

Bewertung der Zuverlässigkeit von Landmaschinen

Prof. Dr. sc. techn. G. Ihle, KDT

1. Bedeutung der Zuverlässigkeitsbewertung

Die Kenntnis der Zuverlässigkeit einer Landmaschine gewinnt sowohl für den Hersteller als auch für den Nutzer immer mehr an Bedeutung. Oft entscheidet die Gebrauchseigenschaft „Zuverlässigkeit“ über die Aufnahme einer Landmaschine in die Serienproduktion. Das Schädigungsverhalten der Landmaschinen bestimmt in hohem Maß die Effektivität der Maschinensysteme in der Landwirtschaft. Die Gewährleistung einer hohen und wirtschaftlichen Zuverlässigkeit ist somit ein bedeutender Beitrag für die Durchsetzung der ökonomischen Strategie des X. Parteitagess der SED für die 80er Jahre im Bereich der Landtechnik.

Die Zuverlässigkeitssicherung und -bewertung in der Landtechnik muß folgende Ziele haben:

- Herausarbeiten der Vorzüge der Landmaschine im Vergleich mit Vorgängermaschinen oder mit analogen Erzeugnissen anderer Produzenten

- Hieraus ergeben sich wichtige Einflüsse auf die Preisbildung im Inland und für den Export. Eine hohe Zuverlässigkeit im Sinn der langen Haltbarkeit der Konstruktion ist ein gutes Verkaufsargument auf dem Weltmarkt. Eine hohe Energie- und Werkstoffökonomie rückt aber weltweit immer mehr eine hohe Zuverlässigkeit im Einsatz mit optimaler Nutzung der planmäßigen Instandhaltung in den Mittelpunkt. Die sozialistischen Länder haben eine solche Haltung seit Jahrzehnten eingenommen. Die 25. Tagung der Europäischen Qualitätsorganisation (EQQC) in Paris stellte diese Tendenz seit Mitte der 70er Jahre auch für viele Maschinenbauerzeugnisse in kapitalistischen Ländern fest.

- Vermeiden von Garantiekosten

Eine hohe Zuverlässigkeit auch unter Nutzung der planmäßigen Instandhaltung gestattet es dem Hersteller, langzeitige Garantien zu übernehmen, ohne den Aufwand dafür zu sehr ansteigen zu lassen. Juran [1] stellt fest, daß in Westeuropa und in den USA bis zu 40 % der Betriebsbelegschaften für die Beseitigung verdeckter Mängel in der Produktion eingesetzt sind.

- Projektieren und Realisieren eines optimalen Einsatzes und einer optimalen Instandhaltung der Landmaschine

An erster Stelle ist aus dieser Sicht natürlich der Nutzer an Zuverlässigkeitskennwerten interessiert, damit er nicht erst selbst langwierige Erfahrungen mit der Landmaschine sammeln muß. Aber auch die wachsende Verantwortung des Herstellers für die Betreuung seiner Erzeugnisse über den Garantiezeitraum hinaus, d. h. auch für die Ersatzteilversorgung unter Berücksichtigung der Einzelteilinstandsetzung, läßt für diesen die Bedeutung der Kenntnis der Zuverlässigkeit wachsen.

2. Arten von Zuverlässigkeitskennwerten

Im Begriff der Zuverlässigkeit werden die Eigenschaften einer Landmaschine, ihrer Baugruppen oder Einzelteile zusammengefaßt, über eine bestimmte Betriebsdauer die durch

den Fertigungsprozeß geschaffenen Funktionsparameter unter bestimmten Einsatzbedingungen in vorgegebenen Grenzen zu erhalten [2]. Bisher sind Zuverlässigkeitskennwerte auf der Basis von Zeit- oder Betriebsdauergrößen (s. Tafel 1, Komplexe „Langlebigkeit“ und „Ausfallfreiheit“), wie z. B. die Grenznutzungsdauer, vorherrschend. Mit stärkerer Verknüpfung der Maschinen zu Maschinenketten und Anlagen erweitert sich aber auch für Landmaschinen der Zuverlässigkeitsbegriff [3].

Es lassen sich drei charakteristische Zustände einer Landmaschine unterscheiden:

- volle Funktionsfähigkeit
- eingeschränkte Funktionsfähigkeit (das System ist arbeitsfähig, es treten aber Abweichungen in Leistung, Arbeitsqualität, Produktionsaufwand u. a. auf)
- Ausfall (das System hat seine Funktionsfähigkeit vollständig verloren, es produziert nicht mehr oder nur Ausschuß).

Daraus ergeben sich Zuverlässigkeitskenngrößen in den drei Komplexen „Langlebigkeit“, „Fehlerfreiheit“ und „Instandhaltungseignung“.

Langlebigkeit

Diese Zuverlässigkeitskennwerte charakterisieren die Beziehungen der Funktionsfähigkeit (volle und eingeschränkte) einerseits und des Ausfalls andererseits, wenn dieser einen Ersatz oder eine Grundinstandsetzung des Objekts nach sich zieht. Eine typische Größe ist die mittlere Grenznutzungsdauer z. B. eines Antriebsmotors bis zur Grundinstandsetzung (weitere Kenngrößen für alle Komplexe s. Tafel 1).

Fehlerfreiheit

Diese Zuverlässigkeitskennwerte charakterisieren die Beziehungen zwischen der vollen Funktionsfähigkeit einerseits und der eingeschränkten Funktionsfähigkeit sowie dem Ausfall mit Teilinstandsetzungen andererseits. In Abhängigkeit vom Inhalt der eingeschränkten Funktionsfähigkeit sind folgende Arten der Fehlerfreiheit sinnvoll:

- Ausfallfreiheit

Diese Zuverlässigkeitskennwerte charakterisieren die Beziehungen zwischen der vollen Funktionsfähigkeit und dem Ausfall, der eine Teilinstandsetzung nach sich zieht. Typische Vertreter sind der mittlere Abstand zwischen 2 Ausfällen (mittlere ausfallfreie Nutzungsdauer) und die Verfügbarkeit als der mittlere Anteil der produktiven Betriebsdauer an der gesamten Betriebsdauer.

- Produktionsstabilität

Kennwerte dieser Art charakterisieren den Einfluß der Leistungs- und/oder Qualitätsminderung infolge eingeschränkter Funktionsfähigkeit und Ausfalls, z. B. das Verhältnis des realen Druschergebnisses eines Mähdreschers zum theoretischen Wert in der gleichen Betriebsdauer.

- Aufwandsstabilität

Kennwerte dieser Art charakterisieren den erhöhten Aufwand an lebendiger Arbeit, Material und Energie in der Bedienung und Instandhaltung, z. B. das Verhältnis der technologischen Kosten eines Mähdreschers in einem Zeitintervall T_{02} zur Summe der technologischen Kosten und des schädigungsbedingten Mehraufwands im gleichen Zeitintervall.

- Stabilität der Arbeitsbedingungen

Tafel 1. Auswahl von Zuverlässigkeitskennwerten für Landmaschinen

Komplex	Einzelteil	Baugruppe	Maschine	Anlage
Langlebigkeit	mittlere Grenznutzungsdauer ¹⁾ Überlebenswahrscheinlichkeit ²⁾	mittlere Grenznutzungsdauer ¹⁾ prozentuale Grenznutzungsdauer ²⁾ Überlebenswahrscheinlichkeit	mittlere Grenznutzungsdauer bis zu einer Grundinstandsetzung ²⁾	-
Ausfallfreiheit	-	mittlerer Ausfallabstand ²⁾	mittlerer Ausfallabstand ¹⁾ mittlere Verfügbarkeit ²⁾	-
Produktionsstabilität	-	-	mittleres Verhältnis des realen zum theoretischen Produktionsergebnis ²⁾	mittleres Verhältnis des realen zum theoretischen Produktionsergebnis ¹⁾
Aufwandsstabilität	-	-	mittlerer Anteil der technologischen Kosten an den gesamten Kosten ²⁾	mittlerer Anteil der technologischen Kosten an den gesamten Kosten ¹⁾
Instandhaltungseignung	qualitative Bewertung	qualitative Bewertung	mittlere Ausfalldauer ³⁾ mittlere spezifische Instandhaltungskosten ¹⁾ qualitative Bewertung	mittlere spezifische Instandhaltungskosten ¹⁾ qualitative Bewertung

Angabe der Kennwerte als

1) Vertrauensbereich (untere und obere Grenze)

2) untere Vertrauensgrenze; 3) obere Vertrauensgrenze

Kenngrößen dieser Art charakterisieren den Einfluß erschwerter physischer und psychologischer Belastungen der Bediener infolge von Schädigungen, z. B. der Anteile der Betriebsdauer einer Melkanlage ohne zusätzliche schädigungsbedingte Handarbeit zu deren gesamter Betriebsdauer.

Instandhaltungseignung

Kenngrößen dieser Art charakterisieren die Eignung zur Beseitigung eingeschränkter Funktionsfähigkeit oder von Ausfällen in der Instandhaltung. Kenngrößen sind die mittlere Ausfalldauer oder die mittlere technisch bedingte spezifische Stillstandsdauer je Einheit der produktiven Betriebsdauer T_{02} oder des Produktionsergebnisses (z. B. je Hektar). Zur Instandhaltungseignung gehört auch die Bewertung der instandhaltungsgerechten Konstruktion als qualitatives Bewertungskriterium.

Entsprechend ihrer Einsatzcharakteristik, ihrer Kompliziertheit und der Bedeutung ihrer Arbeit sind jeder Landmaschine schon in den Entwicklungsvorgaben zweckmäßige Zuverlässigkeitskennwerte zuzuordnen und nachzuweisen.

3. Notwendige Aussage einer Zuverlässigkeitsbewertung

Zuverlässigkeitskennwerte sind infolge der großen Streuungen der Schädigungen unter unterschiedlichen Nutzungsbedingungen nur aus vorgegebenen Einsatzfällen zu erfassen. Diese vorher festzulegenden Einsatzbedingungen schließen die Bedienungsqualität, das Einsatzregime und eine bestimmte Instandhaltungsform ein. Als Betriebsdauer können neben Kalenderzeit oder Betriebszeit auch solche Größen der Arbeitsmenge, wie Hektar, Kilometer u. a., Anwendung finden.

Der praktischen Zuverlässigkeitsbewertung werden oft nur die Hauptparameter der Funktionsfähigkeit der Landmaschine zugrunde gelegt, die deren prinzipielle Einsatzmöglichkeit für die vorgesehenen Aufgaben charakterisieren. Ein Mähdrescher ist in diesem Sinn funktionsfähig, wenn er auf dem Feld Getreide mähen und dreschen kann und dabei vorgegebene Verlust- und Qualitätsparameter einhält. Seine Eignung zur Fahrt auf öffentlichen Straßen z. B. bleibt aber oft unberücksichtigt. Hieraus folgt aber, daß für spezielle andere Nutzungsregime, die planmäßig realisiert werden müssen (z. B. Transport oder Abstellung in der Einsatzpause), gesonderte Kennwerte festzulegen sind. Ein solcher Wert könnte der zulässige Aufwand für die Abstellung sein.

Ausschlaggebend für die Exaktheit und Verwendbarkeit einer Zulässigkeitsaussage sind klare Festlegungen für die zulässige Abwei-

chung der Funktionsparameter vom Ausgangswert. Am eindeutigsten sind Zulässigkeitskennwerte, die sich auf einen realen Ausfall beziehen, wie z. B. die Grenznutzungsdauer. Zur Verringerung der subjektiven Einflüsse bei der Datenerfassung werden aber auch hier zusätzliche Festlegungen notwendig (Beispiel: Als Ausfälle gelten nur technisch bedingte Stillstandszeiten mit einer Dauer länger als 15 min – oder eine andere Zeit – bzw. für deren Beseitigung mindestens ein Ersatzteil eingesetzt wird).

Da unplanmäßige Ausfälle meistens vermieden werden müssen, liegen den Grenzkriterien des Einsatzes sehr oft unzulässige Abweichungen der Funktionstauglichkeit zugrunde. Der Einsatz einer Maschine, Baugruppe oder des Einzelteils wird dann abgebrochen, wenn die Arbeitsqualität zu gering ist, wenn die Betriebskosten zu hoch werden oder die Zuverlässigkeit im folgenden Einsatzintervall zu gering geschätzt wird. Es ist verständlich, daß diese Schädigungsgrenzen (Aussonderungsgrenze, Betriebsgrenze) exakt festliegen müssen und einzuhalten sind, wenn die Zuverlässigkeitskennwerte die o. g. Ziele erfüllen sollen.

Die Instandhaltung spielt eine zweifache Rolle für die Zuverlässigkeitsbewertung einer Landmaschine. Einerseits beeinflußt die Qualität der Instandhaltung (z. B. das Niveau der Schadensaufnahme in der Instandsetzung) direkt die Zuverlässigkeit. Zur Zuverlässigkeitssicherung durch den Hersteller gehört also eine ausreichende Instandhaltungsvorschrift. Andererseits gestatten es in nicht wenigen Fällen erst planmäßige Instandsetzungen, die in der Konstruktion potentiell vorhandene Zuverlässigkeit in der Praxis zu realisieren. Die Reserve an Betriebsfestigkeit vieler dynamisch belasteter Landmaschinenteile läßt sich erst dann weitgehend ausnutzen, wenn in der Einzelteilinstandsetzung der Verschleiß an Lagersitzen, Gewinden usw. beseitigt wird [4]. Die möglichst vollständige Nutzung der Zuverlässigkeitsreserve der Konstruktion wird an Bedeutung gewinnen und muß deshalb in der Zuverlässigkeitsbewertung Berücksichtigung finden. Im Wissenschaftsbereich Instandhaltung der Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik der TU Dresden wird eine Richtlinie des ASMW für die Zuverlässigkeitsbewertung landtechnischer Arbeitsmittel [5] erarbeitet, deren Entwurf in der praktischen Zuverlässigkeitsarbeit schon erfolgreich Anwendung fand.

4. Statistische Bearbeitung der Zuverlässigkeitskennwerte

Alle Zuverlässigkeitsangaben sind Charakteristika des stochastischen Nutzungs- und Schädigungsprozesses der Landmaschinen. Sie müssen deshalb nach den Gesetzen der

mathematischen Statistik erfaßt und berechnet werden.

Die stochastischen Einflüsse wirken sowohl über die Mengengesamtheit des Maschinentyps als auch in der fortlaufenden Zeit für jede einzelne Maschine. Die Auswertung der Zuverlässigkeit erfolgt also entweder

- über eine Menge (Stichprobe) von Objekten, z. B. für die mittlere Grenznutzungsdauer und die Überlebenswahrscheinlichkeit, oder
- über eine zeitliche Folge von Ereignissen, z. B. von Ausfällen, für das einzelne Objekt in einem vorgegebenen Betriebsdauerintervall. Nachträglich wird über der Menge der Objekte ausgewertet. Hierzu gehören der mittlere Ausfallabstand und die mittlere Ausfalldauer. Ist das Betriebsdauerintervall für alle Objekte annähernd gleich (zulässige Abweichung $\pm 10\%$), kann ein Zusammenlegen der Betriebsdauerintervalle aller Objekte zu einer einheitlichen Folge zugelassen werden.

Zur Kennzeichnung ihres statistischen Gehalts muß die Angabe der Zuverlässigkeitskenngröße in einer der beiden folgenden Formen erfolgen:

- Punktschätzung aus einer Stichprobe mit Angabe deren Größe
- Schätzen des Vertrauensintervalls oder einer einseitigen unteren bzw. oberen Vertrauensgrenze mit Angabe der statistischen Sicherheit. Die Fußnoten in Tafel 1 geben zweckmäßige Formen der Zuverlässigkeitskenngrößen an. Unterlagen für die Schätzung der Vertrauensgrenzen sind in [5] enthalten.

Die Aussage zur Zuverlässigkeit einer Landmaschine entspricht nur dann den Anforderungen der Praxis, wenn die Darlegungen in den Abschn. 3 und 4 allseitig beachtet werden.

Literatur

- [1] Juran, J. M.: Product Quality – a Prescription for the West. XXV. EOQC-Konferenz Paris 1981, Bd. 3, S. 221–242.
- [2] TGL 26096/01 Zuverlässigkeit in der Technik; Begriffe. Ausg. 1980.
- [3] Ihle, G.; Kubein, J.; Marx, D.; Rößner, K.; Storm, R.: Zur Bewertung der Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 31 (1982) 3, S. 53–57.
- [4] Opitz, B.: Untersuchung des volkswirtschaftlichen Effekts der Verwendung von instandgesetzten Einzelteilen am Beispiel kampagneweise eingesetzter landtechnischer Arbeitsmittel. TU Dresden, Dissertation A 1982.
- [5] Ihle, G.: Entwurf einer ASMW-Richtlinie „Statistischer Nachweis der Zuverlässigkeit landtechnischer Arbeitsmittel“. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik 1981 (unveröffentlicht). A 3935

KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des
VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung
oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz – Werbung