

- Kosten der Leitungen für die Stromzuführung
- mangelnde Standfestigkeit und große Masse der Ankerwagen
- Strompreise,

sind heute, nach einem halben Jahrhundert, durch technische Weiterentwicklungen und eine völlig veränderte Energiesituation nicht mehr ausschlaggebend.

Das inzwischen sehr engmaschig gewordene Hoch- und Mittelspannungsnetz für die Elektroenergieverteilung begünstigt den Einsatz von Elektro-Seilzugaggregaten.

Für die Zuleitung des Stroms von fahrbaren Trafostationen zu den Elektro-Seilzugaggregaten sind die technischen Lösungen für die Stromversorgung von Tagebau-Großgeräten der Kohleindustrie zu beachten. Aus den langjährigen Entwicklungsarbeiten in der UdSSR für Elektrotraktoren sind geeignete Lösungen für die Kabelverlegung und ebenso für den Schnellanschluß von fahrbaren Trafostationen an das Netz [22] mit geringem technischem Aufwand und Einsatz an Arbeitszeit für die Elektro-Energieversorgung nutzbar.

Für das feste Abstützen der Seilzugaggregate bieten sich jetzt hydraulische Ausleger an, wie sie an Kränen und zum Abstützen von Fahrzeugen für den Spillwindenbetrieb genutzt werden.

Zum Weiterrücken der Elektro-Seilzugaggregate zwischen den Arbeitsspielen ist ein Eigenantrieb (z. B. über Hydromotoren) dem Einsatz eines Traktors vorzuziehen. Das Umsetzen zum nächsten Schlag kann dagegen mit Hilfe eines Traktors erfolgen, da das Anpflügen, das Pflügen von Vorgewende, verbleibenden Keilen bzw. Reststücken den Einsatz von Traktoren erfordern. Durch die Anwendung von geeigneten Automatisierungsmitteln sollte die Einmannbedienung von Elektro-Seilzugaggregaten angestrebt werden, wobei die Überwachung gegenüber der Bedienung überwiegen müßte.

Neben der Bodenbearbeitung ist der Einsatz von Seilzugaggregaten auch für die Erntearbeiten mit zu betrachten, da hierfür hohe

Zugleistungen erforderlich sind, wenn unter den Witterungsbedingungen des Herbstes die Bodenstruktur durch Radschlupf und -druck bei Traktorenzug oder Eigenantrieb erheblich beeinflußt wird.

Im Einsatz von Seilwinden mit Dreipunktan- kopplung und Zapfwellenantrieb an den schweren Pflugtraktoren wird von Griepentrog [23] eine reale Möglichkeit aufgezeigt, diese Traktoren vom Feldrand aus als Seil- zugaggregat einzusetzen.

Mit dem Seilzug liegt für die Bodenbearbei- tung und für die Hackfrüchtere eine tech- nische Lösung vor, deren Bedeutung hin- sichtlich der Schonung der Bodenstruktur und ihrer Leistungs- und Entwicklungsfähig- keit bisher nicht genügend beachtet wurde.

Es sollte in der gegenwärtigen Situation eine vordringliche Aufgabe der Landtechnik sein, die im Seilzug liegenden Möglichkeiten zum Erhalten und Mehren der Bodenfruchtbarkeit baldmöglichst zu nutzen.

#### Literatur

- [1] Kühne, G.: Handbuch der Landmaschinen- technik. 1. Band, 1. Lieferung - Die Geräte und Maschinen zur Bearbeitung des Bodens mit Gespannkraft und mit motorischem Seilzug. Berlin: Verlag J. Springer 1928.
- [2] Holldack, H.: Maschinenlehre für Landwirte. Berlin/Hamburg: Verlag Paul Parey 1954.
- [3] Böldicke, H.: Zum Krebschaden unserer Ackerböden. Dt. Agrartechnik, Berlin 2 (1952) 8, S. 246.
- [4] Schuhmann, P.: Die Standortverteilung der Kartoffelproduktion in der DDR und Vor- schläge zu ihrer weiteren Vervollkommnung. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Promotion B 1981.
- [5] Groth, H.-J.: Untersuchungen über die Ein- dringtiefe des Schlepperraddruckes und über Werkzeuge zur Bekämpfung der nachteiligen Folgen. Universität Rostock, Dissertation 1954.
- [6] Heyde, H.: Landmaschinenlehre. Band 1 Land- technische Grundlagen und Querschnittsge- biete. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.
- [7] Rübensam, E.; Rauhe, K.: Ackerbau. Berlin: VEB Dt. Landwirtschaftsverlag 1968.
- [8] Milde, H.; Zänker, J.: Dammvorformung in der

Kartoffelproduktion. Feldwirtschaft, Berlin 17 (1976) 9, S. 421.

- [9] Marchand, P.; Winzer, R.; Nachtmann, R.: Er- fahrungen bei der Anwendung der Frühjahrs- dammvorformung auf diluvialen Sandböden. Feldwirtschaft, Berlin 23 (1982) 7, S. 326.
- [10] Gall, H.; Petersen, U.: Einfluß der Fahrspur auf das Bodengefüge und den Ertrag bei Kartoffeln. Tagungsbericht Nr. 194 Entwicklung der Reihenweiten und der Anbauverfahren bei Kartoffeln. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR 1981.
- [11] Petelkau, H.; Seidel, K.: Über das Verdich- tungsverhalten sandiger Böden auf D-Standör- ten. Feldwirtschaft, Berlin 22 (1981) 1, S. 5-8.
- [12] Ermich, D., u. a.: Strukturschonende Bodenbe- arbeitung im Frühjahr. Feldwirtschaft, Berlin 24 (1983) 1, S. 41-44.
- [13] Ermich, D., u. a.: Auswirkungen von Schadver- dichtungen auf Bodeneigenschaften und den Sommergerstenertrag auf Lößstandorten sowie Maßnahmen zur Minderung des schädlichen Bodendruckes. Feldwirtschaft, Berlin 25 (1984) 1, S. 25-28.
- [14] Blumenthal, R.: Technisches Handbuch Trak- toren. Berlin: VEB Verlag Technik 1981.
- [15] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 33, Kettentraktor DT-75M. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim 1979.
- [16] Stieglitz, E.: Prüfbericht Nr. 34, Kettentraktor T-130. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Pots- dam-Bornim 1980.
- [17] Reitz, A.: Max Eyth. Heidelberg: Energie Ver- lag 1956.
- [18] Krzymowski, R.: Geschichte der deutschen Landwirtschaft unter besonderer Berücksichti- gung der technischen Entwicklung der Land- wirtschaft. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 1951.
- [19] Klauer, G.: Landwirtschaftliche Faustzahlen. Berlin/Hamburg: Verlag Paul Parey 1950.
- [20] Uhlmann, S.: Erste Einsatzerfahrungen mit dem Seilzugaggregat SZ 24. Dt. Agrartechnik, Berlin 10 (1960) 6, S. 241.
- [21] Statistisches Jahrbuch 1981. Berlin: Staatsver- lag der DDR 1981.
- [22] Stschurov, S. W.: Fragen der Elektrifizierung ortsveränderlicher Feldarbeiten. Dt. Agrar- technik, Berlin 6 (1956) 8, S. 351.
- [23] Griepentrog, K.: Theoretische Untersuchen- gen zu Seilzugaggregaten. Ingenieurhoch- schule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1983.

A 4509

## Querunebenheit von Ackeroberflächen und ihre Bedeutung für die Queranpassungsfähigkeit von Feldmaschinen

Dr. agr. R. Winter, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### 1. Problemstellung

Der Begriff Unebenheit enthält das Wort Ebene und bringt damit zum Ausdruck, daß es sich um eine auf Flächen bezogene Kategorie handelt. Aber Verfahren zur Kennzeichnung der Unebenheit einer Oberfläche in ihrer flächenhaften Ausdehnung sind nicht praktikabel. Deshalb wird die Unebenheit einer Oberfläche auf ihre Ungeradlinigkeit in einer bestimmten Richtung zurückge- führt. Bei Ackeroberflächen soll die in Bear- beitungsrichtung bestimmte Unebenheit als Längsunebenheit und eine in dazu senkrechter Richtung bestimmte als Querunebenheit bezeichnet werden.

Längsunebenheiten führen zur Einleitung dy- namischer Kräfte in Fahrwerke und bodenkop- pierende Arbeitsorgane fahrender Maschi- nen. Die meßtechnische Aufnahme von Längsunebenheiten zur anschließenden Un- tersuchung maschinendynamischer Pro- bleme erfordert lange Meßstrecken. Dafür sind mechanisierte Meßeinrichtungen ent- wickelt worden, und es stehen anspruchs- volle mathematische Verfahren für die Da- tenaufbereitung zur Verfügung [1 bis 13]. Querunebenheiten wirken sich auf die Gleichmäßigkeit der Arbeitshöhe oder der Arbeitstiefe von Werkzeugen oder Arbeitsor- ganen über der Maschinenbreite aus. Ma-

schinenseitig wird eine Anpassungsfähigkeit an die Querunebenheiten der Ackeroberflä- che entweder durch eine Aufteilung der Ma- schinenbreite in einzelne gegeneinander be- wegliche Felder, wie bei Eggen und Acker- walzen, oder durch freie Höhenbeweglich- keit einzelner Werkzeuge, wie bei Drill- und Hackscharen oder bei Häufelkörpern, er- reicht. Bekannt ist auch die Kombination bei- der Maßnahmen. Erwartungsgemäß werden die Anforderungen an die Queranpassungs- fähigkeit der Maschinen mit zunehmender Arbeitsbreite größer. Um darüber und be- sonders über Maschinen für die Aussaat und Pflege genauere Auskunft zu erhalten, war

es notwendig, festzustellen, welche Größenbereiche der Unebenheit die Ackerflächen in der DDR aufweisen.

## 2. Übliche Skalen und Meßverfahren zur Kennzeichnung der Querunebenheit von Ackeroberflächen

Eine gebräuchliche Unebenheitskenngröße ist die Rauhtiefe. Dafür gibt es jedoch keine eindeutige Definition und Meßvorschrift. So ist die Rauhtiefe nach [14] der Abstand zweier paralleler Geraden, die das Oberflächenprofil über die Länge einer Bezugsstrecke einhüllen und die auch zu einer dritten, zwischen ihnen gelegenen Geraden parallel sind, die so gelegen und gerichtet ist, daß die Summen der werkstoffgefüllten Flächen über ihr gleich den Summen der werkstofffreien Flächen unter ihr sind.

Nach Petelkau [15] wird auf dem Acker die Rauhtiefe dadurch bestimmt, daß eine Latte von 3 m Länge oberflächlich aufgelegt und der größte Abstand zwischen Unterkante Latte und Bodenoberfläche gemessen wird. Dieser größte Abstand kann an einer beliebigen Stelle zwischen beiden Lattenenden oder an einem der Enden selbst liegen. Bei anderen Meßverfahren – besonders bei solchen zur Aufnahme des gesamten Oberflächenprofils in der Bezugsstrecke – werden die Höhenabstände zwischen der Bezugsgeraden und der Bodenoberfläche in äquidistanten Abständen gemessen. Dabei wird als Rauheitsmaß auch die aus den einzelnen Höhendifferenzen gebildete Standardabweichung verwendet [16, 17].

Da die angegebenen Meßgrößen und -verfahren nicht verbindlich vorgeschrieben und die sich ergebenden Meßzahlen verfahrensbezogen sind, wurden die eigenen Untersuchungen so durchgeführt, daß ihre Ergebnisse in mehreren Maßskalen wiedergegeben und diese miteinander verglichen werden können. Diese Maßskalen lehnen sich an die o. g. an und werden nach Darlegung der Versuchs- und Auswertemethode beschrieben.

## 3. Unebenheitsbestimmung, Meß- und Auswertemethode

Bei der Ermittlung realer Querunebenheiten kam es darauf an, neben mittleren Zuständen in möglichst breitem Maß auch solche Unregelmäßigkeiten der Ackeroberfläche zu erfassen, die wiederholt vorkommen und die vermutlich Grenzbedingungen für die Queranpassungsfähigkeit von Maschinen darstellen. Als solche Unregelmäßigkeiten wurden angesehen:

- Furchen oder Dämme, die beim Auseinander- oder Zusammenpflügen mit Beetpflügen entstehen
- Löcher oder Erdanhäufungen, die beim unsauberen Vorgewendenschluß oder dann entstehen, wenn beim Pflügen Verstopfungen auftreten oder beseitigt werden und solche,
- die sich aus Bodensenken oder Hügelkuppen in stark kupiertem Gelände ergeben.

Unter diesem Gesichtspunkt wurden an 5 Standorten der DDR (Bornim, Kreis Potsdam, Falkenrehde, Kreis Nauen, Ragow, Kreis Königs Wusterhausen, Wilmersdorf, Kreis Angermünde, und Weißenschierbach, Kreis Eisleben) jeweils im Frühjahr vor oder nach der Bestellung 21 Profile überwiegend senkrecht zur Hauptbearbeitungsrichtung der jeweiligen Felder und mit dem Bestreben aufgenommen, vorhandene Unregelmäßig-

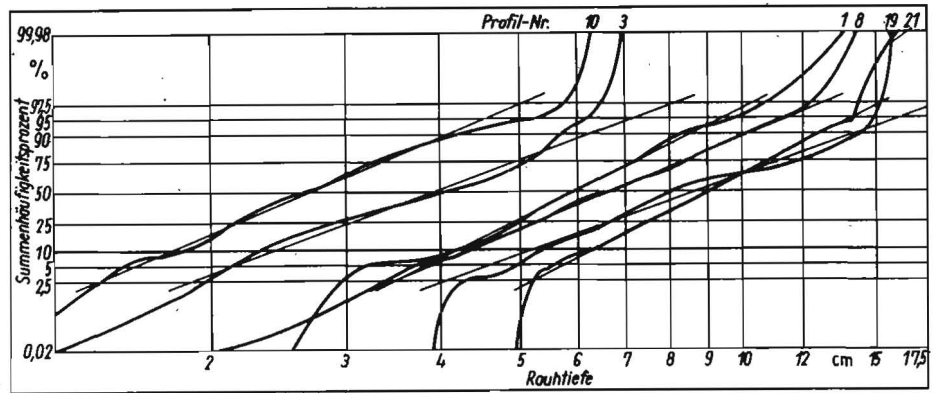


Bild 1. Verteilung der Rauhtiefen aus 3,00-m-Profilstrecken von ausgewählten Querprofilen

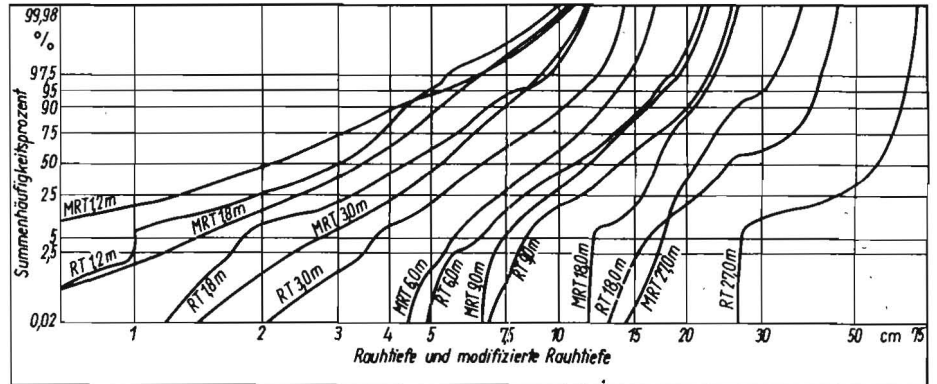


Bild 2. Verteilung von Rauhtiefen (RT) und modifizierten Rauhtiefen (MRT) aus unterschiedlich langen Profilstrecken eines Querprofils

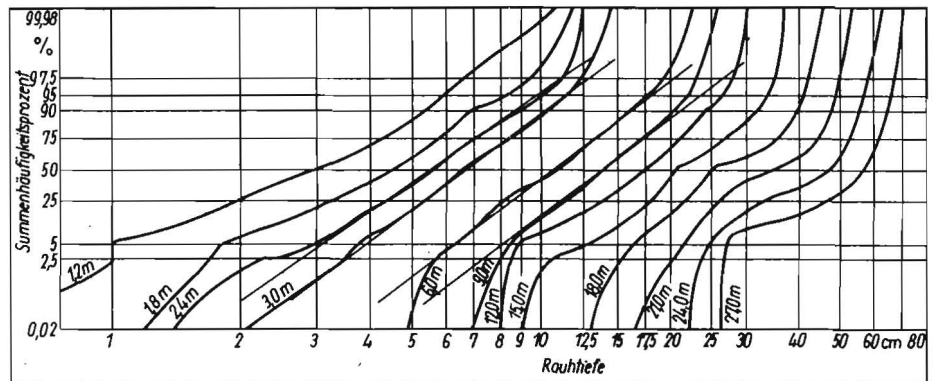


Bild 3. Verteilung der Rauhtiefe aus unterschiedlich langen Profilstrecken für ein Querprofil in kupiertem Gelände

keiten der o. g. Art weitgehend zu erfassen.

Dazu wurde nach einem Vorschlag von Dwork und Schinke [18] längs der aufzunehmenden Profilstrecke ein Seil (Angeldraht mit einem Durchmesser von 2 mm) gespannt, auf das im Abstand von 30 cm farbige Markierungen aufgebracht worden waren. An diesen markierten Stellen wurde – von einer Stelle zur nächsten fortschreitend – eine Meßlatte auf die Bodenoberfläche aufgestellt und an ihr die Höhendifferenz zwischen dem Fußpunkt der Meßlatte und einer horizontalen Bezugsebene abgelesen.

Die Lage dieser Bezugsebene wurde von den Sehstrahlen eines seitlich neben der Meßstrecke horizontal aufgestellten Nivelliergeräts gebildet, das zum Ablesen der Höhendifferenzen benutzt wurde. Das Ableseergebnis wurde in fortlaufender Folge auf Protokollbögen notiert und davon auf Lochstreifen übertragen.

Der Wahl des Abstands von 30 cm zwischen benachbarten Höhenmessungen lag die Überlegung zugrunde, daß kleinere Abstände im Sinn der angestrebten Ziele wahr-

scheinlich keinen weiteren Informationsgehalt bringen, weil ursprüngliche Bodenerhebungen oder -vertiefungen, die schmäler als 30 cm waren, bei der Saatbettbereitung so weit eingeebnet worden sind, daß ihre Reste für einzeln höhenbewegliche Werkzeuge, wie Drill-, Hack- oder Häufelschare, keine Bedeutung mehr haben können und daß sie, wenn sie in einer Radspur zu liegen kommen, von luftbereiften Rädern völlig geglättet oder kompensiert werden.

Hauptsächlich wurden so Folgen von  $N = 200$  bis 250 Höhenwerten aufgenommen, die Meßprofilstrecken mit einer Länge von 60 bis 75 m entsprechen. Aus diesen Datensätzen wurden bei der Auswertung jeweils  $n$  aufeinanderfolgende Höhenwerte einer Auswerteprofilstrecke zugeordnet und dafür die noch näher zu kennzeichnenden Unebenheitskennzahlen berechnet. Nachdem das für die ersten  $n$  Höhenwerte einer aus  $N$  Meßwerten bestehenden Profilaufnahme erfolgt war, wurden die Auswerteprofilstrecke um einen Meßpunktabstand weitergerückt und die Berechnung der Kenngrößen erneut vorgenommen. Auf diese Weise

Tafel 1. Unebenheitsmaßzahlen von Ackeroberflächen – Mittelwerte und Standardabweichungen der zwischen dem 5- und dem 95-Prozentil als logarithmisch normalverteilt angesehenen Querunebenheit von 21 Ackeroberflächen, bezogen auf 3,00-m-Profilstrecken (für 90% aller Werte liegen die Verteilungskennzahlen im Bereich  $\bar{x}/1,64 s$ ,  $\bar{x} \cdot 1,64 s$ ; Rauhtiefenangaben in cm)

Profil-Nr.	Probenanzahl n	Höhenstreuung		Rauhtiefe		Feldhöhenstreuung		Feldrauhtiefe	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	190	1,895	1,338	6,058	1,318	2,147	1,362	6,205	1,370
2	240	2,156	1,279	6,800	1,332	2,414	1,328	7,008	1,368
3	240	1,211	1,409	3,963	1,456	1,333	1,428	3,975	1,495
4	260	1,388	1,487	4,516	1,512	1,528	1,481	4,561	1,525
5	240	0,915	1,434	2,970	1,428	1,034	1,498	3,062	1,519
6	228	1,038	1,422	3,408	1,450	1,200	1,477	3,512	1,489
7	260	1,782	1,515	5,706	1,525	2,010	1,557	5,867	1,573
8	316	2,095	1,382	6,763	1,395	2,322	1,433	6,927	1,431
9	172	1,791	1,429	5,718	1,463	2,101	1,505	6,252	1,568
10	240	1,059	1,483	3,385	1,497	1,201	1,497	3,557	1,520
11	218	1,184	1,508	3,797	1,581	1,328	1,605	3,898	1,657
12	277	1,190	1,385	3,831	1,422	1,317	1,470	3,876	1,490
13	157	0,829	1,476	2,631	1,500	0,937	1,524	2,705	1,538
14	94	1,601	1,406	5,162	1,405	1,758	1,447	5,130	1,426
15	190	1,793	1,344	5,664	1,413	1,955	1,438	5,715	1,482
16	210	0,847	1,372	2,722	1,390	0,914	1,415	2,703	1,425
17	131	1,870	1,362	5,961	1,371	2,076	1,452	6,090	1,468
18	90	1,346	1,824	4,398	1,824	1,507	1,848	4,443	1,854
19	114	2,835	1,326	9,107	1,313	3,254	1,354	9,477	1,324
20	116	1,999	1,278	6,183	1,260	2,190	1,318	6,342	1,307
21	142	2,648	1,384	8,724	1,468	3,013	1,461	9,079	1,488

Tafel 2. Korrelationskoeffizienten zwischen vier Unebenheitskennzahlen-Mittelwerten aus den Wertesätzen von 21 Ackeroberflächen

Beziehung	Profilstrecke			
	2,40 m	3,00 m	6,00 m	9,00 m
HS – RT	0,968	0,963	0,944	0,932
HS – FHS	0,899	0,896	0,886	0,880
HS – FRT	0,888	0,885	0,865	0,844
RT – FHS	0,906	0,900	0,888	0,882
RT – FRT	0,918	0,916	0,913	0,908
FRT – FHS	0,977	0,969	0,961	0,946

Tafel 3. Verhältniszahlen der Feldrauhtiefen – Mittelwerte für unterschiedlich lange Profilstrecken von 21 Ackeroberflächen, bezogen auf den jeweiligen Feldrauhtiefen-Mittelwert bei 3,00 m Profilstreckenlänge (der Mittelwertbildung ist das logarithmisch-normale Verteilungsgesetz zugrunde gelegt)

Profil-Nr.	Profilstreckenlänge			
	2,40 m	3,00 m	6,00 m	9,00 m
1	98,4	100	124,1	139,7
2	91,0	100	136,6	160,2
3	87,1	100	147,9	173,2
4	85,8	100	162,1	207,2
5	87,2	100	151,1	207,9
6	85,2	100	166,8	212,4
7	87,2	100	153,9	201,5
8	83,5	100	157,3	205,7
9	85,4	100	160,7	241,2
10	84,2	100	167,6	233,5
11	85,4	100	168,7	221,3
12	85,6	100	165,7	226,8
13	86,3	100	177,2	277,0
14	84,2	100	181,0	241,5
15	87,0	100	155,7	205,8
16	88,4	100	141,7	185,3
17	89,0	100	151,3	189,7
18	83,8	100	172,4	270,5
19	92,7	100	119,5	140,4
20	90,7	100	136,7	166,5
21	88,0	100	133,9	158,8
$\bar{x}$	87,4	100	153,9	192,7
s in %	4,01	0	11,00	30,07

wurden nacheinander für Auswertprofilstrecken die Höhenwerte der Meßpunkte 1 bis n, 2 bis n + 1, 3 bis n + 2... N – n + 1 bis N zur Berechnung herangezogen.

Dadurch konnten aus einer Profilaufnahme N – n + 1 Einzelwerte für jede der benutzten Unebenheitsskalen gewonnen werden. Für n wurden nacheinander die Zahlen 7, 9, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81 und 91 verwendet, die Längen der Auswertprofilstrecken von 1,20 m, 1,80 m, 2,40 m, 3,00 m, 6,00 m, 9,00 m, 12,00 m, 15,00 m, 18,00 m, 21,00 m, 24,00 m und 27,00 m entsprechen. Für diese und weitere Berechnungen wurden EDV-Programme erarbeitet und genutzt. Aus jeweils n Auswertehöhenwerten wurden Unebenheitsmaßzahlen wie folgt berechnet:

- Durch die n Punkte wurde eine Ausgleichsgerade gelegt und die Summe der Abstände zum höchsten darüber und zum tiefsten darunter gelegenen Punkt gebildet. Das entspricht der Rauhtiefendefinition nach [14] für die Bedingung diskreter Meßpunktfolgen. Diese Kenngröße wird deshalb nachfolgend als Rauhtiefe (RT) bezeichnet.
- Die Standardabweichung der Differenzen zwischen den gemessenen Höhenwerten und der zugeordneten Höhe der Ausgleichsgeraden wurde berechnet. Diese Kenngröße wird nachfolgend Höhenstreuung (HS) genannt.
- Eine Gerade wurde so über die gemessenen Höhenwerte gelegt, daß damit das Auflegen einer Bezugsplatte simuliert wurde, wie es beim Verfahren nach Petelkau erfolgt [15]. Als Maßzahl dient hierbei der Höhenabstand von der aufgelegten Geraden bis zum tiefsten darunter gelegenen Punkt. Diese Maßzahl wird, weil ihre Bildung der Rauhtiefenbestimmung auf dem Feld entspricht, als Feldrauhtiefe (FRT) bezeichnet.
- Die Standardabweichung der Höhendifferenzen wurde zwischen der aufgelegten Geraden und den zugehörigen Höhenwerten des Profils gebildet. Diese Kenngröße wird in Analogie zu den vorigen als Feldhöhenstreuung (FHS) bezeichnet.

Bei Auswertprofilstrecken mit einer Länge von etwa 6,00 m an aufwärts machte sich im

kupierten Gelände der Einfluß der Gelände-krümmung bemerkbar. Die Unebenheitskennzahlen stiegen dadurch mit zunehmender Länge der Auswertprofilstrecke stark an. Um das auszuschalten und um den Sachverhalt der Gelände-krümmung von dem der Unebenheit zu trennen, wurden in einigen Berechnungen Rauhtiefe und Höhenstreuung nicht aus dem Bezug auf eine Ausgleichsgerade abgeleitet, sondern auf eine Ausgleichskurve zweiten Grades (Ausgleichs-parabel) bezogen. Die entsprechenden Größen seien hier modifizierte Rauhtiefe (MRT) und modifizierte Höhenstreuung (MHS) genannt.

Analog zu dem Vorgehen bei der Berechnung von Unebenheitskenngrößen wurden auch rechnerisch nachgebildete Maschinen auf eine Folge von gemessenen Höhenwerten aufgestellt, deren Anzahl eine Profilstreckenlänge bestimmt, die gleich der Arbeitsbreite der jeweiligen Maschine ist. Dabei wurde die größte von allen punktwisen Höhendifferenzen zwischen der Aufstellgeraden der Maschinen (das ist die Gerade durch ihre Fahrwerkstützpunkte) und den Höhenpunkten des Reliefs als Maß der erforderlichen vertikalen Werkzeugbeweglichkeit (VWB) gedeutet.

#### 4. Ergebnisse

Für die definierten 6 Unebenheitskenngrößen sowie für die erforderliche vertikale Werkzeugbeweglichkeit ergeben sich für jede der aufgenommenen Oberflächen und für jede Länge der Auswertprofilstrecke empirische Verteilungen. Für einige der aufgenommenen Profile und für die Kenngröße Rauhtiefe bei 3,00-m-Profilstrecken sind die erhaltenen empirischen Verteilungen im Bild 1 dargestellt. Für Profilstreckenlängen über 9,00 m lassen sich diese empirischen Verteilungen nicht durch Verteilungen mit bekannten Verteilungsgesetzen annähern und deshalb auch nicht durch wenige Verteilungsparameter, wie Erwartungswert und Streuung, beschreiben. Auch die Einführung der modifizierten Unebenheitskenngrößen MRT und MHS brachte in dieser Hinsicht keine Vorteile. Diese Größen werden deshalb für eine weitere Anwendung nicht emp-

fohlen. Bild 2 zeigt für eines der aufgenommenen Profile den Vergleich der empirischen RT- und MRT-Verteilungen für unterschiedliche Profilstreckenlängen.

Für Profilstrecken mit einer Länge bis zu 9,00 m können die empirischen Verteilungen zwischen dem 5- und dem 95-Prozentil mit guter Annäherung als logarithmische Normalverteilungen interpretiert werden. Die sich daraus ergebenden Verteilungsgeraden sind im Bild 1 eingezeichnet. In Tafel 1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die 4 Unebenheitskenngrößen aller aufgenommenen 21 Ackeroberflächen für die 3,00-m-Profilstrecke enthalten. Zwischen den Einzelwerten der vier Unebenheitskenngrößen besteht gute Parallelität, sofern sie auf gleiche Profilstreckenlänge bezogen sind. Das drückt sich durch Korrelationskoeffizienten zwischen ihnen aus, die nahe bei 1 liegen.

Tafel 2 gibt die Mittelwerte dieser Korrelationskoeffizienten aus allen 21 Ackeroberflächen wieder. Damit können die 4 Unebenheitskenngrößen RT, FRT, HS und FHS als gleichwertig betrachtet werden.

In Tafel 3 ist der logarithmische Rauhtiefenmittelwert für die 3,00-m-Bezugsstrecke gleich 100 gesetzt und die logarithmischen Rauhtiefenmittelwerte der 2,40-m-, der 6,00-m- und der 9,00-m-Bezugsstrecke sind darauf bezogen. Danach können Unebenheitsmaße, die sich auf unterschiedlich lange Profilstrecken-

längen beziehen, unter Vorbehalt miteinander verglichen werden. Die Vergleichbarkeit wird bei großen Unterschieden zwischen den Längen der Profilstrecken fragwürdig. In Tafel 3 kommt das durch größer werdende Variationskoeffizienten der Relativzahlen zum Ausdruck. Bild 3 zeigt für eines der aufgenommenen Profile, wie sich die Verteilungen der Kenngröße Rauhtiefe mit zunehmender Länge der Profilstreckenlänge verändern. Auch da sind für Streckenlängen von 3,0 m bis 9,0 m die berechneten Verteilungsgeraden eingezeichnet.

Die im Abschn. 3 definierte erforderliche Werkzeugbeweglichkeit VWB wurde auf allen aufgenommenen Profilen am Beispiel einer Maschine mit einer Arbeitsbreite von 6,00 m, für die nacheinander Spurweiten von 5,70 m, 5,10 m, 4,50 m, 3,90 m, 3,30 m, 2,70 m und 2,10 m unterstellt wurden, berechnet und zur Rauhtiefe RT der zugeordneten 6,00-m-Profilstrecke in Beziehung gesetzt. In Tafel 4 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der so für alle 21 Meßprofile erhaltenen Korrelationskoeffizienten dargestellt. Weiterhin enthält diese Tafel die statistischen Kenngrößen für den Quotienten Q aus den Regressionswerten für vertikale Werkzeugbeweglichkeit VWB nach der Beziehung

$$VWB = a_0 + a_1 RT + a_2 RT^2$$

und der Rauhtiefe RT bei deren Mittelwert. Daraus geht hervor, daß die Beziehungen zwischen VWB und RT von den Abstützbedingungen der Maschine abhängig sind. Die beste Boden Anpassung wird bei großen Spurweiten erzielt, jedoch ist das Optimum verhältnismäßig breit und flach. Mit kleiner werdender Spurweite nehmen die Anforderungen an vertikale Werkzeugbeweglichkeit zu, und zwar noch etwas stärker, als in Spalte 4 der Tafel 4 zum Ausdruck kommt, weil gemäß Spalte 2 mit abnehmender Spurweite der Grad der Abhängigkeit zwischen RT und VWB geringer wird.

Der Zusammenhang von RT und VWB wird auch unabhängig von den Abstützbedingungen der Maschine mit zunehmendem logarithmischen Rauhtiefenmittelwert des jeweiligen Profils lockerer.

## 5. Schlußfolgerungen

- Querunebenheiten lassen sich durch Rauhtiefe (RT), Höhenstreuung (HS), Feldrauhtiefe (FRT) und Feldhöhenstreuung (FHS) gleichwertig quantifizieren. Maßzahlen sind nur in Verbindung mit der Angabe der jeweiligen Profilstreckenlänge aussagefähig.
- Jeder einzelne Unebenheitsmeßwert ist eine Zufallsgröße und daher als Einzelwert ohne Aussagekraft. (Das gilt nicht für solche Fälle, wo periodische Unebenheiten, deren Wellenlänge viel kleiner als die Profilstreckenlänge ist, gekennzeichnet werden sollen.) Die Schätzung von Uneben-

Tafel 4. Güte und Art des Zusammenhangs zwischen Rauhtiefe RT und erforderlicher vertikaler Werkzeugbeweglichkeit VWB für Maschinen mit einer Arbeitsbreite von 6,00 m mit unterschiedlichen Spurweiten

Spurweite m	Korrelationskoeffizienten		Koeffizient Q	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
5,70	0,96	0,024	0,01	0,025
5,10	0,96	0,025	1,02	0,018
4,50	0,94	0,047	1,05	0,024
3,90	0,90	0,065	1,10	0,028
3,30	0,84	0,089	1,19	0,054
2,70	0,78	0,098	1,28	0,085
2,10	0,72	0,116	1,39	0,116

heits-Mittelwerten erfordert wiederholte Messungen, wobei die Wiederholzahl m nach bekannten statistischen Methoden von der geforderten Genauigkeit abzuleiten ist. Für die Bestimmung von Unebenheitsverteilungen sind angesichts der Schätzbedingungen für Standardabweichungen viele Wiederholungen (m = 100 oder mehr) notwendig.

- Zwischen der Querunebenheit einer Akkeroberfläche und der Güte der Reliefanpassung einer Maschine bestehen nur korrelative Zusammenhänge, die außerdem von den Abstützbedingungen der Maschine abhängig sind. Deshalb ist die konstruktiv vorhandene vertikale Werkzeugbeweglichkeit einer Maschine allein kein ausreichendes Kriterium für deren Reliefanpassungsfähigkeit.
- Die Reliefanpassungsfähigkeit von Maschinen kann am besten dadurch beurteilt werden, daß ein mathematisches Modell des Tragsystems der Maschine in der im Abschn. 3 dargestellten Weise auf Profile unterschiedlicher Unebenheit aufgestellt und die anteilige Anzahl von Aufstellungen mit gewährleister Anpassung bestimmt wird. Um Vergleichbarkeit diesbezüglicher Ergebnisse zu gewährleisten, können die im Rahmen der hier behandelten Untersuchung aufgenommenen Profile oder eine Auswahl daraus als Unebenheitsnormale verwendet werden.

## Literatur

- [1] Kittel, G.: Experimentelle Untersuchungen über die Häufigkeitsverteilung dynamischer Vertikallasten an Straßenfahrzeugen in ihrer Abhängigkeit von Fahrzeug und Fahrbahnkennwerten. TU Dresden, Dissertation 1963 (unveröffentlicht).
- [2] Gribanovskij, A. P.; Bidlingmajer, R. V.: K issledovaniju statističeskich svoistv nerovnostej polej pri bezotvalnoj obrabotke počvy (Statistische Untersuchung von Bodenunebenheiten). Vestnik sel'skochoz. Nauki, Alma Ata (1971) 12, S. 81–87.
- [3] Paul, W.; Möller, R.; Wiemann, H. D.: Auswertung von stochastischen Signalen, Teile I und II. Grundlagen der Landtechnik, Braunschweig-Völknerode 23 (1973) S. 177–186.
- [4] Sturis, A. I.: Spektralnyj analiz mikroprofilja do-

rožno počevnyh fonov (Spektralanalyse des Mikroprofils von Wegen und Äckern). Mechaniz. i elektrifik. social. sel'skogo choz., Moskva 26 (1973) 7, S. 47–49.

- [5] Silukov, J. D.; Pluznikov, N. I.: Statističeskije charakteristiki vozdejstvija mikroprofilja lesovodnyh dorog (Charakteristik des Einflusses des Mikroprofils von Waldwegen). Autonom. prom., Moskva 39 (1973) 5, S. 20–22.
- [6] Yamakawa, S.: C-1-3-road-surface undulation moduls and non linear-vehicle suspension moduls (Simulation von Fahrbahnebenheiten und nichtlinearer Fahrzeugaufhängung). XV. Internationaler Fisita-Kongreß, Paris 1974, Kongreßbericht, S. 403–414.
- [7] Souček, Z.: Metoda měřeni a registrace pudnic nerovnosti, pouzitelna k modelovani pojezdu zemědělských stroju (Methode zur Messung und Registrierung von Bodenunebenheiten, die zur Modellierung der Fahrt von Landmaschinen verwendbar ist). Zemědělská Technika, Praha 21 (1975) 6, S. 327–339.
- [8] Bormann V.: Fahrbahnebenheiten paralleler Fahrspuren und Anwendung der Ergebnisse. 1. IfH-Tagung, Braunschweig 1976, Tagungsbericht, S. 91–119.
- [9] Laib, L.: Measurement and mathematical analysis of agricultural terrain and road profiles (Messung und mathematische Analyse von landwirtschaftlichen Böden und Fahrbahnen). J. Terramechanics, Oxford, New York 14 (1977) 2, S. 83–87.
- [10] Kovrikov, I. T.: Izmnenie rel'efa polej v processe obrabotki (Die Veränderung des Bodenreliefs bei der Bodenbearbeitung). Mechaniz. i elektrifik. social. sel'skogo choz., Moskva 35 (1977) 7, S. 30–31.
- [11] Rasch, W.: Photometric measurement of terrain roughness (Photometrische Messung der Geländeunebenheit). J. Terramechanics, Oxford, New York 16 (1979) 2, S. 87–111.
- [12] Hunter, A. G. M.: Characterisation of rough ground using an accelerometer for measurement (Kennzeichnung der Bodenunebenheiten bei Messung mit einem Beschleunigungsmesser). J. Terramechanics, Oxford, New York 16 (1979) 1, S. 33–44.
- [13] Hunter, A. G. M.; Smith, E. A.: Filtering errors when a rigid wheel is used to measure ground roughness (Filterfehler bei der Messung der Bodenunebenheit mit einem starren Rad). J. Terramechanics, Oxford, New York 17 (1980) 1, S. 1–12.
- [14] Brockhaus abc Naturwissenschaft und Technik. Leipzig: Brockhaus-Verlag 1980, Bd. 2, S. 990.
- [15] Petelkau, H., u. a.: Richtwerte und Gütemerkmale für die Bodenbearbeitung in der industriemäßigen Pflanzenproduktion. Markkleeberg: agrabuch 1977, S. 55.
- [16] Grossul, E. S.; Zigarev, L. F.: Optimal'naja koleja kultivatora pri rabote na nerovnoj poverchnosti (Optimale Spurweite des Grubbers bei Arbeiten auf unebenen Böden). Mechaniz. i elektrifik. social. sel'skogo choz., Moskva 29 (1971) 4, S. 41–42.
- [17] Rybakov, V. N.: Vlijanie uslovij raboty i parametrov mehanizma prisoeдинenija na ustojčivost glubiny choda sošnikov sejalki (Einfluß der Arbeitsbedingungen und der Kenngrößen des Befestigungsmechanismus auf die Stabilität der Arbeitstiefe der Drillschare). Traktory i sel'chozmaš., Moskva (1972) 11, S. 23–24.
- [18] Dworek, R.; Schinke, U.: Persönliche Mitteilung, FZM Schlieben/Bornim, 1980. A 4061

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrartechnik; Feingerätetechnik; Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik; Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik; Schweißtechnik; Seewirtschaft