

Entwicklung von Elementen zur Korn-Stroh-Sortierung in einem Dreschwerk mit Hilfe von Methoden der mathematischen Modellierung

Dipl.-Ing. W. Thümer, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
 Dipl.-Ing. J. Paulitz, KDT, VEB Kombinat Fortschritt — Landmaschinen — Neustadt in Sachsen

1. Problemstellung

Wie von Regge [1] zu den Aufgaben der landtechnischen Forschung am Beispiel der Mähdrescherentwicklung ausgeführt wurde, stellt die Intensivierung der Abscheide- und Sortierprozesse im Mähdrescher einen Entwicklungsschwerpunkt dar. Die Untersuchungen der Arbeitselemente sowie deren Relationen untereinander stehen dabei im Vordergrund. Auch die gegenwärtig leistungsfähigsten Maschinen sind noch nicht durchgängig optimiert. Eine umfassende Lösung einer solchen Optimierungsaufgabe ist aufgrund der Vielzahl auftretender Stoff-, Betriebs- und Konstruktionsparameter sowie hinsichtlich verschiedener, meist unterschiedlich gewichteter Bewertungsgrößen nur durch eine mathematische Optimierung möglich. Die Basis der Optimierung bilden mathematische Modelle der in den Arbeitselementen und untereinander ablaufenden Prozesse. In diesem Beitrag werden die Probleme der mathematischen Modellierung im Dreschwerk am Beispiel der im Dreschraum der Schlagleistendrescheinrichtung und an der Leittrommel ablaufenden Prozesse erläutert. Nach Kaplick [2] wird als mathematisches Modell eine mathematische Darstellung der für die jeweilige Aufgabe wesentlichen Seiten des betreffenden verfahrenstechnischen Objekts (in diesem Fall Drescheinrichtung bzw. Leittrommel) in einem begrenzten Bereich mit hinreichender Genauigkeit und in einer für die Anwendung geeigneten Form verstanden. Da das mathematische Modell in Form mathematischer Symbole dokumentiert wird, gestattet es

in relativ einfacher Weise Rückschlüsse auf das Verhalten des realen Objekts oder des realen Vorgangs mit Hilfe formaler Prozeduren und kann somit in effektiver Weise als „Ersatzwirklichkeit“ dienen.

Bei der mathematischen Modellierung unterscheidet man im wesentlichen die analytische, die experimentelle sowie die analytisch-experimentelle Methode.

Inwieweit bei der Modellierung vorwiegend theoretische oder empirische Anteile dominieren, sollte von folgenden Aspekten abhängig gemacht werden [2]:

- Einsatzzweck des Modells
- Gegebenheiten des Prozesses hinsichtlich der Möglichkeiten seiner experimentellen Untersuchung
- Stand der theoretischen Erkenntnisse über den Prozeß
- Verfügbare Fonds an Bearbeitern, Hilfsmitteln und Zeit.

2. Bearbeitungsschritte

Entsprechend dieser genannten Aspekte sowie eigener Erfahrungen bei der Untersuchung der im Dreschraum und an der Leittrommel ablaufenden Prozesse wurde im vorliegenden Fall die analytisch-experimentelle Methode gewählt. Zur Modellierung sind folgende einzelne Bearbeitungsschritte notwendig:

- Ableitung des Optimierungsziels und der Forderungen; Festlegung der Systemgrenzen
- Ermittlung der Struktur des zu modellierenden Objekts
- Analytische Betrachtungen zu den wesentlichen Grundprozessen
- Planung, Durchführung und Auswertung experimenteller Untersuchungen
- Aufstellung analytisch-experimenteller Modelle der Grundprozesse mit Hilfe der Regressionsanalyse
- Prozeßoptimierung auf der Basis eines komplexen Prozeßmodells
- Überprüfung der Ergebnisse durch experimentelle Untersuchungen.

3. Erläuterung der Bearbeitungsschritte an praktischen Beispielen

Nachfolgend sollen die Bearbeitungsschritte anhand der Aufgabenstellung für die Optimierung der im Dreschraum und an der Leittrommel ablaufenden Prozesse erläutert und Besonderheiten herausgearbeitet werden.

3.1. Ableitung des Optimierungsziels und der Forderungen; Festlegung der Systemgrenzen

Der schematische Aufbau und die Systemgrenzen des zu untersuchenden Objekts sind im Bild 1 dargestellt. Die Optimierung ausgewählter Konstruktionsparameter beider Systeme wird mit der Zielfunktion

Körnerabscheidung → Maximum

unter Beachtung der Nebenbedingungen Entkörnung, Strohabscheidung, Körnerbeschädigung, Leistungsbedarf und funktioneller Bewertungskriterien, wie z. B. der Verhinderung von Wicklerscheinungen des Halmgutes an der Dreschtrommel, vorgenommen. Forderungen an die mathematischen Modelle, wie Genauigkeit, Gültigkeitsbereiche sowie vertretbarer Aufwand, ergeben sich aus dem konzipierten Einsatzzweck.

3.2. Ermittlung der Struktur des Objekts

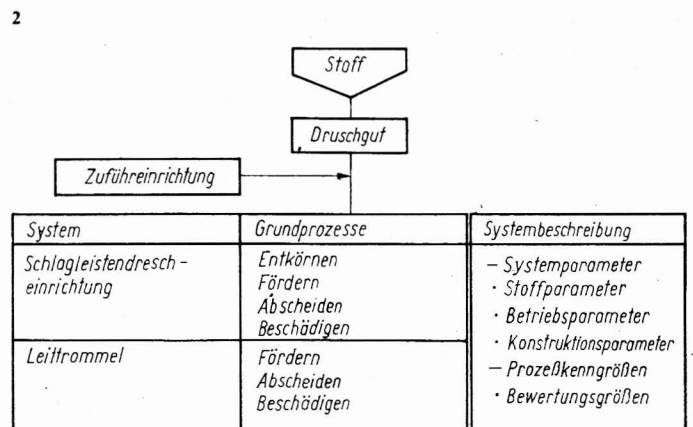
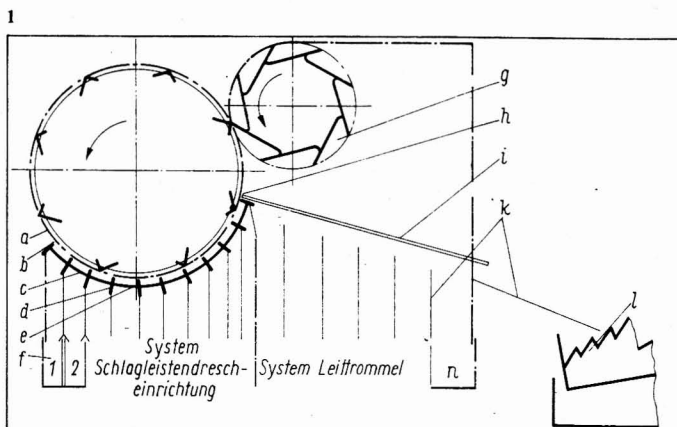
In der Strukturanalyse werden das zu untersuchende Objekt in sinnvolle Teilbereiche zerlegt und die einzelnen Systeme hinreichend verbal beschrieben. Im Bild 2 ist die Grobstruktur der Systeme Schlagleistendrescheinrichtung und Leittrommel dargestellt.

Im einzelnen sind bei der Strukturanalyse folgende Teilschritte zu lösen:

- Abgrenzung des Objekts und gegebenenfalls Aufteilung des Prozeßraumes in untersuchungsfähige und/oder untersuchungswürdige Teilbereiche (Elementarbereichstrahlungsräume)
- Erarbeitung einer hinreichenden Menge wirkender Einflußgrößen, wie Druschgut-, Betriebs- und Konstruktionsparameter, sowie Auswahl zweckmäßiger Bewertungsgrößen.

Bild 1. Schematischer Aufbau der Versuchseinrichtung; a Dreschtrommel, b Eingangspalt, c Korbdraht, d Korbleiste, e Dreschkorb, f Klassierbehälter, g Leittrommel, h Ausgangspalt, i Rechen, k Begrenzungstücher, l Schüttler

— Systemgrenzen
 Bild 2. Strukturanalyse der Systeme



Im vorliegenden Fall werden zur Bewertung folgende Größen verwendet:

- Körner- und Strohabscheidegrad bzw. partieller Körner- und Strohabscheidegrad
- Körnerbeschädigungsgrad
- Leistungsbedarf der Dresch- und Leitrommel.

Um die prozeßbedingten Veränderungen der Werte der Druschgutparameter, wie Durchsatz und Kornanteil, innerhalb des Dreschraums der Schlagleistendrescheinrichtung möglichst hinreichend beschreiben zu können, erwies sich entsprechend dem konstruktiven Aufbau des Prozeßraums die Aufteilung in Elementar betrachtungsräume in Verbindung mit den entsprechenden partiellen Bewertungsgrößen als zweckmäßig (Bild 3).

Die Analyse der Grundprozesse an der Leitrommel ergab, daß die Gemischkomponenten Korn und Stroh aufgrund ihrer unterschiedlichen elastischen Eigenschaften verschiedene physikalische Verhaltensweisen zeigen. Dem eigentlichen Förderprozeß sind Abscheide- und — wegen der mechanischen Belastung der Komponenten — auch Beschädigungsprozesse überlagert.

3.3. Analytische Betrachtungen zu wesentlichen Grundprozessen

Mit dem derzeit bekannten Verfahren zur mehrfach linearen Regressionsanalyse kann man lediglich aus einer Menge vorgegebener Ansatzstrukturen jene auswählen, die der Forderung nach hinreichender Beschreibung des jeweiligen Problems hinsichtlich verschiedener Gütekriterien am umfassendsten genügen. Daher gingen die Autoren aufgrund der Erkenntnisse zu den ablaufenden Grundprozessen nicht von formal-mathematischen, sondern von theoretisch begründeten Ansatzstrukturen aus.

3.3.1. Drescheinrichtung/Dreschkorb

Auf der Grundlage der Bilanzgleichungen für die einzelnen Druschgutteilmenen lassen sich in Anlehnung an Alferov [3] für die Beschreibung der quantitativen Veränderungen, denen die einzelnen Druschgutteilmenen wegen der Prozeßwirkungen Entkörnen und Abscheiden im Bereich der aufeinanderfolgenden Elementar betrachtungsräume unterworfen sind, einfache Differentialgleichungen aufstellen (Bild 3):

— *Körnerabscheidung im Elementar betrachtungsraum [I]*

$$\frac{d(QKY [I])}{dW} = B1 QKX [I+1] \quad (1)$$

— *Strohabscheidungs im Elementar betrachtungsraum [I]*

$$\frac{d(QSY [I])}{dW} = B2 QSX [I+1] \quad (2)$$

Dabei verkörpert der Parameter W die Menge der während der Prozesse wirkenden Einflußgrößen.

Die Identifizierung der Prozeßparameter in den Differentialgleichungen resultiert aus dem Charakter des Datenmaterials, das entsprechend der Methodik der experimentellen Untersuchungen an die Struktur der Elementar betrachtungsräume gebunden ist. Die formalen Lösungen der beiden Differentialgleichungen für den partiellen Körner- bzw. Strohabscheidegrad des Elementar betrachtungsraums I

$$PAK [I] = 100 - A1 \exp(-B1 W) \quad (3)$$

$$PAS [I] = 100 - A2 \exp(-B2 W) \quad (4)$$

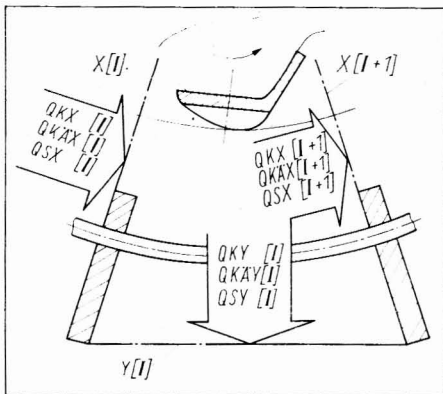


Bild 3. Elementar betrachtungsraum im Bereich der Schlagleistendrescheinrichtung;

QKX, QKY spezifischer Körnerdurchsatz, QKAX, QKAY spezif. Ährenkörnerdurchsatz.

QSX, QSY spezifischer Strohdurchsatz (jeweils auf Ebene X bzw. Y bezogen), X[I] Zuführebene, X[I+1] Überlaufebene, Y[I] Abscheideebene

bilden somit die Grundlage der mathematischen Struktur der zu ermittelnden Prozeßmodelle.

3.3.2. Leitrommel

Die Bedingungen im Betrachtungsraum zwischen Ausgangsspalt, Leitrommel und Auf fangebene gestatten unter Beachtung bestimmter Einschränkungen gegenüber den tatsächlichen Prozeßbedingungen einen physikalisch begründeten theoretischen Ansatz als Basis für das analytisch-experimentelle Modell. Die mathematische Beschreibung der Prozesse wird anhand des im Bild 4 dargestellten Verhaltens von Korn und Stroh an der Leitrommelschaufel unter Beachtung der geometrischen Beziehungen vorgenommen. In dieser Phase werden noch nicht die Bewertungsgrößen Körner- und Strohabscheidegrad zugrunde gelegt, sondern die mathematischen Beziehungen für die theoretisch ermittelten Kenngrößen.

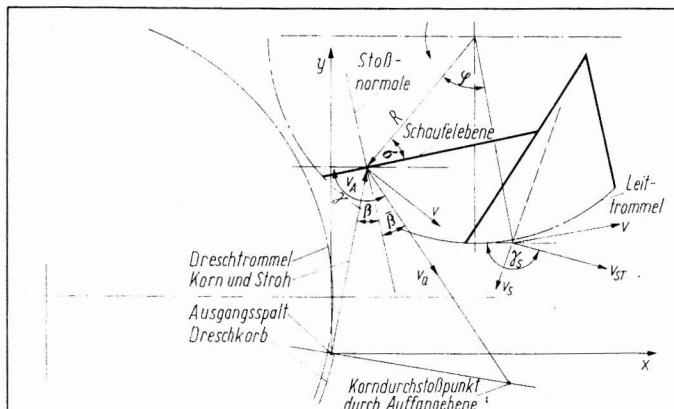
— Abwurfgeschwindigkeit von der Leitrommelschaufel

— Koordinaten des Durchstoßpunktes durch die Auf fangebene unterhalb der Leitrommel

der Gemischkomponenten Korn und Stroh in Abhängigkeit ausgewählter Systemparameter ermittelt. Experimentelle Untersuchungen bestätigen eine hinreichende Korrelation zwischen den o.g. theoretisch ermittelten Kenngrößen und den unmittelbaren Prozeßbewertungsgrößen. Die Struktur der Abhängigkeiten zwischen den theoretisch ermittelten Kenn-

Bild 4. Bewegungsverhältnisse im System Leitrommel;

- v_A Auftreffgeschwindigkeit
- v_Q Kornabwurfgeschwindigkeit
- v_{ST} Strohabwurfgeschwindigkeit
- v_S Strohgleitgeschwindigkeit
- v Umfangsgeschwindigkeit
- R Radius
- φ Drehwinkel
- β Auftreffwinkel
- β Kornabwurfwinkel
- β Kornabwurfwinkel zur Horizontalen
- γ Strohabwurfwinkel zur Horizontalen



größen und den ausgewählten Systemparametern bildet somit die Basis für die analytisch-experimentellen Prozeßmodelle und für die Versuchsplanung.

3.4. Planung, Durchführung und Auswertung experimenteller Untersuchungen

Ausgehend von theoretischen Betrachtungen im Dreschraum und an der Leitrommel wurden unter Beachtung der vorgegebenen Freiheitsgrade der einzelnen Prozeßmodelle, des vertretbaren Aufwands und der Prinzipien der statistischen Versuchsplanung die Versuchsprogramme aufgestellt. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten unter Laborbedingungen. Die Auswertung wurde anhand der bekannten Definitionen (s. Pkt. 3.1.) der Bewertungsgrößen vorgenommen.

3.5. Ermittlung der analytisch-experimentellen Modelle

Die eigentliche Modellsynthese erfolgte mit verschiedenen Programmen zur mehrfach linearen Regression des verfahrenorientierten Programmpakets Statistik (VOPP-STATISTIK) vom VEB Kombinat Robotron. Zu diesem Zweck wurde das Datenmaterial wertungsweise zusammengestellt.

Ein Wertesatz besteht dabei aus

- experimentell ermittelten Prozeßkenngrößen, wie z. B. Durchsatz, Kornanteil, Körner- und Strohabscheidegrade, Umfangsgeschwindigkeiten der Arbeitsorgane
- theoretisch ermittelten Prozeßkenngrößen, wie z. B. Aufwurfgeschwindigkeiten von Körnern und Stroh von der Leitrommelschaufel, Zuordnungswinkel des Dreschkorbs gegenüber der Dreschtrommel, Kontaktfrequenz zwischen Druschgut und Korbleisten.

Das experimentell ermittelte Datenmaterial ist vorher mit geeigneten Methoden auf fehlerbehaftete Meßwerte zu überprüfen und nach deren Aussonderung entsprechend dem Versuchsprogramm gegebenenfalls zu verschiedenen Grundgesamtheiten zusammenzufassen. Notwendige Erweiterungen des Datenmaterials durch Bildung neuer Einfluß- oder Bewertungsgrößen sowie Wechselwirkungen zwischen den Einflußgrößen wurden im Rechenprogramm intern gebildet. Die Analyse möglicher Wechselwirkungen erfolgte bereits in dem Abschnitt der analytischen Betrachtungen zu den wesentlichsten Grundprozessen. Mit Hilfe externer Steuerprozeduren wurden für vorgegebene Bewertungsgrößen die zu verwendenden Einflußgrößen angesteuert und die Regressionsfunktionen bestimmt.

Die Programme des VOPP-STATISTIK zeichnen sich durch hohe Überschaubarkeit und Anwendungsfreundlichkeit aus. Die Güte des gewählten Ansatzes wird mit einer Reihe statistischer Meßzahlen, die vom Rechenprogramm mit ausgedrückt werden, und aus den Abweichungen zwischen Meß- und Rechenwerten der Ausgangsgrößen des Modells bestimmt.

3.6. Prozeßoptimierung

Für die Optimierung ausgewählter Konstruktionsparameter der Drescheinrichtung und der Leittrömmel hinsichtlich der Zielfunktion Körnerabscheidegrad \rightarrow Maximum auf der Grundlage der ermittelten mathematischen Prozeßmodelle müssen zunächst folgende Voraussetzungen geschaffen werden:

— Aufstellen der mathematischen Verflechtungen zwischen den Modellen der Grundprozesse unter dem Aspekt der erforderlichen Gesamtbewertung der Schlagleistendrescheinrichtung und der Leittrömmel

— Festlegen einzuhaltender Nebenbedingungen für die zu optimierenden Prozesse.

Wegen der erfolgten Zerlegung des Dreschraums in Elementar betrachtungsräume werden die notwendigen Voraussetzungen für die Optimierung als Stufenprozeß erfüllt, denn die einzelnen Elementar betrachtungsräume stellen

mathematisch hinreichend beschreibbare Prozeßstufen im Sinn der Verfahrenstechnik dar, so daß die Werte der Ausgangsparameter des Druschgutes eines jeden Elementar betrachtungsraums die Eingangparameter des jeweiligen nachfolgenden, ebenfalls zu optimierenden Elementar betrachtungsraums bilden. Die Optimierung ausgewählter Leittrömmelkonstruktionsparameter erfolgt entsprechend dem Charakter der vorliegenden Prozeßmodelle auf der Basis eines Einstufenprozesses.

Im Rahmen ihrer Untersuchungen wurde von den Autoren unter Berücksichtigung des aufbereiteten Problemcharakters das Optimierungsverfahren der vollständigen Kombination der zu optimierenden Konstruktionsparameter angewendet.

3.7. Überprüfung der Ergebnisse durch experimentelle Untersuchungen

Die Arbeitselemente mit den optimierten Konstruktionsparametern sind in jedem Fall experimentell unter Labor- und Feldbedingungen der entsprechenden Ausgangsvariante gegenüberzustellen, da nur so eine Wertung möglich ist.

4. Zusammenfassung

Die mathematische Modellierung verfahrenstechnischer Prozesse erfolgt zur Regelung,

Steuerung und Auslegung verfahrenstechnischer Objekte.

Für die umfassende Optimierung der Konstruktionsparameter von Landmaschinen bilden analytisch-experimentelle Modelle der wesentlichen Grundprozesse die Grundlage. Im Beitrag wurde speziell die Methodik zur Erstellung analytisch-experimenteller Modelle am Beispiel der Prozesse im Dreschraum der Schlagleistendrescheinrichtung und an der Leittrömmel erläutert.

Sollen die Prozesse im Mähdrescher insgesamt optimiert werden, so sind analytisch-experimentelle Modelle aller ablaufenden Prozesse unter Einbeziehung der wichtigsten Druschgut-, Betriebs- und Konstruktionsparameter notwendig. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auf solche komplexen Optimierungsaufgaben konzentrieren.

Literatur

- [1] Regge, H.: Die Aufgaben der landtechnischen Forschung am Beispiel der Mähdrescherentwicklung. *agrartechnik* 27 (1977) H. 11, S. 499—502.
- [2] Kaplick, K.: Anwendung eines automatisierten Informationssystems für die Leitung, Steuerung und Überwachung einer großtechnischen Anlage. TU Dresden, Sektion 15, Dissertation 1971.
- [3] Alferov, S. A.: Drusch und Abscheidung, als Wahrscheinlichkeitstheoretischer Prozeß. *Traktory i sel'chozm.* (1972) H. 4, S. 23—26.

A 1729

Schäden an Welle-Nabe-Verbindungen

Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT/Dipl.-Ing. R. Grewatsch, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Die Aufwendungen für Aufarbeitung und Neueinsatz von Welle-Nabe-Verbindungen infolge Schädigung bilden einen nennenswerten Anteil am Betriebspreis für die Instandsetzung der landtechnischen Großmaschinen während der Hauptinstandsetzung [1].

Die schadensanalytischen Untersuchungen mit dem Ziel der Ermittlung von Ursache und Wirkung sowie Wechselwirkung zwischen einzelnen Einflüssen sind Voraussetzung für die quantifizierte Zuverlässigkeitsarbeit [2]. In diesem Rahmen sollen erste Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen dargelegt werden.

1. Schadensanalyse 1. Ordnung

Die in [1] und [3] durchgeführten Analysen der Schäden an Welle-Nabe-Verbindungen landtechnischer Großmaschinen sind auf Keil- und Zahnprofilverbindungen beschränkt (Bild 1). Zur Erfassung der hauptsächlichsten Schäden an den genannten Verbindungen wurden die innerhalb einer Woche normaler Produktion ausgesonderten Verbindungen in 4 VEB Kreisbetrieb für Landtechnik einer Auswertung hinsichtlich Schadensform und Schadenshäufigkeit zugeführt.

Die Parameter

- Mitnehmerbreite
 - Innendurchmesser
 - Außendurchmesser
- werden hinsichtlich des Auftretens der Schadensformen
- Abtragung
 - Ausbröckelung
 - Verquetschung
 - Verhämmerung

— Verformung

— Abscherung

beurteilt (Tafel 1).

Aus der in Tafel 1 dargestellten Schädigungsmatrix geht hervor, daß Profilnaben — und zwar besonders die Mitnehmerbreite — die stärksten Abnutzungserscheinungen aufweisen.

Bereits die Schadensanalyse 1. Ordnung zeigt, daß die spezifischen Schadenserscheinungen, die an Welle-Nabe-Verbindungen in der landtechnischen Praxis auftreten, als Überlagerung grundlegender Schadensformen zu deuten sind.

Der Analyse einer spezifischen Schadenserscheinung geht die Kenntnis der grundlegenden Schadensformen voraus.

2. Grundlegende Schadensformen

2.1. Verquetschungen

Verquetschungen treten an aufeinander abrollenden Teilen auf [4]. Die dadurch zur Wirkung kommenden Druckbeanspruchungen überschreiten die Elastizitätsgrenze des Werkstoffs. Die auftretenden Schubspannungen treiben den Werkstoff senkrecht zur Druckrichtung heraus.

Die Verquetschungen sind nur an der belasteten Flanke des Mitnehmers feststellbar. Damit kann aus dieser Schädigungsform auf die Belastungsrichtung geschlossen werden.

2.2. Verhämmerungen

Ursache für Verhämmerungen sind stoßartige

Bild 1
Profilverbindungen in landtechnischen Großmaschinen;

- a) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung als Keilprofil nach TGL 0-5462
- b) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung nach TGL 0-5481
- c) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung als Zahnprofil nach TGL 0-5482

