

H. KUIPERS, Wageningen/Niederlande¹

Die Dichte des Bodens und ihre Gleichmäßigkeit als Kennzeichnungsprinzip der Bodenbearbeitung²

Einleitung

Das Ziel der Bodenbearbeitung soll darin bestehen, mehr Nutzen zu ziehen, als Kosten aufgewendet werden. Dieser Nutzen kann entweder in einer Ersparnis von sonst notwendigen Ausgaben bestehen (wenn z. B. durch eine sorgfältige Bodenbearbeitung die Mechanisierung der Kartoffelernte ermöglicht wird) oder in einer Steigerung des Ertrages oder der Qualität.

Im letzten Fall soll man darauf achten, daß nur bei Ausübung einer ziemlich eindeutigen Wirkung auf eine bestimmte Gruppe von Wachstumsfaktoren ein einfacher Zusammenhang mit der Bodenbearbeitung gefunden werden kann. In den Niederlanden liegen aber viele Möglichkeiten vor, da die Beeinflussung durch Luft- oder Wassermangel, durch Unkraut- oder Stickstoffwirkung erfolgt oder auch manchmal von der Wärmeströmung im Boden herrühren kann, und zwar unterschiedlich nach Bodenart, Witterung und Pflanzenart.

Die Kennzeichnung der Ergebnisse einer Bodenbearbeitung soll daher so erfolgen, daß sie die Möglichkeit gibt, den Einfluß auf das Pflanzenwachstum und die Bearbeitungswirkung selbst zu erkennen.

Die Pflugarbeit wird als Auflockerung, Wenden und Mischen beschrieben. Die Wendung geschieht fast nur durch Streichblechpflüge. Bei der Mehrzahl der übrigen Bearbeitungen, wie Eggen, Grubbern, Schleppen, Walzen und Fräsen, handelt es sich nur um ein Auflockern oder Verdichten, Mischen oder Entmischen, Zerkleinern oder Vergrößern von Aggregatgrößen oder Beseitigen von Höhenunterschieden.

Die Wirkung dieser Maßnahmen, ausgenommen die Wendung, kann man sich dadurch kennzeichnen denken, daß die Dichte oder die Homogenität der Verteilung von Boden, Wasser und Luft geändert wird. Würde man auch noch die Verteilung von organischen Bestandteilen im Boden verfolgen, dann wäre es vielleicht möglich, die Wendung mit zu erfassen.

Dichte und Pflanzenwachstum

Die Dichte des Bodens wird in unserem Lande einfach mit Stechzylindern festgestellt. Der Zusammenhang zwischen Dichte und Feldkapazität ermöglicht für tonige Böden mitunter eine Diagnose, wie ich an einem Beispiel erörtern möchte. Die Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Feldkapazität (das heißt hier Wassergehalt auf Trockensubstanz bezogen bei einer Saugspannung von 80 cm Wassersäule, also pF 1,9) und Porenvolumen auf einem schweren Tonboden. Die eine Hälfte der Parzelle war mit einer holländischen Spatenmaschine bearbeitet

¹ Ir. H. KUIPERS, Abteilung Bodenbearbeitung der Landwirtschaftlichen Universität, Wageningen/Niederlande, Dr. S. L. Mansholtlaan 12

² Die Untersuchungen wurden ausgeführt im Institut für Bodenfruchtbarkeit, Groningen, v.-Hall-Str. 3

worden, die andere war wesentlich später unter äußerst schlechten Bedingungen gepflügt worden. Der Sommerweizen stand auf dem gespateten Teil sehr viel besser als auf dem gepflügten Teil. In der Darstellung ist ersichtlich, daß die Punkte der gespateten Variante keinen Zusammenhang aufweisen.

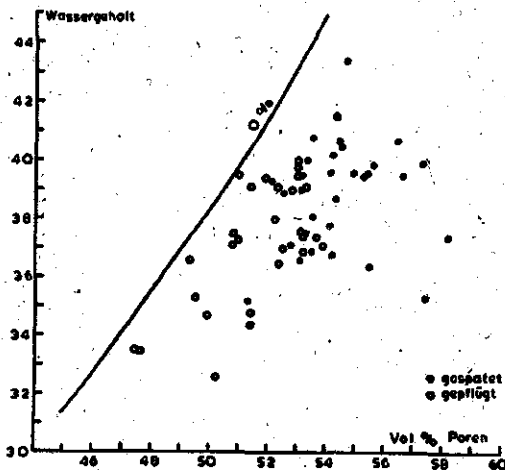


Abb. 1

Im allgemeinen ist auch die Feldkapazität nur wenig vom Porenvolumen abhängig. Die Punkte der gepflügten Variante aber lagern sich ganz deutlich parallel zur angegebenen Linie. Diese Linie zeigt, bei welchem Feuchtigkeitsgehalt der Luftgehalt gleich Null wäre. Dieser Feuchtigkeitsgehalt wird nicht ganz erreicht, denn es bleibt immer Luft eingeschlossen. Es ist also deutlich ersichtlich, daß die etwas dichtere Lagerung auf dem in sehr feuchtem Zustand gepflügten Teil für die Durchlüftung des Bodens sehr un-

günstig sein kann. Solche Bedingungen sind unter dem humiden Klima unseres Landes öfter gegeben.

Für trockenere Verhältnisse, wie sie auf unseren Sandböden bestehen, wollen wir den Zusammenhang mit der kapillaren Leitfähigkeit studieren.

Dichte und Bodenbearbeitung

Im Anschluß an die Bodenbearbeitung fehlen Meßwerte, wenn gleich nach einer Bearbeitung keine Stechzylinderproben entnommen werden können. Wir versuchen dann die Aufschüttung und die Bearbeitungstiefe zu messen. Dazu verwenden wir das Reliefmeßgerät, das in den Abbildungen 2 und 3 gezeigt wird.

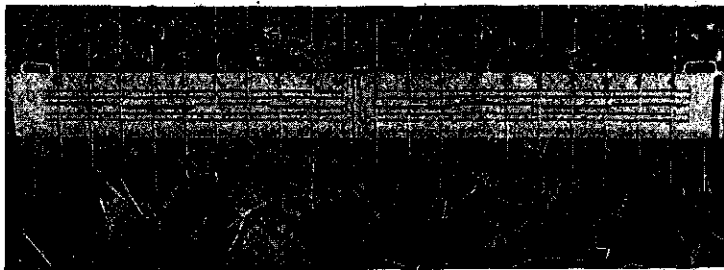


Abb. 2

Es kann mit einer aufmontierten Wasserwaage genau waagrecht eingestellt werden. 20 Nadeln in je 10 cm Entfernung geben die Höhenunterschiede der Bodenoberfläche in Zentimetern mittels einer auf dem Brett angegebenen Skala und Farbunterschieden auf den Nadeln an. An fünf Stellen auf dem un-

gepflügten Land werden mit dem Gerät je sechs Pfähle auf dieselbe Höhe eingestellt (Abbildung 4).

Die quer zur Furchenrichtung gemessenen Höhen werden aufgeschrieben (an vier Stellen). Man bekommt so $5 \times 4 \times 20 = 400$ Höhenwerte. Wenn die Pflugfurche bis an die Pfähle vorgerückt ist, werden je zwei vorübergehend herausgezogen und mit dem Reliefmeßgerät über die offene Furche hin auf dem gepflügten Land wieder auf derselben Stelle und in derselben Höhe eingeschlagen. Dabei nimmt man in der offenen Furche Höhenmessungen zur Bestimmung der mittleren Arbeitstiefe vor. Wenn alle Pfähle auf dem gepflügten Land stehen, können wieder an denselben Stellen wie vor dem Pflügen die Höhenunterschiede der Bodenoberfläche gemessen werden. Man bekommt also 400 Höhenwerte vor und nach dem Pflügen auf etwa denselben Stellen. Daraus errechnen sich

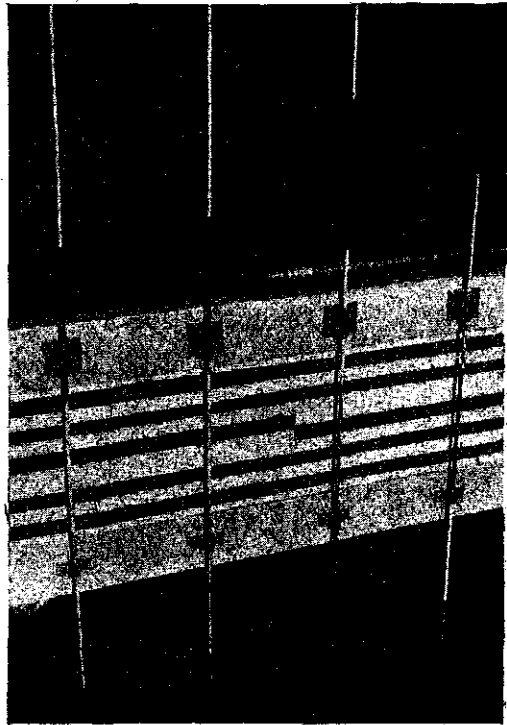


Abb. 3

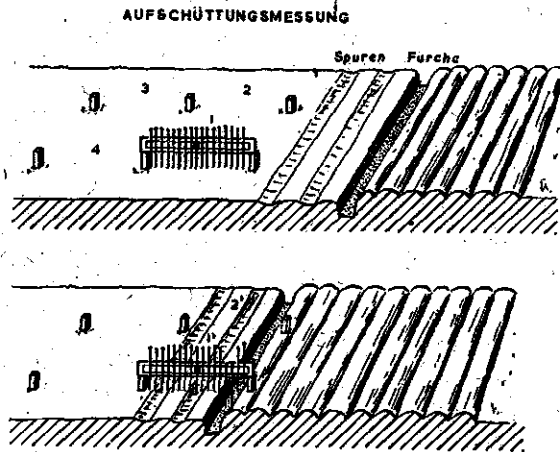


Abb. 4

400 Werte für die Aufschüttung, die z. B. von -20 cm bis $+30$ cm variieren. Man braucht aber auch in den meisten Fällen so viele Zahlen, um eine ausreichende Zuverlässigkeit der Werte zu erreichen.

Nach der Messung bleiben die Pfähle auf dem Felde, und es wird der Höhenunterschied jeder Gruppe zu einer unmittelbar unter der Bearbeitungsgrenze eingegrabenen Platte festgestellt, damit eine Messung der Höhe der Bodenoberfläche im Frühjahr vor der Bestellung nochmals erfolgen kann. Die Höhenlage jeder Gruppe von Pfählen soll man natürlich bis auf Millimeter festlegen. Leider hat es daran in diesem ersten Jahre noch etwas gemangelt, aber das ist leicht zu ändern. Während der Frühjahrsbestellung werden die Pfähle am besten vorübergehend durch Weidenruten ersetzt. Die mittleren Höhenwerte, die Werte der Bearbeitungstiefe und der Bestimmung der Dichte vor dem Pflügen gestatten es, die Dichte im Laufe des Jahres rechnerisch zu verfolgen. Nach der Frühjahrsbestellung kann man dann die Ergebnisse mit Stechzylindern kontrollieren.

Die Heterogenität der Bodenstruktur

Als zweites Kennzeichnungsprinzip ist die Heterogenität der Verteilung von Bodensubstanz, Wasser und Luft genannt worden. Die Heterogenität hat viele Aspekte und äußert sich z. B. in der Scholligkeit der Böden, wie man sie durch ein Feldsiebverfahren z. B. in Kartoffeldämmen festlegen kann. Sie äußert sich weiterhin in der Oberflächengestaltung, im Ausmaß der Höhenunterschiede und in Dichteschwankungen, wie sie durch Radschpuren hervorgerufen werden. Wenn z. B. die Rübenenernte vollmechanisiert ist, lassen sich nach der Ernte an der Stelle, wo die Rüben ausgezogen worden sind, ganz lockere und daneben völlig zerfahrene Streifen finden. Wir fanden z. B. auf einer Rübenparzelle, daß sich zwar die mittlere Dichte während der Ernte nicht geändert hatte, daß aber der mittlere Fehler der Porenvolumenbestimmung von 1,33 bis auf 2,18 Vol.-% pro 100 cm³ Boden angestiegen war. Das heißt also, daß der Boden zum Teil verdichtet, zum Teil gelockert ist, die Heterogenität hat somit stark zugenommen. Wenn sich daher auf Grund der mittleren Dichte nicht die Notwendigkeit einer Lockerung zeigt, so könnte sich aus der Streuung der Ergebnisse die Forderung nach einer Homogenisierung ergeben. Schon die Oberflächengestaltung kann z. B. auf stark zerfahrenen Böden eine Bearbeitung erfordern. Besonders deutlich ist dies auch auf gepflügtem Land. Der Einfluß der Homogenität auf das Pflanzenwachstum kann z. B. aus ungleichmäßiger Saattiefe oder aus Störungen der Wasser- und Luftbewegung resultieren.

Die Kennzeichnung der Heterogenität

Das schon gezeigte Reliefmeßgerät ist eigentlich zur Kennzeichnung der Oberflächengestaltung entwickelt worden. Bei der Messung der Aufschüttung bekommt man 400 Höhenwerte auf dem gepflügten Land. Diese Zahlen sind zwar nicht alle auf dieselbe Höhe bezogen, aber man kann jeder Gruppe denselben Mittelwert geben. Es hat sich gezeigt, daß die 400 Zahlen praktisch eine GAUSSsche Verteilung ergeben, die man also durch einen mittleren Fehler s umschreiben kann. Wenn s in Zentimetern bestimmt wird, erhalten wir die Rauheitszahl: $100 \log s$. Dies hat den Vorteil, daß man einfache Zahlen von 10 bis 100 bekommt, und daß die Zuverlässigkeit über die ganze Skala die gleiche ist.

Im allgemeinen ist ein Unterschied von 5 mit 95% gesichert. Die Messung der 400 Zahlen erfolgt von zwei Personen innerhalb einer halben Stunde, die Auswertung durch eine Person beansprucht im Höchsfalle die gleiche Zeit, da man den mittleren Fehler errechnen kann, wenn man den mittleren Unterschied zwischen höchstem

und niedrigstem Wert von je zehn aufeinanderfolgenden Zahlen durch 3,078 teilt. Die Berechnung erfolgt also aus der Streuungsbreite.

Wie die Ermittlung der Dichte des Bodens kurz nach einer Bearbeitung durch die Bestimmung der Höhe der Bodenoberfläche ersetzt wird, so kann man sich die Streuung der Porenvolumenbestimmung gewissermaßen ersetzt denken durch Rauheitsbestimmungen nach der Bearbeitung, die ja auch eine Schwankung kennzeichnen. Selbstverständlich erhält man auf diese Art noch keine vollständige Definition. Das Problem einer Kennzeichnung der Wirkung einer wendenden Bearbeitung wurde schon zu Beginn erwähnt. Hier soll noch darauf hingewiesen werden, daß Dichte und Streuung derselben eigentlich als Funktion der Tiefe bestimmt werden sollten, denn im senkrechten Querschnitt ist es nicht gleichgültig, wie die Schwankungen in der Dichte aufeinanderfolgen. Die hier angegebenen Bestimmungen sind also nicht das, was wir anstreben, sondern was wir jetzt praktisch bewältigen können.

Beispiele

Als Beispiel möchte ich Ergebnisse aus den Jahren 1958—1959 in zwei Tabellen demonstrieren. Es handelt sich hier um zwei unserer Versuche unter praktischen Bedingungen über Pflügen unter guten und schlechten Bedingungen.

Tabelle 1
Pflugergebnisse
(Oostwaardhoeve 1958 bis 1959)

Zeit und Tiefe Datum Vor oder nach Bearbeitung	Früh 25,3 cm					Spät 27,3 cm			
	6. 11.	6. 11.	16. 12.	11. 3.	20. 4.	16. 12.	16. 12.	11. 3.	20. 4.
	vor	nach	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
Aufschüttung cm		6,6	3,9	3,6	1,8		6,9	5,2	1,0
Aufschüttung %		26	15	14	7		25	19	4
Rauheit	38	95	81	66	10	37	88	67	9
Gemessenes PV %	54,4				56,9	55,2			56,2
Errechnetes PV %		63,8	60,4	60,1	57,4		64,2	62,4	56,8
Gemessenes LV %	0,8				4,7	-0,3			3,5
Errechnetes LV %		20,6	13,2	12,5	7,8		21,0	17,0	4,7
Wassergehalt 5-20 cm	45,7				47,6	47,4			46,8
Gew.-% 5-10 cm	45,0				43,8	46,3			42,7
15-20 cm	46,4				51,4	48,5			50,9

Abschlämbbare Teile: 72,4%; Humus: 3,8%; CaCO₃: 1,0%

Der erste Versuch (Tabelle 1) liegt auf Tonboden (abschlämbbare Teilchen etwa 70%, Humusgehalt 4%, CaCO₃-Gehalt 1%) in unserem ältesten Zuiderzeepolder, der im Jahre 1930 trockengelegt worden ist. Vor der Bearbeitung am 6. November betrug der Porengehalt 54% und in 100 g trockenem Boden waren etwa 46 g Wasser enthalten. Am 16. Dezember wurde auf dem zweiten Teil des Feldes etwa das gleiche Porenvolumen gefunden, der Wassergehalt war nur um 1 bis 2% höher. Dennoch reichte am 6. November ein 35-PS-Raupenschlepper für einen Zweischarpflug völlig aus, während am 16. Dezember mit zwei 35-PS-Raupenschleppern nur mit viel Mühe gepflügt werden konnte. Die am Pflug gemessene Zugkraft war

in beiden Fällen gleich. Das heißt also, daß das Hauptproblem hier in der Kraftübertragung vom Schlepper auf den Boden liegt, denn nur eine ganz dünne Oberflächenschicht war beim zweiten Pflügen bedeutend nasser, die Hauptmasse des Bodens hatte sich wenig geändert. Der Wassergehalt konnte auch nur durch Quellung angestiegen sein, wie aus dem Luftgehalt von etwa 0% hervorgeht. Die Lockerung erfolgte in beiden Fällen durch eine Aufschüttung von etwa 7 cm, wobei aber die Rauheit sehr hohe Werte, rund 90 erreichte. Der Boden enthielt jetzt etwa 20% Luft. Am 16. Dezember, als das zweite Stück gepflügt wurde, war auf dem ersten Stück die Aufschüttung schon auf 4 cm, die Rauheit auf 80 und der Luftgehalt auf 13% zurückgefallen. Vor der Frühjahrsbestellung wurden in beiden Fällen noch Luftgehalte von über 10% gemessen. Auf dem spät gepflügten Teil war wahrscheinlich die Aufschüttungsmessung nicht einwandfrei. Jedenfalls ist deutlich zu sehen, daß bei der Frühjahrsbestellung die Oberfläche sank und nur noch eine Aufschüttung von 1 bis 2 cm übrigblieb. Die Rauheit ist sehr stark abgesunken, d. h., der Boden ist eben. Die Dichte sollte noch etwas über der des Ausgangszustandes liegen. Die Kontrolle mit Stechzylinderproben zeigt eine ganz gute Übereinstimmung, wenn auch die Werte allgemein etwas niedriger liegen, wodurch der Luftgehalt noch unterhalb 5% bleibt. Der Wassergehalt in der Schicht von 15 bis 20 cm hat zugenommen, in der Schicht bis 15 cm abgenommen und ist im Mittel fast gleich geblieben.

Tabelle 2
Pflugergebnisse
(Westmaas ZZH 691 1958 bis 1959)

Zeit und Tiefe Datum Vor oder nach Bearbeitung		Früh: 23,2 cm					Spät 22,4 cm			
		14. 11. vor	14. 11. nach	8. 12. nach	4. 3. vor	5. 3. nach	8. 12. vor	8. 12. nach	4. 3. vor	5. 3. nach
Aufschüttung	cm		8,0	4,2	3,6	1,7		5,8	1,8	1,0
Aufschüttung	%		35	18	16	7		26	8	5
Rauheit		43	89	79	71	18	17	90	69	22
Gemessenes PV	%	44				47,9	42,9			46,5
Errechnetes PV	%		58,6	53,0	52,0	48,3		54,6	47,0	45,1
Gemessenes LV	%	6,5				11,9	4,6			9,8
Errechnetes LV	%		30,4	21,1	19,4	13,1		23,8	11,1	7,9
Wassergehalt	5-20 cm	25,0				25,7	24,7			25,7
Gew.-%	5-10 cm	24,5				24,9	24,3			25,0
	15-20 cm	25,4				26,5	25,2			26,5

Abschlammbare Teile: 42,0%; Humus: 2,1%; CaCO₃: 7,5%

Der zweite Versuch (Tabelle 2) zeigt etwa dasselbe. Hier handelt es sich um einen etwas leichteren Meerestonboden südlich von Rotterdam. Die Aufschüttung war beim frühen Pflügen am höchsten, betrug im Frühjahr vor der Bearbeitung nur noch ein paar Zentimeter und sank bei der Bestellung deutlich ab. Die Rauheit verschwand wieder, hauptsächlich bei der Frühjahrsbestellung, blieb aber höher als im ersten Versuch. Errechnetes und bestimmtes Porenvolumen stimmen wieder gut überein. Hier ist jedoch ein deutlich höheres Porenvolumen im Frühjahr, gegenüber dem PV im Herbst, erhalten geblieben. Der Luftgehalt betrug etwa

5%, Luftmangel konnte also befürchtet werden. Im Frühjahr stieg der Luftgehalt aber auf rund 10% an. Die Unterschiede im Wassergehalt sind zu vernachlässigen. Der Boden war in allen Fällen bis zur Feldkapazität gesättigt. Im ersten Versuch ist der Erfolg der Bearbeitung also hinsichtlich der Dichte wesentlich schlechter als im zweiten Versuch. Betreffs der Heterogenität ist die Aussage schwieriger. Die Oberflächenrauheit ist im ersten Versuch niedriger. Sie soll aber nach der Bearbeitung eigentlich keine Rolle mehr spielen. Die nicht angegebenen Schwankungen im Porengehalt sind im ersten Versuch am größten. Bei sehr dichter Lagerung könnte eine große Schwankung bedeuten, daß noch ziemlich lockere Stellen vorhanden sind, und bei lockerer Lagerung vielleicht, daß auch beträchtlich dichtere Stellen vorkommen. Wenn wir auch dazu neigen, die Bearbeitung im zweiten Versuch als die erfolgreichere anzugeben, müssen wir immerhin bedenken, daß es sich um eine Untersuchungsmethodik handelt, die es uns ermöglichen soll, in ein Gebiet vorzustoßen, auf dem man zuverlässige Ergebnisse eigentlich erst nach langjähriger Forschung erwarten darf.

Zusammenfassung

Die Kennzeichnung der Ergebnisse einer Bodenbearbeitung soll so erfolgen, daß sie die Möglichkeit gibt, den Einfluß auf das Pflanzenwachstum und die Bearbeitungswirkung selbst zu erkennen.

Dazu werden die Dichte des Bodens und die Heterogenität der Bodenstruktur im Laufe des Jahres zur Kennzeichnung empfohlen. Die Dichte wird mit Stechzylindern bestimmt oder aus der Höhe der Aufschüttung errechnet. Die Heterogenität wird gekennzeichnet durch die Streuung der Porenvolumenbestimmungen oder durch die Höhenunterschiede, die mit einem Reliefmessgerät bestimmt werden.

Резюме

Охарактеризование результатов обработки почвы должно произойти таким образом, что оно дает возможность узнать влияние обработки на рост растений и само действие обработки.

Для охарактеризования рекомендуется определить плотность почвы и гетерогенность структуры почвы в течение года. Плотность определяется с помощью „стехцилиндров“ или из высоты насыпи. Гетерогенность характеризуется разницей получаемыми при определении объема пор или различиями высоты, определяемыми при помощи прибора для измерения рельефа.

Summary

The results of tillage operations should be demonstrated thus that the influence upon plant growth and the effect of tillage itself can be recognized.

For this purpose bulk density and the heterogeneity of soil structure in the course of the year are recommended. Bulk density is determined on core samples or calculated from the height of the soil surface. Soil heterogeneity is characterized by the standard deviation of the pore space or by the differences in height of the soil surface which are measured with a reliefmeter.