

Einfluss der Zuckerrübenenernte auf die Bodenstruktur (Modul 3)

Untersuchung mit Terranimo und der Spatenprobe

Jeremias Niggli, Oktober 2019

I. Einleitung

In der Bio-Zuckerrübenanbau wird als grosse Herausforderung oft an erster Stelle die manuelle Unkrautregulierung genannt. Um einen wirtschaftlichen Anbau zu gewährleisten, muss die Anzahl Handarbeitsstunden möglichst gering sein.

Ein weiterer, oft etwas vergessener Punkt ist die bodenschonende Ernte. In der Praxis haben sich grosse 6-reihige Vollernter durchgesetzt, welche bei voller Beladung ein Gesamtgewicht zwischen 40 und 60 Tonnen aufweisen. Diese hohen Maschinengewichte sind gleichzeitig auch ein gewichtiger Kritikpunkt am modernen Zuckerrübenanbau. Besonders beim Einsatz in Hanglagen, am Vorgewende oder bei feuchten, ungünstigen Bodenverhältnissen kann es sehr zu massiven Schädigungen der Bodenstruktur kommen. Dies ist weder im konventionellen noch im Bio-Anbau erwünscht. Da die biologisch produzierten Rüben zu Beginn der Kampagne gerodet und verarbeitet werden, ist die Ernte meistens bei guten, trockenen Bedingungen möglich. Dies ist daher ein Vorteil der Bio-Rübenproduktion gegenüber dem konventionellen Anbau.

Um einen Eindruck von den Auswirkungen der Zuckerrübenenernte auf die Bodenstruktur zu bekommen, wurden bei drei gängigen Ernteverfahren (einreihig und zweireihig vom Traktor gezogen und sechstreihiger Vollernter) Spatenproben vor und nach der Durchfahrt gemacht und miteinander verglichen. Zusätzlich wurde der Bodendruck der Maschinen mit dem Programm „Terranimo“ berechnet.

Die Praxisuntersuchungen wurden an drei verschiedenen Standorten, auf unterschiedlichen Böden und zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemacht. Von daher ist klar, dass ein direkter Vergleich schwierig ist. Trotzdem ist es wichtig, die möglichen Auswirkungen der verschiedenen Verfahren aufzuzeigen und zu diskutieren. Für den praktischen Einsatz dieser Maschinen ist es primär wichtig, die Bedingungen am eigenen Standort zu kennen und abschätzen zu können, ob und mit welchen Maschinen geerntet werden kann. Da es in einzelnen Anbauregionen fast nur noch 6-reihige Vollernter gibt, kann sich die Suche nach Alternativen jedoch schwierig gestalten.

2. Bodenverdichtung – Herausforderungen

2.1 Grundlagen

Die zumutbare Druckbelastung auf den Boden ist begrenzt. Wird sie überschritten, wird der Boden verdichtet, es entstehen Bodenverdichtungen. Dadurch verliert der Boden seine Ertragsfähigkeit. Die Entstehung von Bodenverdichtungen hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Die durch das Befahren des Bodens verursachte **Druckbelastung** ist abhängig von der Radlast und von der Auflagefläche (Marke und Typ des Reifens, Reifeninnendruck, etc.)
- Die **Bodenfestigkeit** ist abhängig von der Bodenfeuchtigkeit und vom Tongehalt des Bodens

Das Risiko für Bodenverdichtungen hat in den letzten Jahren zugenommen, da das Gewicht der immatrikulierten landwirtschaftlichen Traktoren ebenfalls zugenommen hat.

Wenn von Bodenverdichtung gesprochen wird, muss zwischen Oberboden- und Unterbodenverdichtung unterschieden werden. Die Grenze zwischen Ober- und Unterboden wird meistens bei einer Tiefe von 25cm ab Bodenoberfläche gezogen. Der Oberboden wird durch Mikroorganismen, durch Pflanzenwurzeln und durch organische Substanz stabilisiert und ist weniger verdichtungsanfällig. Zudem können allfällige Verdichtungen mechanisch gelockert und z.B. durch die Ansaat von Gründüngungen oder Kunstwiesen stabilisiert werden. Der Unterboden ist weniger durchwurzelt, weniger belebt und der Gehalt an organischer Substanz ist gering. All diese Faktoren führen dazu, dass der Unterboden viel verdichtungsanfälliger ist als der Oberboden. Eine mechanische Lockerung und vor allem eine anschliessende „Lebendverbauung“ durch Pflanzen ist zudem viel schwieriger. Es gilt deshalb, Bodenverdichtungen grundsätzlich und Unterbodenverdichtungen im Speziellen zu vermeiden.

Unterbodenverdichtungen sind in dem Moment, in dem sie entstehen (also z.B. bei der Zuckerrübenenernte mit einem schweren Vollernter und nassen Bedingungen), oft weniger deutlich zu erkennen als Verdichtungen im Oberboden, welche durch Fahrspuren (Rillen) sehr gut zu erkennen sind.

Je nach Standort, Bodenart und Feuchtigkeit ist das Verdichtungsrisiko unterschiedlich: Ein schwerer, toniger Boden ist bei gleicher Feuchtigkeit viel verdichtungsgefährdeter als ein leichter, sandiger Boden. Schwere, tonhaltige Böden sind im trockenen Zustand hart und tragfähig, feucht können sie bei unsachgemässer Bewirtschaftung jedoch irreparabel verdichtet werden.

Neben dem Druck (also dem Gewicht und der Auflagefläche), mit dem über einen Boden gefahren wird, ist auch die Anzahl der Überfahrten entscheidend. Wird ein Boden bei ungünstigen Bedingungen mehrmals überfahren, kann auch mit einer leichten Maschine die Bodenstruktur negativ beeinflusst werden, da die Tragfähigkeit des

Bodens durch die mehrfachen Überfahrten abnimmt. Dies ist besonders bei der Ernte von Gemüse, Kartoffeln, Rüben oder Karotten ein Faktor, der unbedingt berücksichtigt werden muss.

2.2 Folgen von Bodenverdichtungen

Infolge von Verdichtungen nimmt vor allem der Anteil an Grobporen ab. Durch die Unterbrechung der Porengänge wird im Boden der Transport und Austausch von Wasser und Luft eingeschränkt. Dies führt bei grossen Niederschlagsmengen zu Sauerstoffmangel und fördert Fäulnis sowie Stickstoffverluste durch Denitrifikation. Bei starken Unterbodenverdichtungen können die Pflanzen den Unterboden als Nährstoff- und Wasserreserve nicht anzapfen, wodurch sie in Trockenperioden eher an Nährstoff- und Wassermangel leiden.

Verdichtete Böden führen bei starken Niederschlägen zu Hochwasser und Erosion, weil das Wasser nicht versickern kann, sondern oberflächlich abfliesst. Aufgrund von Erosion wird hochwertiger Oberboden weggeschwemmt, wodurch die Fruchtbarkeit der betroffenen Parzelle abnimmt und es zu Nährstoffeinträgen in sensible Ökosysteme oder Gewässer kommen kann. Verdichtete Böden trockenen aufgrund der schlechten Versickerung weniger schnell ab, was dazu führt, dass der Boden beim nächsten Befahren ebenfalls zu wenig trocken ist. Dies erhöht wiederum die Verdichtungsgefahr.

2.3 Verdichtungen vermeiden

Verdichtungen entstehen beim Befahren von nassen Böden, bei hohen Radlasten oder bei einer Kombination von beidem. Unterbodenverdichtungen werden durch die normale Bodenbearbeitung (Grubber, Pflug) nicht beseitigt. Deshalb ist es wichtig, sie zu verhindern. Neben dem Befahren zu geeigneten Zeitpunkten gibt es auch technische Lösungsmöglichkeiten. Dazu gehört der Einsatz leichterer Maschinen oder das Reduzieren des Gesamtgewichts einer Maschine, zum Beispiel durch das häufigere Leeren des Bunkers. Breite Reifen sind nur eine Lösung, wenn die Radlast nicht gleichzeitig zunimmt. Nach dem Einsatz des Pflugs ist die Gefahr von Verdichtungen im Unterboden gross, weil der Oberboden wenig tragfähig ist und dadurch der Druck nicht abgebaut wird. Dies wird zum Beispiel beim Gülleausbringen über ein frisch gepflügtes Feld oder bei der Silomaisernte in einem nassen Herbst sehr deutlich sichtbar.

Um nachhaltig leistungsfähige Böden zu erhalten, sollen Verdichtungen auf jeden Fall vermieden werden. Dies ist in der Theorie jedoch einfacher als in der Praxis. Damit das Säen und Ernten zum richtigen Termin gewährt werden kann, muss teilweise auch bei ungünstige Bedingungen in das Feld gefahren werden, wodurch Verdichtungen begünstigt werden. Durch den regelmässigen Einsatz einfacher Hilfsmittel wie der Spatenprobe könnten jedoch Erkenntnisse aus der bisherigen Bewirtschaftung gewonnen und Folgerungen für die Zukunft gezogen werden.

2.4 Beispiele von Bodenverdichtungen

Um einen Eindruck über die Folgen des Befahrens bei ungünstigen Bedingungen mit schweren Geräten zu erhalten, werden nachfolgend einige Bilder zur Visualisierung gezeigt.

Abb. 1: Der untersuchte Boden in unverdichtetem Zustand: Es handelt sich um einen leichten Sandboden mit 11% Tonanteil. Der Boden ist feinkörnig, weist aufgrund des geringen Tongehalts jedoch keine ausgeprägte Krümelstruktur auf. Die Spatenprobe riecht angenehm erdig, ist gut durchlüftet und hat eine erdig-braune Farbe (27.10.2019).



Abb. 2: Der gleiche Boden an einer stärker befahrenen, verdichteten Stelle. Die feinkörnige Struktur ist nicht mehr sichtbar. Der Boden riecht faulig. Aufgrund der häufigen Durchfahrten wurden die auf der Oberfläche vorhandenen Krümelstrukturen zerstört, wodurch die Oberfläche verschlammte ist. Ebenfalls deutlich zu erkennen ist die Bruchstelle der Pflugsohle auf einer Tiefe von 18 cm (27.10.2019).



Blau-graue Stellen im Boden
deuten auf reduziert
Eisen (=Sauerstoffmangel)
im Boden hin

Regenwurm, der aufgrund
des starken Befahrens und
des Sauerstoffmangels
gestorben ist.

Abb. 3: Blick in den gestörten Boden. Regenwürmer sind aufgrund des Sauerstoffmangels gestorben. Gut sichtbar ist der Sauerstoffmangel auch an den blau-grauen Flecken, welche an verschiedenen Stellen gefunden werden können (27.10.2019).



Abb. 4: Auch auf diesem Bild ist die klumpige Struktur und die verschlammte Oberfläche gut zu erkennen (27.10.2019).

3. Erläuterungen zum Programm „Terranimo“

Mit dem Programm „Terranimo“ ist es möglich, den Bodendruck verschiedener Maschinen und Maschinenkombinationen zu berechnen und dadurch die Gefahr für Verdichtungen im Unter- und Oberboden zu ermitteln. Die Berechnungen mit Terranimo sind an Grundeinstellungen gebunden, welche durch das Programm vorgegeben werden. So können nicht alle beliebigen Maschinen oder Reifen ausgewählt werden. Da die Feuchtigkeit der jeweiligen Böden nur über Fühlproben und nicht über die Messung der Saugspannung ermittelt wurde, wurde auf jeweilige Standardwerte des Programms zurückgegriffen. In jedem Fall wurde versucht, die Standortbedingungen und die eingesetzten Maschinen möglichst genau abzubilden.

Nach der Eingabe aller Grunddaten wird durch das Programm Terranimo eine Grafik gestaltet, die als Entscheidungshilfe dienen soll. Jede Achse oder jedes Rad (Wenn es pro Achse unterschiedliche Radlasten oder Bereifungen gibt) wird durch ein Symbol in der Grafik abgebildet. Aufgrund des Bodendrucks der einzelnen Räder und der Bodenfestigkeit wird bewertet, wie gross das Verdichtungsrisiko ist.

Beträgt der Bodendruck weniger als die Hälfte der Bodenfestigkeit, gibt es keine Verdichtungsgefahr. Das entsprechende Rad/die entsprechende Achse wird in den grünen Bereich eingeteilt. Sobald der Bodendruck eines Rades oder eine Achse die Hälfte der Bodenfestigkeit übersteigt, wechselt das entsprechende Rad/Achse vom grünen in den gelben Bereich. Dies bedeutet, dass das Verdichtungsrisiko beträchtlich ist und die Radlast oder der Luftdruck reduziert werden muss. Übersteigt der Bodendruck die Bodenfestigkeit, wird die betroffene Achse/das betroffene Rad in den roten Bereich eingeteilt. Das bedeutet, dass Verdichtungen im Unterboden zu erwarten sind und das Befahren unterlassen werden muss.

4. Ernte mit dem Einreihler – Schnottwil SO

4.1 Standortbeschreibung

Bei diesem Standort handelt es sich um eine Braunerde mit einer Körnung gemäss Fühlprobe von 16% Ton, 25% Schluff, 59% Sand. Die Rüben wurden am 24.10.2019 geerntet. Da es sich um einen Betrieb im 2. Umstellungsjahr handelt, wurden die Rüben so spät geerntet, da sie noch nicht biologisch vermarktet werden können und deshalb mit den konventionellen Rüben gemeinsam verarbeitet werden. Bei der Ernte der Rüben war der Boden relativ feucht, da es in den sieben Tagen vor der Ernte rund 60mm Niederschlag gegeben hat.

Tab. 1: Technische Daten Erntemaschine

Marke Roder, Gesamtgewicht	Stoll V100/5000 kg
Zugmaschine	Fendt 260S/2700 kg
Gesamtgewicht Traktor & Roder	7700 kg
Bereifung Roder	400/55-22.5
Bereifung Traktor	12.4 R36/9.5 R24

4.2 Berechnung des Bodendrucks mit Terranimo

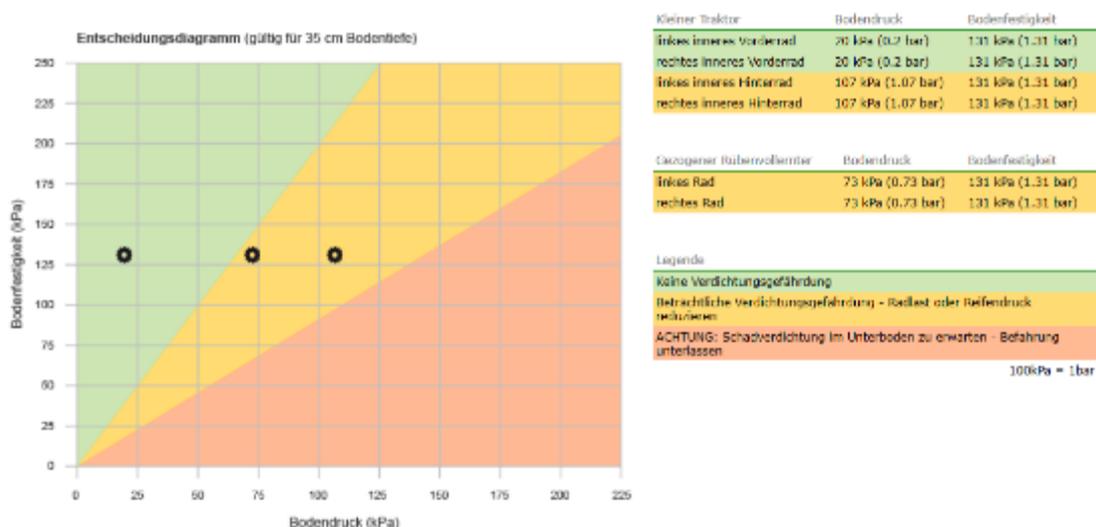


Abb. 5: Entscheidungsdiagramm Terranimo

Das Entscheidungsdiagramm zeigt, dass der Bodendruck auf allen drei Achsen im grünen oder gelben Bereich ist. Der höchste Bodendruck wird mit 1.07 bar auf der Hinterachse des Traktors gemessen. Dies kommt daher, dass der Rübenernter eine relativ grosse Stützlast auf den Traktor überträgt, welche von der Hinterachse getragen

werden muss. Da der Traktor hinten sehr schmal bereift ist, entsteht ein entsprechend hoher Bodendruck. Abhilfe würde eine breitere Bereifung oder Doppelräder schaffen.

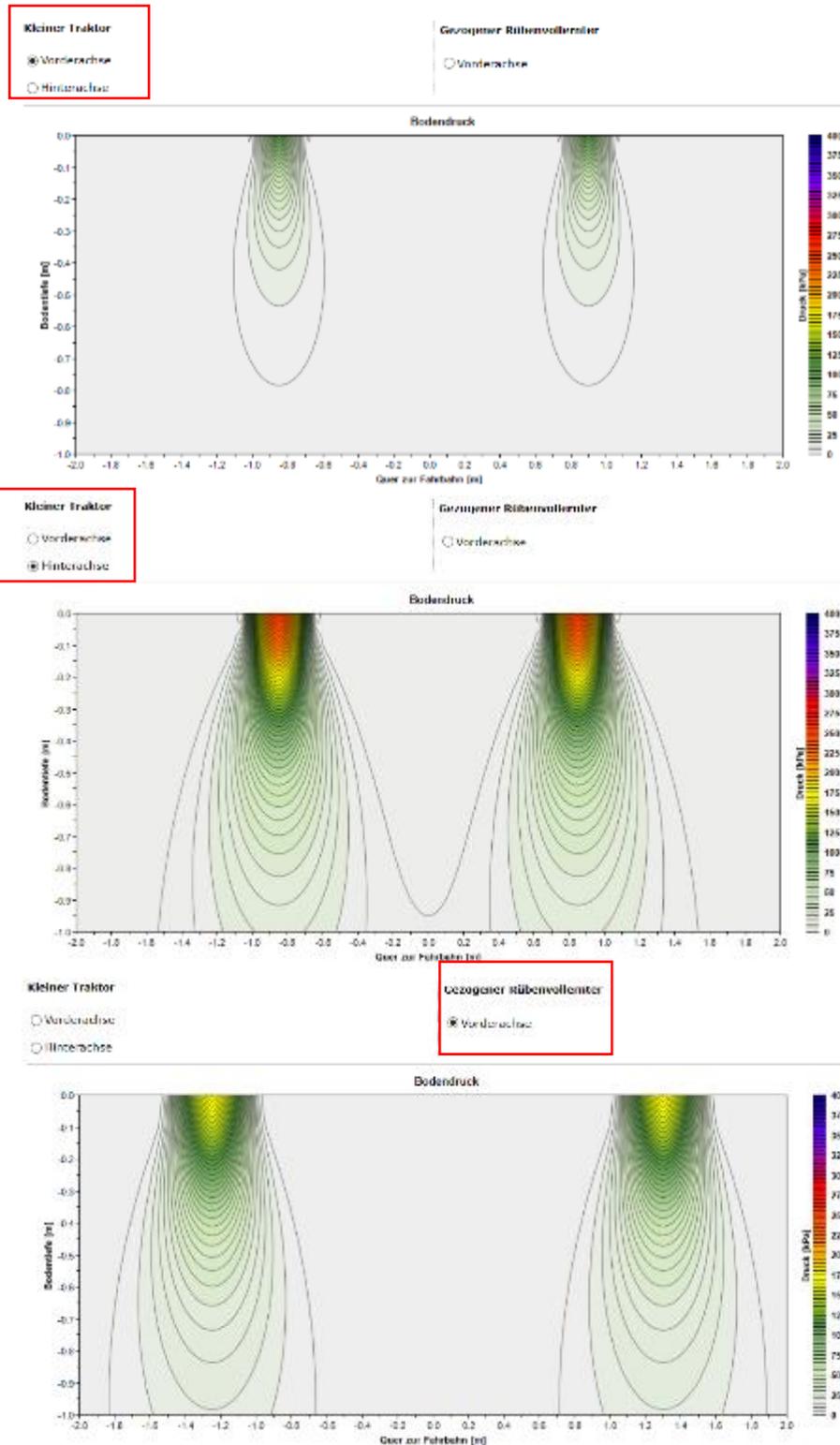


Abb. 6: Druckwiebeln der verschiedenen Achsen

Anhand der Druckzwiebeln kann nachvollzogen werden, in welcher Tiefe welcher Bodendruck zu erwarten ist. Beim gezogenen, einreihigen Rübenroder ist vor allem der Bodendruck der Hinterachse des Traktors aus den oben genannten Gründen problematisch. Der Oberboden wird bis in eine Tiefe von rund 20 cm verdichtet (roter Bereich der Druckzwiebel). Die Verdichtung im Oberboden ist weniger problematisch als eine Unterbodenverdichtung, da sie durch die normale Bodenbearbeitung mit Grubber oder Pflug und der anschliessenden Ansaat einer Kultur wieder gelockert werden kann.

4.3 Auswertung der Spatenprobe



Abb. 7: Spatenprobe vor dem Ernten (Schnottwil, 24.10.2019)



Abb. 8: Abwurfprobe vor dem Ernten (Schnottwil, 24.10.2019).

Die Spatenprobe vor der Ernte zeigt einen lockeren und krümeligen Boden. Die Oberfläche ist aufgrund der vorangegangenen Niederschläge verschlämmt. An der Oberfläche kann jedoch relativ viel Wurm Kot gefunden werden, was auf eine gute Aktivität der Regenwürmer hindeutet. In einer Tiefe von 18-20 cm ist der Übergang von der bearbeiteten zu der unbearbeiteten Schicht zu sehen (Pflugsohle). Die Zuckerrüben wurden zwar pfluglos angebaut, der Übergang ist jedoch aus früheren Pflugeinsätzen noch zu erkennen. Die Farbe der Spatenprobe ist regelmässig, es sind keine Anzeichen auf Sauerstoffmangel zu erkennen. Der Geruch ist normal erdig. Bei der Abwurfprobe zerfällt der Erdziegel in seine Bestandteile.



Abb. 9: Spatenprobe nach der Ernte (Schnottwil, 24.10.2019).



Oberste Bodenschicht. Durch Erntearbeiten kompaktiert.

Pflugschicht – Übergang Ober- zum Unterboden.

Abb. 10: Abwurfprobe nach der Ernte (Schnottwil, 24.10.2019).

Anhand der Spatenprobe nach der Ernte ist zu erkennen, dass auch die Ernte mit einem sehr leichten, einreihigen Vollernter Veränderungen in der Bodenstruktur bewirken kann. Die Verdichtungen in den obersten 10-15 cm sind bei der Abwurfprobe besonders deutlich zu sehen. Auch weiter unten zerfällt der Boden in deutlich grössere, kantige Aggregate.

4.4 Bilddokumentation



Abb. 11: Leichte, kompakte Erntemaschine (Schnottwil, 24.10.2019).



Abb. 12: Aufgrund des feuchten Bodens kann es auch beim Einsatz einer leichten Maschine Fahrspuren geben (Schnottwil, 24.10.2019).



Abb. 13: Die mehrmalige Durchfahrt führt zu einer grösseren Bodenbelastung (Schnottwil, 24.10.2019).



Abb. 14: Besonders im Bereich der Rübenmiete wird der Boden stark belastet (Schnottwil, 24.10.2019).

5. Ernte mit dem Zweireiher – Schafisheim AG

5.1 Standortbeschreibung

Bei diesem Standort handelt es sich um einen sehr leichten Schwemmlandboden. Die Parabraunerde mit einer Körnung gemäss Fühlprobe von 15% Ton, 30% Schluff, 55% Sand. Die Rüben wurden am 27.09.2019 geerntet. Der Boden war an diesem Standort leicht feucht. Aufgrund des kiesigen Untergrunds ist dieser Boden gut tragfähig.

Tab. 2: Technische Daten Erntemaschine

Marke Roder, Gesamtgewicht	TIM KRB S212/15'000 kg
Zugmaschine	Fendt 818/7'000 kg
Gesamtgewicht Traktor & Roder	22'000 kg
Bereifung Roder	600/60-30,5, 1 bar
Bereifung Traktor	650/65R38, 1.1 bar 540/65R28, 1.2 bar

5.2 Berechnung des Bodendrucks mit Terranimo

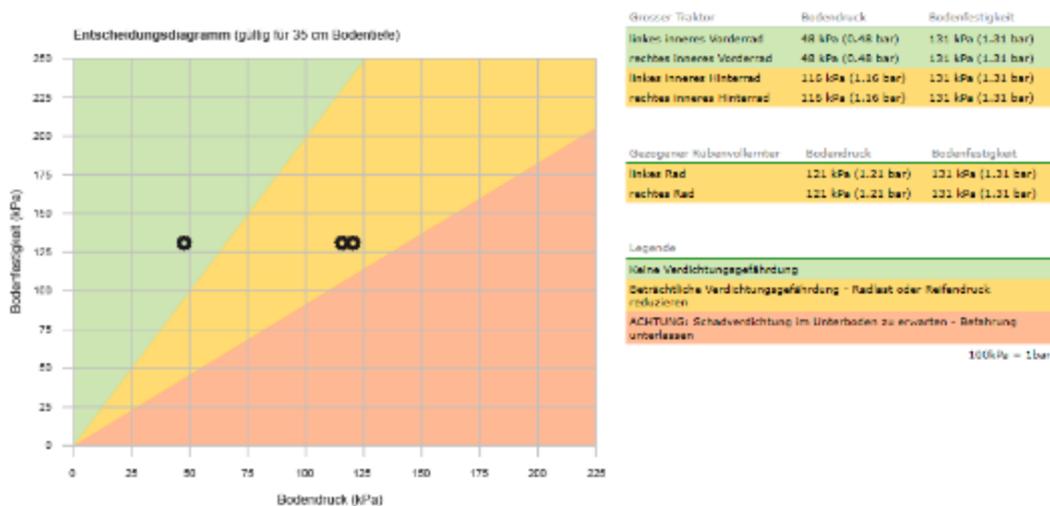


Abb. 15: Entscheidungsdiagramm Terranimo

Das Entscheidungsdiagramm zeigt, dass der Bodendruck auf allen drei Achsen im grünen oder gelben Bereich ist. Der höchste Bodendruck wird mit 1.21 bar auf der Achse des Zuckerrüben-Vollernters gemessen. Der zweithöchste Druck wird von der Traktor-Hinterachse auf den Boden übertragen, weil der Rübenernter eine relativ grosse Stützlast auf den Traktor überträgt. Optimiert werden könnte der Bodendruck durch das Reduzieren des Reifeninnendrucks oder durch die Montage breiterer Reifen beim Rübenroder, wobei die maximal mögliche Breite beachtet werden muss und die Montage breiterer Reifen dadurch beschränkt ist.

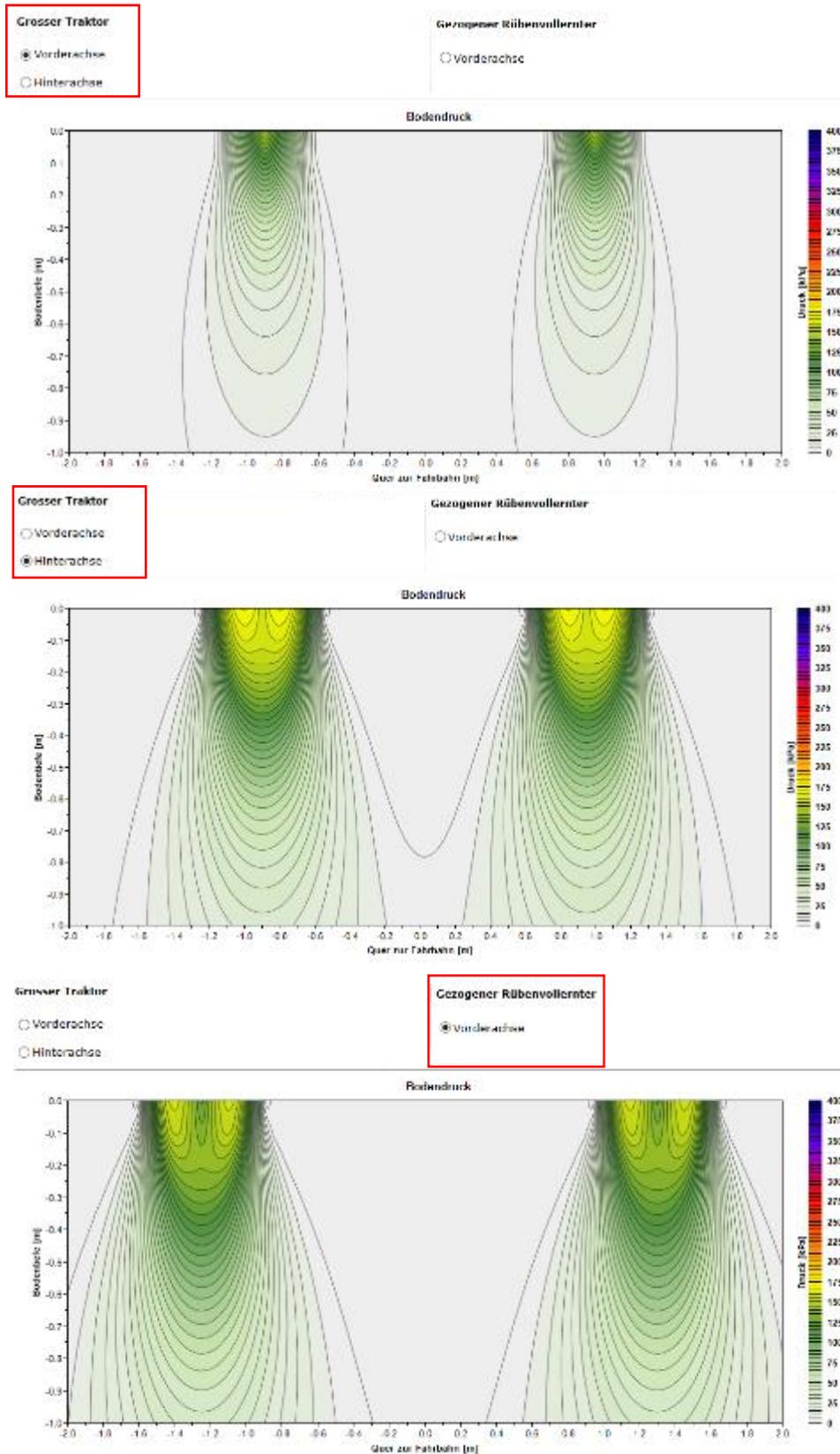


Abb. 2: Druckwiebeln der verschiedenen Achsen.

Es ist zu erkennen, dass die Druckzwiebeln beim Rübenroder leicht grösser als bei der Hinterachse des Traktors sind. Sowohl beim Rübenroder als auch bei der Hinterachse des Traktors sind in den obersten Bodenschichten zwei Druckzwiebeln zu erkennen, welche sich in grösserer Tiefe zu einer Druckzwiebel vereinen. Das kommt daher, dass ein Teil des Gewichts auch über die Reifenflanken übertragen wird. Die Bodenbelastung in die Tiefe ist beim Traktor grösser als beim Vollernter. Beim Traktor könnte zusätzlich Luft abgelassen werden, um die Aufstandsfläche zu vergrössern.

Die entstandenen Bodenverdichtungen reichen bis in eine Tiefe, in der sie durch die nachfolgende Bearbeitung mit einem Grubber wieder aufgebrochen werden können. Wichtig ist, dass der Boden danach mit einer Kultur belegt wird, damit die Wurzeln das Bodengefüge stabilisieren können.

5.3 Auswertung der Spatenprobe



Abb. 16: Die Spatenprobe vor der Ernte (Schafisheim, 27.09.2019).

Bei der Spatenprobe zeigt sich, dass die obersten 5 cm des Bodens relativ kompakt sind. Dies kommt wahrscheinlich daher, dass der Boden zwischen den Rüben lange unbedeckt war und intensiv mechanisch bearbeitet wurde. Es handelt sich mehrheitlich um ein Einzelkorngefüge, zum Teil sind Bröckel und Polyeder zu erkennen. Der Boden riecht angenehm erdig, er ist regelmässig gefärbt und es sind keine Verfärbungen zu erkennen, welche auf einen Sauerstoffmangel hindeuten würden.



Abb. 17: Spatenprobe nach der Ernte (Schafisheim, 27.09.2019).



Abb. 18: Abwurfprobe nach der Ernte (Schafisheim, 27.09.2019).

Auf der Spatenprobe und auch auf der Abwurfprobe ist zu erkennen, dass der Boden in den obersten 20 cm verdichtet ist. Beim Abwerfen zerfällt der obere Teil nicht, es bleiben mehrere, faustgrosse Klumpen bestehen (siehe Abb. 18). Aufgrund des geringen Tongehaltes ist der Boden jedoch nicht verknetet, sondern nur zusammengedrückt. In der Bodenschicht weiter unten (tiefer als 20cm) bleibt dasselbe Gefüge wie vor der Durchfahrt mit dem Rübenroder bestehen.

5.4 Bilddokumentation



Abb. 19: Der zweireihige Rübenroder im Einsatz (Schafisheim, 27.09.2019).



Abb. 20: Beim Roden mit ein- und zweireihigen Maschinen wird ein grosser Teil der Fläche mehrmals überfahren, wodurch die Gefahr von Verdichtungen zunimmt (Schafisheim, 27.09.2019).



Abb. 31: Der Bereich des Vorgewendes wird besonders oft überfahren. Abhilfe schaffen könnte das Anlegen eines mehrjährigen Grasstreifens (Schafisheim, 27.09.2019).

6. Ernte mit dem Sechstreicher – Hersiwil SO

6.1 Standortbeschreibung

Bei diesem Standort handelt es sich um eine typische Braunerde mit einer Körnung gemäss Fühlprobe von 28% Ton, 20% Schluff, 52% Sand. Die Rüben wurden am 27.09.2019 geerntet. Der Boden war an diesem Standort feucht.

Die Ernte in Hersiwil konnte leider nicht live verfolgt werden. Die Spatenproben wurden drei Tage nach dem Roden gemacht. Die Referenzprobe („vor der Ernte“) wurde gleichzeitig neben einem Schacht gemacht, wo der Rübenroder nicht durchgefahren ist.

Marke	Holmer Terra Dos T4
Gesamtgewicht Roder	45'800 kg
Bereifung Roder	1000/50R25, 1.8 bar (hinten) 1050/50R32, 2.8 bar (mitte) 800/70R32, 2.2 bar (vorne)

6.2 Berechnung des Bodendrucks mit Terranimo

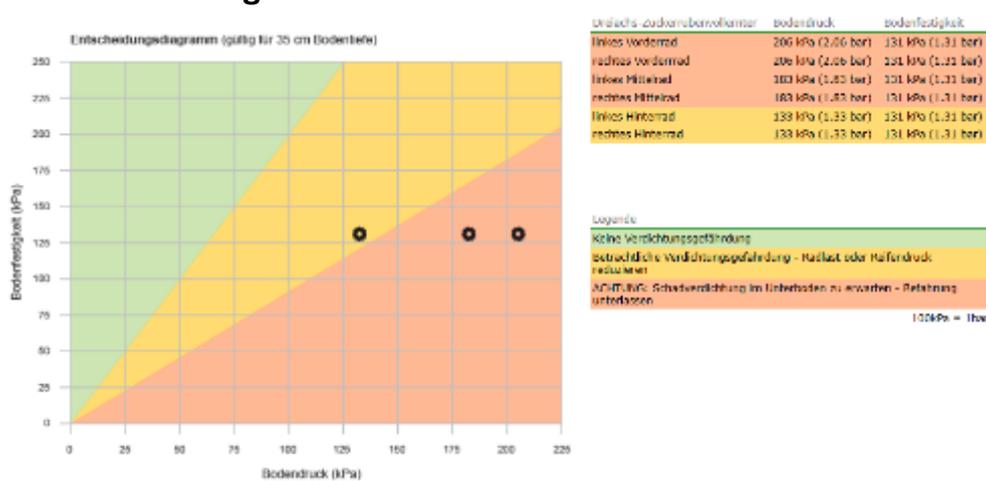
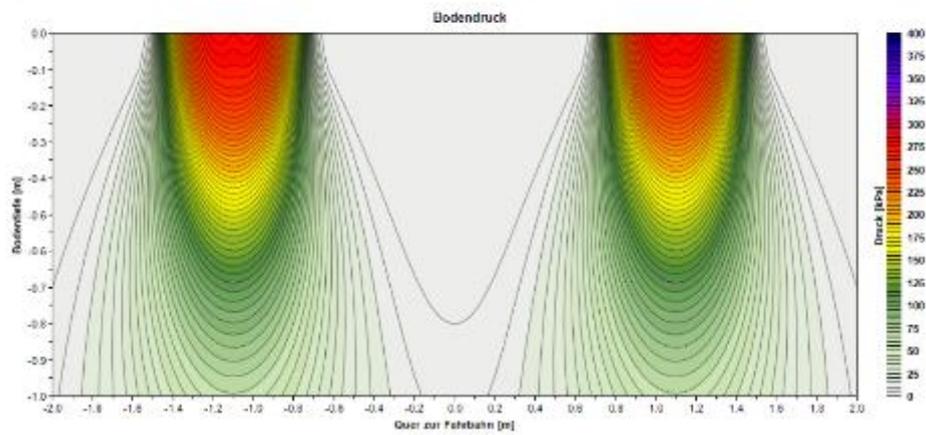


Abb. 32: Entscheidungsdiagramm Terranimo

Das Entscheidungsdiagramm zeigt, dass der Bodendruck auf der vorderen und mittleren Achse im roten Bereich ist. Die hinterste Achse ist knapp im gelben Bereich. Aufgrund des hohen Gesamtgewichts des Roderes ist es nicht möglich, das Gewicht trotz der breiten Bereifung auf dem Boden abzustützen, ohne dass es zu Unterbodenverdichtungen kommt. Optimiert werden könnte der Bodendruck durch das Reduzieren des Reifeninnendrucks, wobei dies je nach Zuladung nicht möglich ist, weil sonst die Reifen von der Felge springen könnten. Durch das häufigere Abbunkern kann verhindert werden, dass der Roder vollbeladen über das Feld fährt.

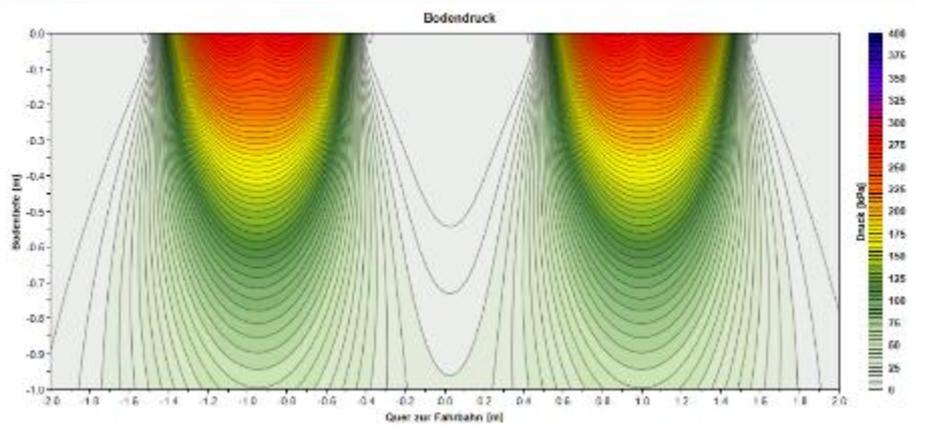
Dreilachs-Zuckerrübenvollernter

- Vorderachse
- Mittelachse
- Hinterachse



Dreilachs-Zuckerrübenvollernter

- Vorderachse
- Mittelachse
- Hinterachse



Dreilachs-Zuckerrübenvollernter

- Vorderachse
- Mittelachse
- Hinterachse

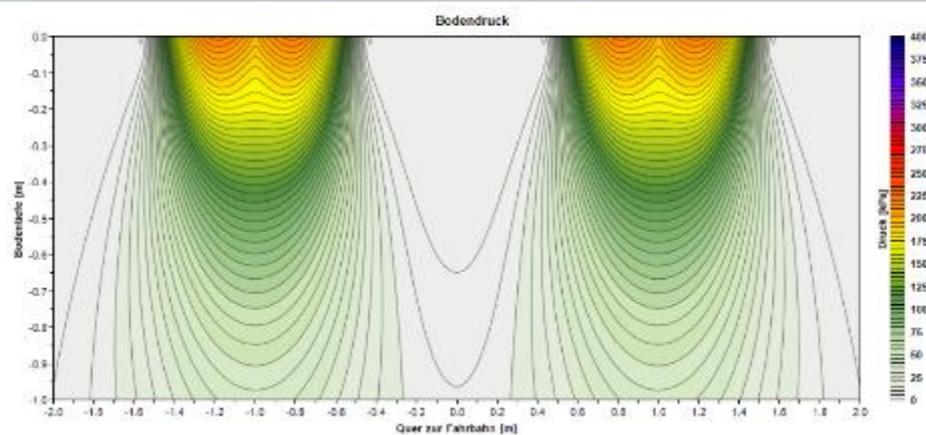


Abb. 33: Druckzwiebeln der verschiedenen Achsen

Anhand der Druckzwiebeln ist zu erkennen, dass der Bodendruck vor allem bei der vorderen und mittleren Achse bis in eine grosse Tiefe reicht. Diese Unterbodenverdichtungen werden bei einer gewöhnlichen, nachfolgenden Bodenbearbeitung nicht erfasst. Die Verdichtungen müssten mit einem Tiefenlockerer gelockert werden. Durch die anschliessende Ansaat einer tiefwurzelnden Kultur werden die Lockerungsschlitze und damit das ganze Bodengefüge stabilisiert.

6.3 Auswertung der Spatenprobe



Abb. 34: Spatenprobe unbefahren (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 35: Abwurfprobe unbefahren (Hersiwil, 30.09.2019).

Bei der Parzelle in Hersiwil handelt es sich um eine Fläche, welche 2004 im Rahmen des Baus der Neubaustrecke Mattstetten-Rothrist rekultiviert wurde. Die Struktur rekultivierter Böden unterscheidet sich oft von derjenigen natürlich gewachsener Böden. Dies kann besonders bei schlecht durchgeführten Rekultivierungen einschneidend sein und sich auf den Ertrag und die Bearbeitbarkeit auswirken. Bei der Interpretation der Spatenproben ist dies zu berücksichtigen.

Die Spatenprobe im Kontrollfenster, welches nicht befahren wurde, zeigt, dass der Boden krümelig, aber kompakt ist. Nach 10 cm wechselt das krümelige in ein eher bröckeliges Gefüge. Diese Struktur bleibt bis in eine Tiefe von 45 cm (Tiefe der Spatenprobe) so erhalten. Der Übergang zwischen dem Pflughorizont und dem Unterboden ist erkennbar. Der Boden riecht angenehm erdig. Die Farbe ist regelmässig braun, farblich sind keine Hinweise auf Verdichtungen oder andere Strukturschäden sichtbar. Bei der Abwurfprobe bleibt die Spatenprobe kompakt, im Unterboden werden die Klumpen gut sichtbar.



Abb. 36: Spatenprobe nach der Ernte (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 37: Abwurfprobe nach der Ernte (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 38: Plattige, bröckelige Struktur im Oberboden (Hersiwil, 30.09.2019).

Bei der Spatenprobe nach der Ernte ist zu sehen, dass der gesamte beprobte Ziegel deutlich kompakter ist als in der Kontrolle, welche nicht befahren wurde. Es sind plattige Strukturen zu erkennen, welche durch das Befahren mit der schweren Maschine entstanden sind (Abb. 38). Die krümeligen Strukturen der Kontrolle sind nicht mehr zu erkennen. Da es nach der Ernte rund 15mm geregnet hat, wurden die zerdrückten Bodenkrümel durch den auf die nackte Bodenoberfläche fallenden Regen aufgelöst, wodurch es zur Verschlammung kam. Dies ist an der hellen Farbe (Sand) gut sichtbar. Durch die verschlammte Oberfläche kann Wasser schlechter versickern, wodurch dieses oberflächlich abläuft und die Erosion begünstigt wird. Der Geruch des Bodens war nicht auffällig anders als in der Kontrolle. Bei der Abwurfprobe zerfällt der Erdziegel in klumpige Strukturen. Die obersten 15 cm sind besonders stark zusammengedrückt und zerfallen bei der Abwurfprobe nicht (Abb. 37).

6.4 Bilddokumentation



Abb. 39: Rübenfeld nach der Ernte (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 40: Nicht tief, dafür stark eingedrückte Fahrspuren (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 41: Verschlammte, verkrustete und gerissene Oberfläche nach einem Niederschlag auf das abgeerntete Rübenfeld (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 42: Auf diesem Bild ist deutlich zu erkennen, dass durch das Befahren mit dem Vollernter die Bodenoberfläche geknetet wurde. (Hersiwil, 30.09.2019).



Abb. 43: Nicht nur die Ernte ist heikel: Das Aufladen mit der Rübenmaus belastet den Boden rund um die Rübenmiete. Da dort auch der Vollernter zum Abbunkern häufig hin- und herfährt, wird in diesem Bereich der Boden besonders stark beansprucht. (Hersiwil, 30.09.2019).

7. Schlussfolgerungen

Mit dem vorliegenden Bericht sollte die Zuckerrübenenernte mit verschiedenen Maschinen an unterschiedlichen Standorten dokumentiert werden. Es ist klar, dass anhand dieses Berichtes keines dieser Verfahren eindeutig bevorzugt oder abgelehnt werden kann, da die Untersuchung an verschiedenen Standorten zu verschiedenen Zeiten durchgeführt wurde. Um einen objektiven Eindruck zu erhalten, müssten die Maschinen auf der gleichen Fläche zum gleichen Zeitpunkt eingesetzt werden. Trotzdem kann ein Eindruck über den Einfluss der verschiedenen Verfahren auf die Bodenstruktur vermittelt werden. Die Unterschiede vor und nach der Ernte sind in den Spatenproben-Vergleichen gut zu erkennen. Da die Spatenprobe jedoch nur 40-45cm tief gestochen werden kann, können die Auswirkungen auf den Unterboden nur beschränkt untersucht werden. Durch die ergänzenden Berechnungen mit dem Programm „Terranimo“ können die Auswirkungen der Ernteverfahren auf die Struktur im Unterboden besser nachvollzogen werden.

Bei der Rübenenernte werden in den meisten Fällen moderne und schwere Maschinen eingesetzt. Besonders in einem nassen Herbst kann der Einsatz dieser Maschinen negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur haben. Verdichtungen im Unterboden sind von Auge und mit dem Spaten nicht zu erkennen und wirken sich auch nicht immer kurzfristig auf den Ertrag aus, sondern können die Bodenfruchtbarkeit schleichend

verschlechtern. Um die Leistungsfähigkeit der Böden langfristig zu erhalten, müssen Verdichtungen verhindert werden. In vielen Fällen kann durch den angepassten Einsatz der Maschinen bereits viel erreicht werden. Dies kann zum Beispiel durch das Verschieben des Einsatzzeitpunktes der Maschinen oder durch die Wahl einer leichteren Maschine geschehen. Andererseits müssen von den RübenproduzentInnen auch Daten und Zeitpunkte eingehalten werden. Dieser Trade-off wird in den meisten Fällen leider zu Ungunsten der Bodenfruchtbarkeit entschieden.

8. Literatur

Die Berechnungen des Bodendrucks wurden mit dem Programm „Terranimo“ gemacht. Dieses Programm steht zur freien Benützung unter <http://www.terranimoworld.com/CH/Default.aspx> zur Verfügung.

Daneben wurde keine Literatur verwendet.