkeit		halbfest					
Hacktest		zwei Hände - angewinkelte Beine		Hacktest		Griffhöhe [cm] / Einsinktiefe [cm]		70 / 6.5			
Traktorleistung [kW]		65		Antrieb		Vierrad		Radstand [cm]		234	
Geschwindigkeit [km/h]		4.5		Antriebsart		Vierrad		Anhöhehöhe [cm]		54	
Dimensionen		Reifen-breite [cm]	Reifendurch-messer [cm]	Rimddurch-messer [cm]	Abrollumfang [cm]	Radlast [kg]	Reifen-innen-druck [bar]	Stollenhöhe [cm]	Fahrspur-tiefe [cm]		
Vorderachse											
Haupttraktor		380/85 R 24	39.0	125.6	61.0	374.8	1050	0.6	4.5	2.5	
Hinterachse											
Haupttraktor		420/85 R 34	44.2	158.1	86.4	471.8	1460	0.6	4.5	2.3	

Oberbodengefährdung - Bodenscherung bei

Schlupf [%]: 11 Zugkraft [kN]: 33.3

Zugkraftbedarf

Arbeitsgerät: **TIEFBEARBEITUNG**
 Untergrunddecker - Messschar [w]
 Scharpfug [m]
 Tiefgrubber - 0.05 m breites Messschar [w]
 Tiefgrubber - Flügelschar 0.075 m breit / 0.35 m tief [w]
 Tiefgrubber - 0.1 m gebogene Schar [w]

Maschinenbreite [m] / Reihen- [n] / 5

Werkzeugsanzahl [n_w]

Bearbeitungstiefe [m] 0.40

Zugkraftbedarf - Energie

Schlupf [%]	Zugkraftbedarf* [kN]	Radlastübertr. [kg]	Leistung _{motor} [kW]	Dieserverbr. [l/h]	Spez. Dieserverbr. [g/kWh]
19	36.47	403	64.0	19.1	347

Oberbodengefährdung - Bodenscherung bei

Schlupf [%]: 10 Zugkraft [kN]: 39.0

Zugkraftbedarf

Arbeitsgerät: **TIEFBEARBEITUNG**
 Untergrunddecker - Messschar [w]
 Scharpfug [m]
 Tiefgrubber - 0.05 m breites Messschar [w]
 Tiefgrubber - Flügelschar 0.075 m breit / 0.35 m tief [w]
 Tiefgrubber - 0.1 m gebogene Schar [w]

Maschinenbreite [m] / Reihen- [n] / 5

Werkzeugsanzahl [n_w]

Bearbeitungstiefe [m] 0.40

Zugkraftbedarf - Energie

Schlupf [%]	Zugkraftbedarf* [kN]	Radlastübertr. [kg]	Leistung _{motor} [kW]	Dieserverbr. [l/h]	Spez. Dieserverbr. [g/kWh]
8	36.47	449	60.5	18.1	326

1 kg = 9.81 N; 1 kN = 101.94 kg * mit dem Erlaubnis von ASAE Standard D497.7 MAR2011: Agricultural machinery management data. St. Joseph, Mich. - American Society of Agricultural and Biological Engineers (27.11.2012) 09.09.13 - 11:58:46

Abb. 6: Oberbodengefährdung durch Bodenscherung, Zugkraftbedarf mit entsprechenden Angaben über Schlupf, Radlastübertragung und Energieverbrauch mit Einzel- und Doppelrädern.

zel- bzw. Doppelrädern generiert. Der Oberboden erleidet keine Scherungen mehr. Die Motorleistung beträgt nur noch 22,7 kW bei Einzelrädern gegenüber 22,4 kW bei Doppelrädern. Der stündige Dieserverbrauch nimmt bei reduzierter Geschwindigkeit mit 6,8 l/h bzw. 6,7 l/h entsprechend stark ab. Was man einerseits durch geringeren Schlupf mit Doppelrädern gewinnt, verliert man andererseits mit einem höheren Bodenwiderstand. Aus dem stündigen Treibstoffverbrauch, der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitsbreite kann ausserdem der flächenbezogene Treibstoffverbrauch leicht berechnet werden. Beim Ziehen entsteht ausserdem eine Lastübertragung von der Vorder- auf die Hinterachse. Mit dem Zugkraftmodell (Modul 2) lässt sich die dynamische Last berechnen, ein wichtiger Parameter zur Überprüfung der Unterbodengefährdung (Modul 1).

Übereinstimmungen zwischen Berechnungs- und Messwerten

Ein Rechenmodell kann die Wirklichkeit nur annähernd wiedergeben. Trotz der hohen Vielfältigkeit des natürlichen Bodens bestehen zwischen Simulationsrechnungen mit TASC und Feldmessungen zum Teil hohe Übereinstimmungen. Im ersten Modul «Druckausbreitung Bodengefährdung» wurde bei der Meldung «Schadverdichtung nein/ja» (25 cm und tiefer) eine Übereinstimmung von 93 Prozent verglichen mit Messungen für den Unterboden beobachtet. Beim Oberboden liegt die Übereinstimmung zwischen 54 und 62 Prozent. Aus insgesamt 207 überprüften Fällen wurde in keinem einzigen Fall die Meldung «keine Schadverdichtung» ausgegeben, wenn bei Messungen der Boden nachweislich übermässig verdichtet wurde. Im ersten Modul liegen dementsprechend die TASC-Berechnungen auf der sicheren Seite.

Die Zugkraftwerte wurden anhand von vier Traktoren (davon ein Referenztraktor) auf vier verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Belastungs- und Fahrwerkskonfigurationen erhoben (9). Vergleicht man die Mittelwerte der gemessenen mit den berechneten Zugkraftwerten für den 65-kW-Referenztraktor, liegt der mittlere Fehler in 68 Prozent der Fälle bei 10 Prozent oder tiefer. Für die drei

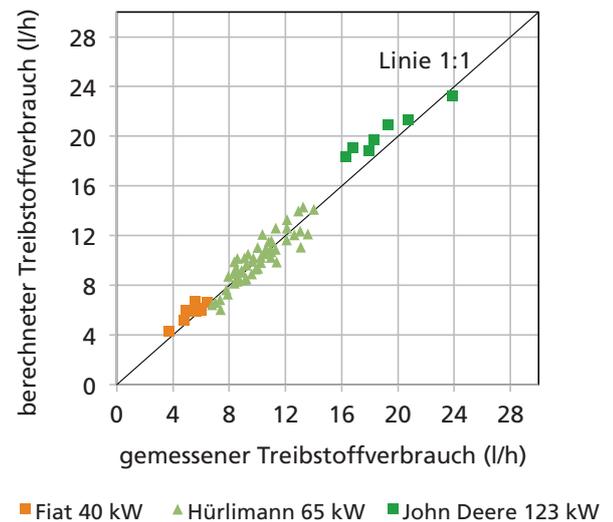


Abb. 7. Treibstoffverbrauch pro Stunde – berechnete Werte im Vergleich zu den gemessenen Werten.

anderen Traktoren (40 kW, 110 kW, 130 kW) liegt der mittlere Fehler sogar in 90 Prozent der Fälle bei 10 Prozent oder tiefer (9).

Besonders unter hohen Radbelastungen oder mit Doppelrädern können gewisse Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten vorkommen (8).

Die berechneten Treibstoffverbrauchswerten aus Referenzwerten für den spezifischen Dieserverbrauch am Motor (8) stehen in hohen Übereinstimmungen mit den in unabhängigen Feldmessungen erzielten Werten (Abb. 7).

Tool-Spezifikation	
Version	TASC V3.0. 2013
Betriebssystem	Ab Win Office 2007/ Ab Mac OSX 10.8.2
Software	Ab Office Excel 2007/Ab Excel 2011 Mac
Sprachen	Deutsch, Französisch, Englisch
Speicherbedarf	Excel 14,5 MB – Handbuch pdf 1,8 MB
Herausgeber	Agroscope, 8356 Ettenhausen, Schweiz
Bestellung	www.agrartechnik-agrosocpe.ch oder doku@art.admin.ch / ++41 52 368 31 31
Infos	etienne.diserens@agroscope.admin.ch

Literatur

- (1) Heinonen M., Alakukku L., Aura E., 2002. Effects of Reduced Tillage and Light Tractor Traffic on the Growth and Yield of Oats (*Avena sativa*). Sustainable Land Management Environmental Protection. A Soil Physical Approach. *Advanced in GeoEcology* 35, 367–378.
- (2) Fringeli G., 2005. Bodenverdichtung durch Forstmaschinen. AK Forstliches Ingenieurwesen. Mündliche Mitteilung – Vortrag vom 13.01.2005.
- (3) ASAE, 2001. Agricultural Machinery Management Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASAE D497.7 MAR2011, 8 p.
- (4) Lang H.-J., Huder J., 1982. Bodenmechanik und Grundbau. Springer-Verlag, Berlin, 226 S.
- (5) Buchter B., Häusler S., Schulin R., Weisskopf P., Tobias S., 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. BGS Dokument 13, 56 S.
- (6) Lebert M., 1989. Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Band 12. Bayreuther Bodenkundliche Berichte, 131 S.
- (7) Osetinsky A., Shmulevich I., 2004. Traction Performance Simulation of a Pushed/Pulled Driven Wheel. *Transactions of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 47(4). 981–994.
- (8) Diserens E., Battiato A., 2013. Handbuch zur Excel-Applikation TASC V3.0.xlsm, 134 S.
- (9) Battiato A., 2012. Tyres, drawbar pull and trafficability: new ways to assess soil vulnerability. Final report. June 2012. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen, 82 p.

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführte Beratung für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte beziehen Sie direkt bei ART:
Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, doku@art.admin.ch, www.agroscope.ch

- | | | | |
|-----------|---|-----------|---|
| ZH | Berger Stephan, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 058 105 99 52
Blum Walter, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 058 105 98 24
Mayer Gerd, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 058 105 99 16 | FR | Zwahlen Fabian, Landw. Schule Grangeneuve
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50 |
| BE | Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 51 54 | SO | Ziörjen Fritz, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 061 552 21 40 |
| LU | Moser Anton, BBZN Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Walthert Lukas, BBZN Hohenrain, Sennweidstrasse,
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77 | BL | Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 552 21 40 |
| UR | Hörler Cyrill, LBBZ Seedorf,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66 | SH | Hauser Peter, LBZ Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20 |
| SZ | Landolt Hugo, Landw. Beratung und Weiterbildung,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22 | AI | Landw. Beratungsdienst AI, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76 |
| OW | Amgarten Martin, Amt für Landwirtschaft und
Umwelt, 6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 15
Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16 | AR | Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56 |
| NW | Amt für Landwirtschaft, Kreuzstr. 2,
6371 Stans, Telefon 041 618 40 01 | SG | Lehmann Ueli, Landw. Zentrum SG,
9465 Salez, Telefon 058 228 24 19
Schnider Walter, Landw. Zentrum SG,
9465 Salez, Telefon 058 228 24 15 |
| GL | Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 66 40 | GR | Merk Konrad, LBBZ Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 257 60 38 |
| ZG | Gut Willi, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 54
Villiger Albert, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 59 | AG | Furter Hansjörg, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27 |
| | | TG | Baumgartner Christof, BBZ Arenenberg,
8268 Salenstein, Telefon 071 663 33 06
Christian Eggenberger, BBZ Arenenberg,
8570 Weinfelden, Telefon 071 626 10 58 |
| | | TI | Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53 |
| | | | AGRIDEA
Abteilung Landtechnik,
8315 Lindau, Telefon 052 354 97 00 |

