

Darüber hinaus eröffnen die Meßsignale für Erntegutfeuchte und geernteten Körnerstrom (strichpunktierte Linien) die Möglichkeit zu einer exakteren Adaption der Einstellung des Dreschwerkes an die Erntebedingungen. Eine weitere Forderung, die Steuerung des Mähdruschprozesses nach auftretenden Verlusten, setzt noch die Lösung der Messung eines repräsentativen Verlustanteils voraus (gestrichelte Linien). Dieser Anteil müßte unabhängig von wechselnden Erntebedingungen erfassbar sein und auf die geernteten Körner bezogen werden.

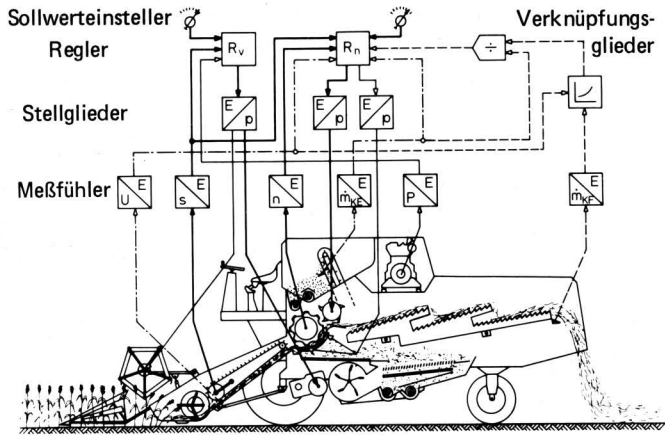


Bild 12. Regelungseinrichtung zur Optimierung des Dreschprozesses beim Mähdrusch.

E	elektrisches Meß- oder Steuersignal	n	Dreschtrommeldrehzahl
P	Leistung des Antriebsmotors	\dot{m}_{KE}	Massenstrom der geernteten Körner
R_n	Regler für die Dreschtrommeldrehzahl	\dot{m}_{KF}	Massenstromanteil der freigesetzten Körner im Stroh
R_v	Regler für die Fahrgeschwindigkeit	p	hydraulischer Druck
U	Feuchtegehalt des Getreides	s	Schichtdicke des Erntegutstroms

5. Zusammenfassung

Auf der Grundlage von Abscheidungsdefizit, Ausdruschverlusten und Körnerbruch unter Berücksichtigung von Verlustgraden und -faktoren wurde versucht, über einen errechneten Gesamtverlust – den korrigierten Druschverlust – zu einer Bewertung des erzielten Druschergebnisses zu kommen. Diese Größe ermöglicht eine Optimierung des Dreschprozesses durch Verändern der Einstellgrößen des Dreschwerkes. Für die Umfangsgeschwindigkeit der Dreschtrommel und den Getreidedurchsatz wurden die Wechselbeziehungen dargelegt. Sie weisen darauf hin, daß es vorteilhaft ist, beim Mähdrusch von den Förderorganen zu den Dreschorganen angeliefertes Erntegut mit einer dem momentanen Erntegutdurchsatz angepaßten Umfangsgeschwindigkeit zu verarbeiten, was auch durch Feldversuche mit einer Regelungseinrichtung belegt werden konnte.

Eine weitere wichtige Einflußgröße ist die Feuchte des Ernteguts, die bei genauerer Adaption der Einstellgrößen an die Erntebedingungen mit in eine Optimierung einzubeziehen ist. Sie stellt überdies auch eine bessere Körnerverlustfassung am Schüttler in Aussicht.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Caspers, L.: Systematik der Dreschorgane. Grndl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 1, S. 9/17.
- [2] Eimer, M.: Untersuchungen zur Durchsatzregelung am Mähdrusch. Habilitationsschrift Univ. Göttingen 1973.
- [3] ● Lück, W.: Feuchtigkeit; Grundlagen, Messen, Regeln. München und Wien: R. Oldenbourg Verlag 1964.
- [4] Eimer, M.: Automatic control of combine threshing process. IFAC Symposium on Automatic Control for Agriculture Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 18.–20. June 1974, Report F–5.

Zur Kennzeichnung unebener Fahrbahnen

Von Wolfgang Paul, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

DK 519.2:625.032

Die Unebenheit einer Fahrbahn wird im allgemeinen durch die Leistungsspektralfunktion der Fahrspuren gekennzeichnet. Stillschweigend wird dabei meist angenommen, die Amplituden der Fahrbahnunebenheiten seien gaußverteilt. Es existiert auch ein Normierungsvorschlag (ISO-Vorschlag TC 108/WG 9), in dem Fahrbahnen nur anhand des Verlaufes der Leistungsspektralfunktion in sehr gut, gut, mittel, schlecht und sehr schlecht eingeteilt werden [1].

Schlechte Fahrbahnen sind z.B. künstlich angelegte Erprobungsbahnen oder landwirtschaftlich genutzte Flächen. Es wird gezeigt, daß für solche Fahrbahnen die übliche Kennzeichnung allein mit Hilfe der Leistungsspektralfunktion unter stillschweigender Annahme einer Gaußverteilung der Unebenheiten nicht ausreichend ist.

Besonders bei der Berechnung der die Belastung eines Fahrzeugs kennzeichnenden Maße treten Fehler auf, was an zwei Beispielen gezeigt wird.

1. Einleitung

Die Schwingungsanregung eines Fahrzeuges durch Fahrbahnunebenheiten ist im Normalfall stochastischer Natur. Das stochastische (zufällig zeitlich veränderliche) Signal "Fahrbahnunebenheiten" wirkt auf das dynamische System "Fahrzeug", in dem als Folge der Anregung Belastungen auftreten, deren Größe bestimmt wird von:

1. den Eigenschaften des Eingangssignals,
2. den Transformationsgesetzen, nach denen ein Eingangssignal beim Durchlaufen eines Systems zum Beanspruchungsort hin abgebildet wird,
3. der Bewertung der Eigenschaften des Signals am Beanspruchungsort je nach dem Untersuchungskriterium.

Der folgende Beitrag behandelt jeden dieser Einflußkomplexe in einem eigenen Abschnitt: Die Beziehungen zur Beschreibung der Eigenschaften eines Signals werden in Abschnitt 2 angegeben, der Abschnitt 3 beschäftigt sich mit den Transformationsgesetzen,

*) Dr.-Ing. W. Paul ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

und im Abschnitt 4 werden die Gründe für unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe aufgezeigt. Nach dieser Darstellung der grundlegenden Beziehungen werden in Abschnitt 5 an zwei Beispielen die Unterschiede dargelegt, die sich ergeben, wenn anstelle der exakten Verteilung der Fahrbahnebenheiten mit einer Gauß-Verteilung gerechnet wird, wie es heute meist geschieht.

2. Eigenschaften stochastischer Signale

Die vollständige mathematische Beschreibung eines ergodischen stochastischen Signals geschieht durch seine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und zusätzlich seine Autokorrelationsfunktion oder seine Leistungsspektralfunktion. (Ergodisch kennzeichnet hier eine Reihe mathematischer Forderungen, die bei Fahrbahnen praktisch immer erfüllt sind [2].) Die Autokorrelationsfunktion und die Leistungsspektralfunktion eines Signals können eindeutig ineinander umgerechnet werden. Sie beschreiben deshalb letztlich denselben physikalischen Sachverhalt, nämlich die Verteilung der Frequenzanteile des Signals. Unabhängig von den zeitlichen Eigenschaften eines Signals sind aber die Häufigkeiten, mit der einzelne Amplituden auftreten. Dieser Sachverhalt wird durch die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Signals beschrieben. Beide Funktionen, die Leistungsspektralfunktion (oder die Autokorrelationsfunktion) und die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, haben unterschiedliche Aussagegehalte. Nur im Spezialfall, wenn die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion eine Gauß-Verteilung ist, enthält die Leistungsspektralfunktion die volle Information über das Signal. Bei nichtgaußverteilten Signalen geht jedoch bei Betrachtung nur der Leistungsspektralfunktion Information verloren. Dies kann, wie im Abschnitt 5 gezeigt wird, zu Fehlern führen.

Zur exakten Darstellung werden im folgenden so knapp wie möglich die für den betrachteten Fall relevanten mathematischen Beziehungen angegeben. Sie sind in vielen Lehrbüchern über stochastische Signale ausführlich beschrieben und begründet.

2.1 Einige grundlegende Definitionen

Die Wahrscheinlichkeitsdichte ist definiert als der auf die Bereichsbreite Δx bezogene Grenzwert der Wahrscheinlichkeit, mit der das zeitlich veränderliche Signal $x(t)$ im Bereich $(x, x + \Delta x)$ liegt:

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\text{Prob} [x \leq x(t) \leq x + \Delta x]}{\Delta x} \quad (1)$$

Aus der Definition Gl. (1) ergibt sich sofort die Wahrscheinlichkeit, mit der die Amplitude eines Signals $x(t)$ gerade im Bereich (x_1, x_2) liegt

$$\text{Prob} [x_1 \leq x(t) \leq x_2] = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx \quad (2)$$

Das i -te Moment des Signals ist definiert als

$$m_i = \int_{-\infty}^{\infty} x^i p(x) dx \quad (3)$$

Die Momente bestimmen vollständig die Verteilung eines Signals. Nun ist aber, wie man zeigen kann, das erste Moment auch gleich dem zeitlichen Mittelwert eines Signals:

$$m_1 = \mu = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (4)$$

und das zweite Moment ist gleich dem zeitlichen Mittelwert des Quadrates des Signals:

$$m_2 = \psi = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (5)$$

Die Wurzel aus dem zweiten Moment heißt quadratischer Mittelwert, und die oft benutzte Varianz ist als mittleres Quadrat der Abweichungen vom Mittelwert (mittleres Abweichungsquadrat) definiert:

$$\text{Var} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu]^2 dt = \psi - \mu^2 \quad (6)$$

Die Autokorrelation als Beziehung der Abhängigkeit der um τ Zeiteinheiten in der Zukunft liegenden Werte eines Signals von den bisherigen Werten ist definiert als

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) x(t + \tau) dt \quad (7)$$

Aus Gl. (7) sind die Beziehungen

$$\psi = R_x(0) \quad (8)$$

und

$$\mu = \sqrt{R_x(\infty)} \quad (9)$$

abgeleitet.

Alternativ zur Autokorrelationsfunktion wird auch oft die Leistungsspektralfunktion (auch Leistungsdichtefunktion, spektrale Dichte oder Power-Spektrum genannt) verwendet. Besonders beim Betrachten von linearen Prozessen bringt diese Beschreibung Vorteile, weil man mit ihr direkt an die ausgereifte Theorie der Beschreibung linearer Systeme im Frequenzbereich anknüpfen kann. Die Leistungsspektralfunktion ist die Fourier-Transformierte der Autokorrelationsfunktion:

$$\Phi_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (10)$$

Für die Deutung der Leistungsspektralfunktion als dem Mittelwert des Quadrates eines bestimmten Frequenzanteils des Signals ist jedoch folgende Darstellung besser geeignet:

$$\Phi_x(\omega) = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta \omega} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t, \omega, \omega + \Delta \omega) dt \right] \quad (11)$$

Die Leistungsspektralfunktion beschreibt also die Verteilung der Frequenzanteile des Quadrates des Signals. Alle Eigenschaften der Autokorrelationsfunktion werden entsprechend der Transformation abgebildet. Insbesondere gilt:

$$\mu = \sqrt{\Phi_x(0)} \quad (12)$$

und

$$\psi = \int_0^{\infty} \Phi_x(\omega) d\omega \quad (13)$$

Nun gilt für eine Vielzahl von stochastischen Signalen, daß ihre Wahrscheinlichkeitsdichte gaußverteilt (normalverteilt) ist:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \text{Var}}} \exp \left[-2 \frac{(x-\mu)^2}{\text{Var}} \right] \quad (14).$$

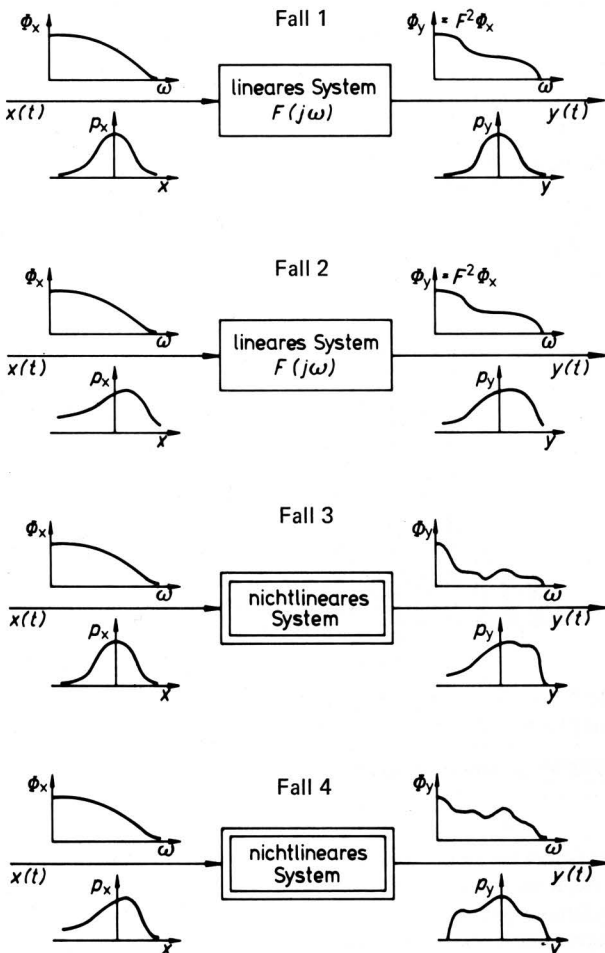
Die Annahme der Gaußverteilung ist wahrscheinlich auch für normale Fahrbahnen gerechtfertigt. Für solche Fahrbahnen kann eine vollständige Beschreibung der Fahrbahnoberfläche allein durch Angabe der Autokorrelationsfunktion oder der Leistungsspektralfunktion erfolgen. Denn wegen der Eigenschaft "gaußverteilt" werden zur Kennzeichnung der Wahrscheinlichkeitsdichte nach Gl. (14) nur die ersten beiden Momente benötigt, die nach Gln. (12) und (13) oder (8) und (9) als Information in der Leistungsspektralfunktion oder der Autokorrelationsfunktion mit enthalten sind. Die Annahme einer Gaußverteilung ist jedoch bei sehr unebenen Fahrbahnen oftmals nicht gerechtfertigt.

3. Eingangs- Ausgangs- Beziehungen

Die Eingangs-Ausgangs-Beziehungen geben an, wie das stochastische Signal "Fahrbahnebenheitshöhe" am Belastungsort abgebildet wird.

Bei den Eingangs-Ausgangs-Beziehungen sind zwei wichtige Abbildungsgesetze zu beachten. Zum einen gilt für die einfache nichtdynamische Abbildung, bei der der Ausgang y eine Funktion des Einganges x ist [$y(t) = f(x(t))$] für die Transformation der Amplitudenverteilung des Ausgangssignals folgende Regel:

$$p(y) = p(x)/(dy/dx) = p(x)/f' \quad (15).$$



Für lineare dynamische Systeme mit dem Frequenzgang $F(j\omega)$ gilt folgende Transformation der Leistungsspektralfunktion:

$$\Phi_y = F(j\omega)^2 \Phi_x \quad (16).$$

Die Beziehungen (15 und 16) beschreiben die Zustände jedoch nur für Spezialfälle. Einige weitere Abbildungsgesetze für nichtlineare dynamische Systeme sind in [3] angegeben. Im allgemeinen müssen die sich ergebenden Verhältnisse jedoch durch Experiment oder Simulation ermittelt werden. Die Simulation ist mit den heutigen Rechentechniken problemlos, entsprechende Programme sind bekannt [4].

Neben den quantitativen Beziehungen Gln. (15) und (16) können für den allgemeinen Fall nur qualitative Aussagen gemacht werden. In Bild 1 sind einige wichtige qualitative Beziehungen zusammengestellt [3]. Der Fall 1 bezeichnet den häufig als Normalfall angesehenen Prozeß, bei dem ein gaußverteilttes Eingangssignal $x(t)$ mit definierter Leistungsspektralfunktion durch ein lineares System mit dem Frequenzgang $F(j\omega)$ transformiert wird. Am Ausgang läßt sich dann die Leistungsspektralfunktion nach Gl. (16) berechnen. Die Eigenschaft "gaußverteilt" bleibt auch für das Ausgangssignal $y(t)$ erhalten. Die Form der gaußschen Amplitudenverteilung läßt sich mit Gl. (13) aus der Leistungsspektralfunktion sofort herleiten. Ist jedoch das Eingangssignal nicht gaußverteilt, so wird die Amplitudenverteilung am Ausgang auch eines linearen Systems verzerrt, Fall 2. Die Leistungsspektralfunktion am Ausgang eines nichtlinearen dynamischen Systems mathematisch auszudrücken, ist in der Regel nicht möglich. Auch bleibt bei nichtlinearen Systemen die Eigenschaft "gaußverteilt" eines Eingangssignals nicht erhalten, Fall 3. Die Verhältnisse bei nichtgaußischem Signal und nichtlinearem System, Fall 4, können erst recht nur experimentell ermittelt werden.

4. Bewertungsmaßstäbe für Schwingungen am Fahrzeug

Im allgemeinen werden zwei Kriterien zur Bewertung von Schwingungen am Fahrzeug betrachtet:

- die Belastung des Menschen und
- die Belastung des Fahrzeugs.

Die Belastung des Menschen durch Schwingungen kann nach der VDI-Richtlinie 2057 als K-Wert ausgedrückt werden. In den K-Wert gehen bei konstanter Wirkungsrichtung nur die Amplituden und die Frequenzen der Schwingungen ein. Die Schwingungsbelastung des Menschen ist proportional der Größe der Amplituden der Schwingungsanregung. Im allgemeinen wird durch konstruktive Maßnahmen (Sitzfederung etc.) die Schwingung vom Ort der Anregung (Fahrbahn) zum Ort der Belastung jedoch verkleinert, so daß unterschiedliche Amplituden bei der Anregung entsprechend proportional abgeschwächte Unterschiede in der Belastung erzeugen.

Die Belastung des Fahrzeugs kann gekennzeichnet werden nach der Betriebsfestigkeit seiner schwingbruchgefährdeten Bauteile. Die Lebensdauer metallischer Werkstoffe und Bauteile hängt mit der vierten bis zehnten Potenz von der Beanspruchungshöhe des Kollektivs der mechanischen Spannungsamplituden ab [8]. Über den Einfluß unterschiedlicher Verteilungen der Amplituden der Spannungen auf die Lebensdauer von Bauteilen gibt es zwar noch keinen gesicherten formelmäßigen Zusammenhang, doch können bei gleichem Beanspruchungshöchstwert Unterschiede in der Lebensdauer zwischen 10^4 und 10^8 Lastspielen je nach Verteilungsform beobachtet werden [8]. Dabei fällt die Lebensdauer um so kürzer aus, je mehr große Amplituden im zeitlichen Beanspruchungsverlauf enthalten sind. Dies entspricht der starken Potenzabhängigkeit der Lebensdauer von den Spannungsamplituden.

Für die Abbildung der Fahrbahnebenheiten auf die Lebensdauer der Bauteile eines Fahrzeugs gelten bei jedem Fahrzeug und jedem Bauteil die unterschiedlichsten, formelmäßig kaum angebbaren Gesetzmäßigkeiten. Um die Abweichungen der Verteilung der Fahrbahnebenheitshöhen von der Gaußverteilung nicht zu

Bild 1. Eingangs-Ausgangs-Beziehungen für stochastische Signale.

stark zu bewerten und um mögliche Transformationen nach Gl. (15) zu berücksichtigen, wird im folgenden angenommen, daß der notwendigen Bewertung des Belastungssignals am Belastungsort mit der vierten bis zehnten Potenz eine auf die dritte Potenz reduzierte Bewertung des Eingangssignals am Entstehungsort entspricht.

5. Beispiele zur Bewertung von Fahrbahnen

Für eine Betrachtung, mit der der Fehler in Bezug auf die Schwingungsbelastung des Menschen und die Fahrzeugbelastung allgemein untersucht werden soll, der bei stillschweigender Annahme der Eigenschaft "gaußverteilt" für die Fahrbahnunebenheitshöhen auftreten kann, sind nach obigen Ausführungen folgende Annahmen gerechtfertigt:

1. Der Einfluß der Frequenzen der Schwingungen interessiert in diesem Zusammenhang nicht.
2. Die Abbildung des Eingangssignals "Fahrbahnunebenheitshöhe" auf den Bewertungsort ist im allgemeinen nicht definiert.

In diesem Beitrag wird deshalb die eigentlich am Belastungsort vorzunehmende Bewertung direkt auf die Fahrbahnunebenheitshöhe angewendet. Betrachtet wird der Fehler zwischen angenommener Gaußverteilung und gemessener realer Verteilung.

5.1 Belgisch-Block-Bahn

Aufgenommen ist die Oberfläche der Fahrspur einer Marterstrecke der Bundeswehr in Trier, 1,60 m vom rechten Fahrbahnrand entfernt. (Alle anderen Fahrspuren dieser Erprobungsbahn zeigten übrigens ähnliche Eigenschaften). Die Spur wurde photogrammetrisch vermessen¹⁾. Bild 2 zeigt die Autokorrelationsfunktion, Bild 3 die daraus errechnete Leistungsspektralfunktion. Die aus der Korrelationsfunktion errechnete Gaußverteilung der Amplituden der Fahrbahnunebenheiten zeigt Bild 4 (leere Säulen). Die wirkliche, gemessene Amplitudenverteilung mit der Schiefe -0,301 und dem Exzeß -0,85 ist zum Vergleich eingetragen (schraffierte Säulen).

Interessant sind nun die Unterschiede bei einer proportionalen Bewertung der jeweiligen Häufigkeiten der Amplituden der Fahrbahnunebenheiten (als Einflußgröße für den K-Wert), Bild 5, und bei einer mit 3 potenzierten Bewertung (als Einflußgröße auf die Lebensdauer), Bild 6. Denn die Schwingungsbelastung von Mensch oder Maschine ist proportional der Summe der Häufigkeiten des Auftretens einer Unebenheitshöhe multipliziert mit der Unebenheitshöhe selbst bzw. deren dritter Potenz. Bild 5 und 6 sind so normiert, daß die Summe der bewerteten Häufigkeiten gleich 100 für die angenommene Gaußverteilung ist.

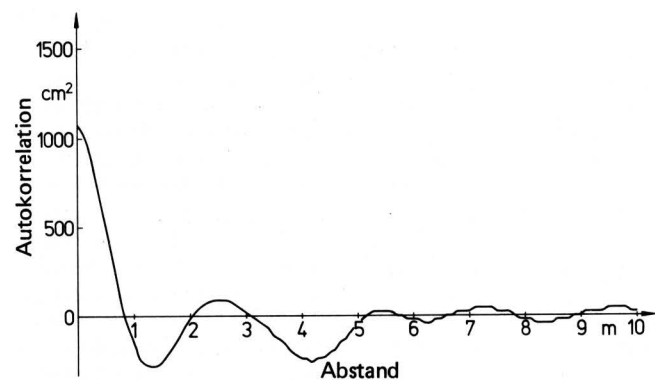


Bild 2. Autokorrelationsfunktion einer Belgisch-Block-Bahn.

1) Der Autor dankt seinem ehemaligen Kollegen Dipl.-Ing. G. Vellguth für die umfangreiche Datensammlung.

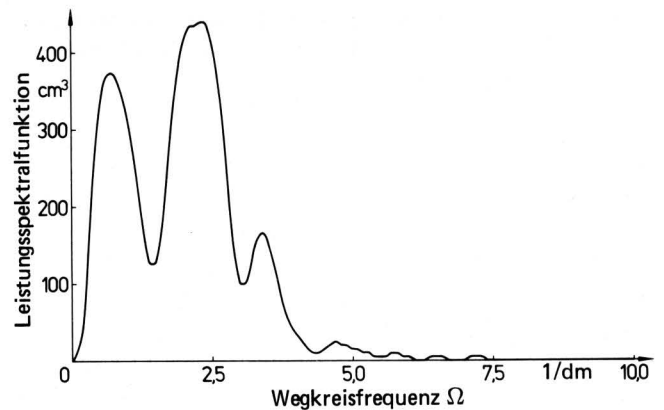


Bild 3. Leistungsspektralfunktion einer Belgisch-Block-Bahn.

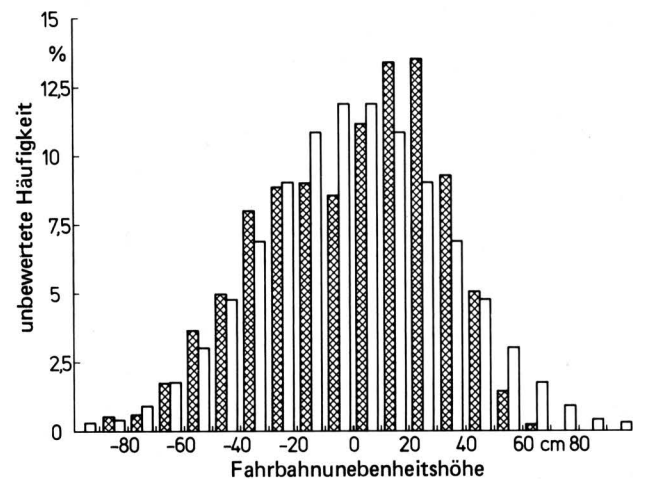


Bild 4. Vergleich der gemessenen Amplitudenverteilung der Fahrbahnunebenheitshöhen mit einer angenommenen Gaußverteilung der Amplituden, Belgisch-Block-Bahn.

■ gemessene Verteilung
□ Gaußverteilung

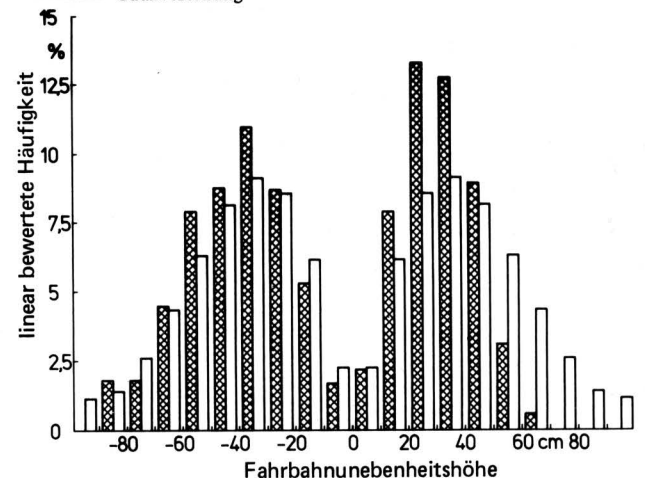


Bild 5. Vergleich der proportionalen Amplituden bewerteten Verteilungen, Belgisch-Block-Bahn.

■ gemessene Verteilung
□ Gauß-Verteilung

Der Fehler bei stillschweigender Annahme einer Gaußverteilung ist bei Komfortbetrachtungen dann gleich der Differenz zwischen der Summe aller schraffierten Säulen und der Summe der leeren Säulen, Bild 5, bei Lebensdauerbetrachtungen gleich der Differenz der Summen der Säulen aus Bild 6. Die Rechnung ergibt, daß trotz großer Abweichungen zwischen der wirklichen Amplitudenverteilung und der Gaußverteilung in den nach der proportionalen Be-

wertung errechneten Histogrammen, Bild 5, erstaunlicherweise nur ein relativ kleiner Unterschied besteht (Summenfehler = 4 %).

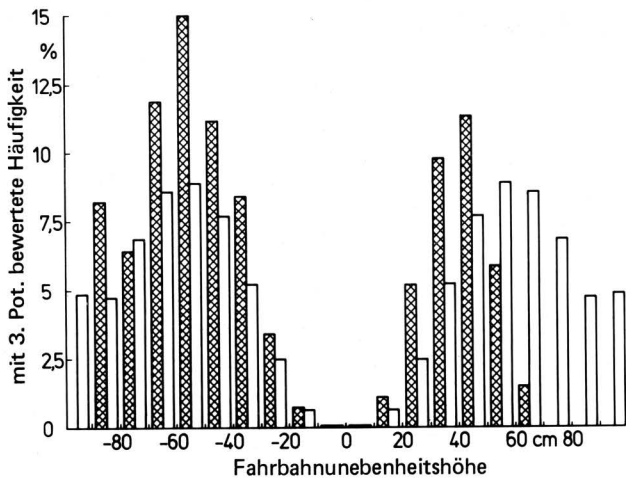


Bild 6. Vergleich der mit der dritten Potenz der Amplituden bewerteten Verteilungen, Belgisch-Block-Bahn.

gemessene Verteilung
 Gauß-Verteilung

Bei einer mit der Potenz der Amplituden vorgenommenen Bewertung, Bild 6, ergeben sich jedoch beträchtliche Unterschiede. Der Fehler bei der stillschweigenden Annahme einer Gaußverteilung beträgt hier 30,5 % bei einer Bewertung mit der dritten Potenz der Amplituden und steigt schnell bei einer Bewertung mit höheren Potenzen.

5.2 Rübenacker

Aufgenommen ist die Oberfläche der Fahrspur eines Rübenackers quer zur Roderichtung. Die Daten stammen von *Wendeborn* [5]. **Bild 7** zeigt auch hier wieder die wirkliche Amplitudenverteilung im Vergleich zur theoretisch angenommenen Gaußverteilung. Die Schiefe der wirklichen Verteilung beträgt -0,18, der Exzeß ist gleich -0,61. Bei einer Bewertung proportional der Unebenheitshöhe (ohne Bild) und mit der dritten Potenz der Amplituden, **Bild 8**, ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie unter 5.1. Bei der proportionalen Bewertung tritt bei stillschweigender Annahme einer Gaußverteilung in der Summe ein geringer Fehler auf (= 6 %), bei der Bewertung mit der dritten Potenz jedoch ein Fehler von 15 %, Bild 8, der ebenfalls schnell auf Werte über 100 % bei höheren Potenzen steigt.

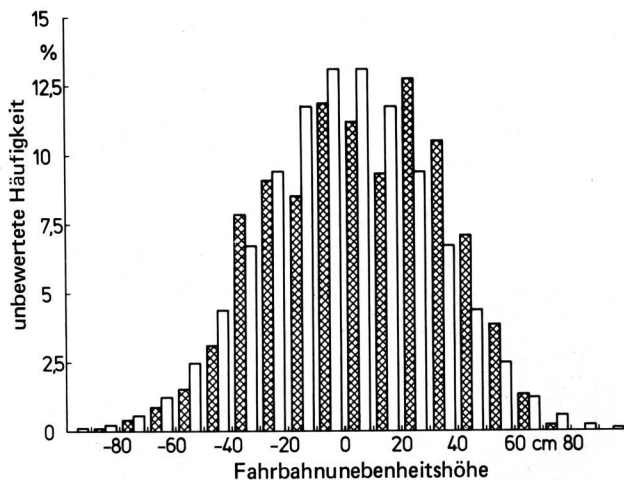


Bild 7. Vergleich der gemessenen Amplitudenverteilung mit einer angenommenen Gaußverteilung, Rübenacker.

gemessene Verteilung
 Gauß-Verteilung

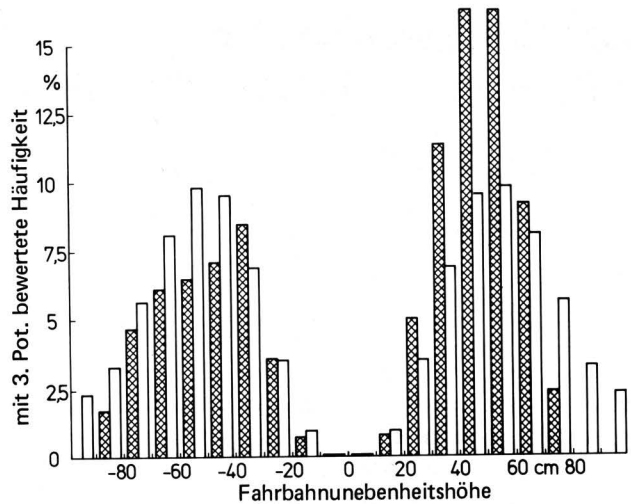


Bild 8. Vergleich der mit der dritten Potenz der Amplituden bewerteten Verteilungen, Rübenacker.

gemessene Verteilung
 Gauß-Verteilung

6. Zusammenfassung

Anhand von Beispielen ist gezeigt, daß die Beschreibung unebener Fahrbahnen durch die Leistungsspektralfunktion allein zu Fehlern führen kann, hervorgerufen durch die oftmals nicht zulässige stillschweigende Annahme einer Gaußverteilung der Amplituden. Diese Fehler sind bei Betrachtungen zum Fahrkomfort in den behandelten Beispielen gering, bei Zeitfestigkeitsbetrachtungen jedoch hoch. Besonders bei Untersuchungen zur Lebensdauer mit Hilfe von Marterbahnen [6] oder elektrohydraulischen Simulatoren [7] ist deshalb neben der Leistungsspektralfunktion auch die Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Amplituden der Fahrbahnunebenheiten notwendig. Über die wirklich auftretenden Beanspruchungen aufgrund der Eingangsanregung "Fahrbahnunebenheitshöhe" kann im allgemeinen nur eine spezielle Simulation Antwort geben. Für den Bau von Marterbahnen ergibt sich gleichzeitig die Konsequenz, auf die Gaußverteilung der Unebenheiten zu achten, um an die übliche Lebensdauertheorie anknüpfen zu können.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Hailer, K.-E., W. Rixmann u. I. Schmidt:* Forschungen und Entwicklungen am Automobil 1974 – Bericht vom XV. Fisita-Kongreß in Paris. ATZ Bd. 76 (1974) Nr. 9, S. 277/84.
- [2] ● *Bendat, I.S. u. A.G. Piersol:* Random Data: Analysis and Measurement Procedures. New York: Wiley 1971.
- [3] ● *Schlitt, H.:* Stochastische Vorgänge in linearen und nichtlinearen Regelkreisen. Braunschweig: Vieweg 1968.
- [4] ● *Fabian, L.:* Zufallsschwingungen und ihre Behandlung. Berlin/Heidelberg: Springer 1973.
- [5] *Wendeborn, J.O.:* Beschreibung von Fahrhahnoberflächen durch die spektrale Dichte der Unebenheiten. ATZ Bd. 69 (1967) Nr. 4, S. 117/18.
- [6] *Radaj, D.:* Ermittlung der Belastbarkeit von Fahrzeugen auf Ersatzfahrbahnen in einem abgekürzten Verfahren. ATZ Bd. 70 (1968) Nr. 8, S. 294/96 u. Nr. 11, S. 395/98.
- [7] *Braun, H.:* Auslegung elektro-hydraulischer Fahrhah-unebenheits-Simulatoren. ATZ Bd. 73 (1971) Nr. 6, S. 205/11.
- [8] *Haibach, E.:* Probleme der Betriebsfestigkeit von metallischen Konstruktionsteilen. VDI-Z. Bd. 113 (1971) Nr. 5, S. 397/403.