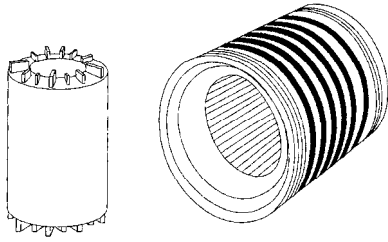
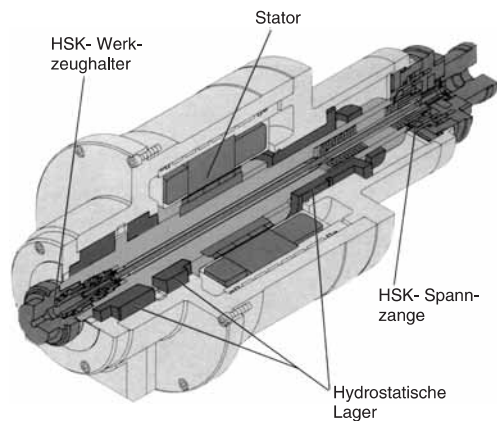


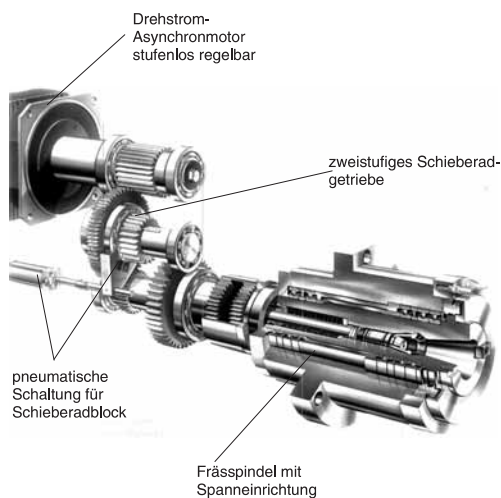
feinbearbeitung, siehe Bild 17.



**Bild 33.** Rotor und Stator eines Asynchron-Einbaumotors (Siemens AG)



**Bild 34.** Frässpindeleinheit als Motorspindel mit Drehstrom-Asynchron-Einbaumotor, hydrostatischer Lagerung und HSK (Hohlspannkegel)-Spannung (Ingersoll Milling Machine Company, Burbach)



**Bild 35.** Hauptantrieb eines Großbearbeitungszentrums mit einem Drehstrom-Asynchronmotor und nachgelagerten pneumatisch geschalteten zweistufigen Getriebe (Heckert, Chemnitz)

## 2.3 Vorschub- und Stellantriebe

### 2.3.1 Ausführungsvarianten von Vorschubantrieben

Vorschubbewegungen haben ihren Ursprung fast immer in rotatorischen Antrieben. Außerdem sind meist niedrige Geschwindigkeiten gefordert. Arbeitstische oder -schlitten müssen vor oder nach der für die Zerspaltung erforderlichen Bewegung sehr schnelle Eilbewegungen ausführen, um in kürzester Zeit Leerwege zu überbrücken.

Vorschubantriebe erzeugen Vorschubbewegungen von Werkstücken oder / und Werkzeugen:

- als *geradlinige* Vorschubbewegung (z. B. bei Drehmaschinen)
- als *kreisende* Vorschubbewegung (z. B. bei Verzahnmaschinen)
- mit *kontinuierlicher* Bewegung (z. B. bei Fräsmaschinen)
- mit *intermittierender* Bewegung (z. B. bei Hobelmaschinen)
- als *unabhängige* Vorschubbewegung (Vorschubgeschwindigkeit in mm/min, eigener Vorschubantrieb, z. B. Fräsmaschinen)
- als von der Schnitt- oder Hauptbewegung des Werkstückes/Werkzeuges *abhängige* Vorschubbewegung (Vorschubgeschwindigkeit in mm/U, wobei  $U = 1$  Umdrehung des Werkstückes/Werkzeuges)

Folgende *Ausführungsvarianten* von *Vorschubantrieben* sind möglich, Bild 36:

- (1) Abhängiger Vorschubantrieb mit mechanischer Ableitung der Drehbewegung von der Arbeitsspindel, Bild oben links. Die Antriebsmittler von der Arbeitsspindel sind in der Regel Zahnradstufen, Zahnräder als Wechselräder insbesondere zur Gewindeherstellung oder Zahnriementriebe. Über das Vorschubgetriebe werden die gewünschten Vorschubwerte eingestellt.
- (2) Abhängiger Vorschubantrieb mit elektronischer Regelung, Bild 36 unten links. Über Drehgeber auf Arbeitsspindel und Vorschubspindel werden Lage-Soll- und Istwert verglichen und über einen Lageregler erfolgt die Konstanthaltung der Vorschubspindeldrehzahl.
- (3) Unabhängiger Vorschubantrieb mit mechanischem Getriebe, Bild 36 oben rechts. Die Anwendung ist bei Vorschüben möglich, die keine direkte Beziehung zur Arbeitsspindeldrehzahl aufweisen müssen. Dies gilt meist dann, wenn die Arbeitsspindel als Werkzeugspindel eingesetzt wird, z.B. beim Fräsen, Bohren, aber auch beim Schleifen für die Zustellbewegung der Schleifscheibe zum Werkstück.
- (4) Unabhängiger Vorschubantrieb mit Schrittmotor und hoch übersetzendem mechanischem Getriebe, Bild 36 Mitte rechts.

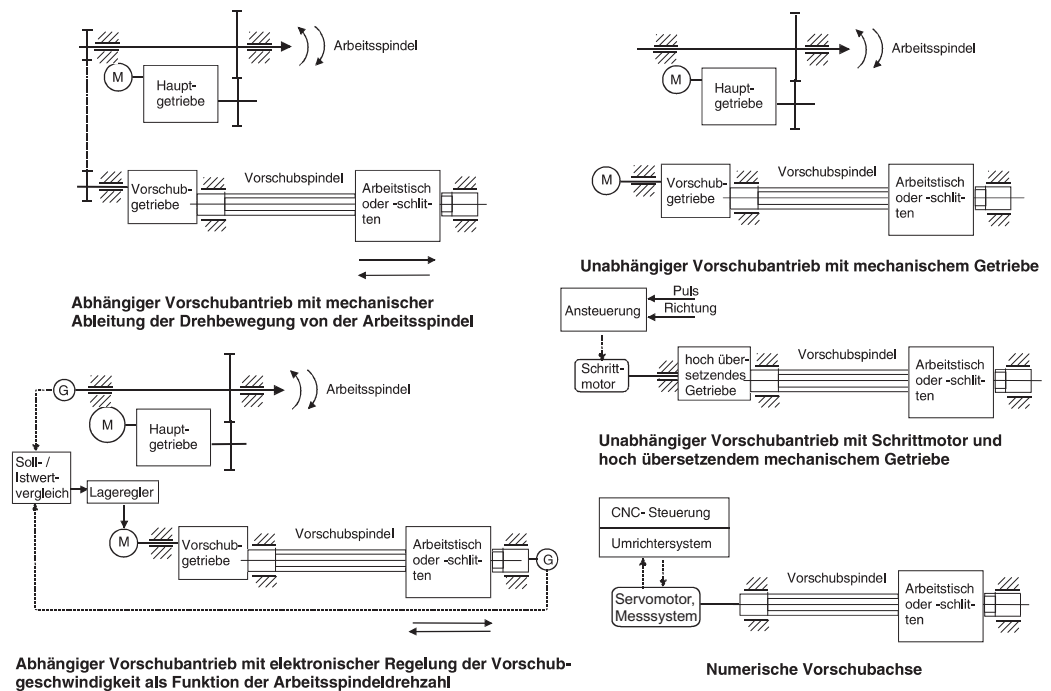
Der *Schrittmotor* ist ein reiner Stellantrieb und damit nicht regelungsfähig. Er setzt eine Steuerimpulsfolge unmittelbar in eine entsprechende Winkelposition um. Der Rotor des Schrittmotors kann bis zu 50 Polpaare enthalten und damit bis zu 200 Schritt/Umdrehung erreichen, was einem Schrittwinkel von  $1,8^\circ$  entspricht. Er ist in der Lage, im Stillstand ein Haltemoment auszuüben. Für den Positionierbetrieb genügt ein einfaches Steuergerät.

Für die Vorgabe von *Position* und *Drehzahl* werden nur zwei binäre Signale benötigt, nämlich *Puls* und *Richtung*. Die *Zahl der Pulse* legt den

*Verfahrweg* fest, die *Pulsfrequenz* bestimmt die momentane *Verfahrgeschwindigkeit*. Er ist nur für geringe Leistungen ( $< 1 \text{ kW}$ ) und Drehzahlen unter  $500 \text{ 1/min}$  geeignet.

Um die letztgenannten Nachteile des Schrittmotors auszugleichen, wird er in der Regel zusammen mit einem hoch übersetzenden Getriebe (Harmonic Drive, Planetengetriebe u.a.) in Vorschubantrieben eingesetzt.

- (5) Numerische Vorschubachse, Bild 36 unten rechts. Die numerische Achse wird im Kapitel 3.4 in Verbindung mit den CNC-Steuerungen eingehend erläutert.



**Bild 36.** Ausführungsvarianten von Vorschubantrieben

### 2.3.2 Gestufte mechanische Vorschubgetriebe

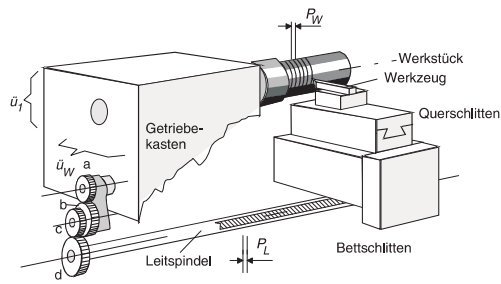
*Vorschubgetriebe* erzeugen die gewünschten Vorschübe hinsichtlich Zahl (bei gestuften Getrieben) und Größe. Die benötigten geringen Vorschubgeschwindigkeiten werden durch hohe Übersetzungen und durch die nach dem Vorschubgetriebe meist eingesetzten Schraubtriebe erreicht.

#### Manuell schaltbare Getriebe

- (1) Sämtliche Schieberadgetriebe-Bauarten, im Kapitel 2.2.1. beschrieben.
  - (2) Wechselradgetriebe, Bild 37.
- Angewandt werden diese an konventionellen Drehmaschinen zur Gewindeherstellung und an konventi-

onellen Verzahnmaschinen zur Herstellung der Abhängigkeit der Drehbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug (Wälzbewegungen u.a.). Mit der ständig breiteren Anwendung von NC-Werkzeugmaschinen verlieren sie immer mehr an Bedeutung.

Es muss die Möglichkeit bestehen, die verschiedenen Gewindearten, wie metrisches Gewinde, Zollgewinde ( $1 \text{ Zoll} = 1'' = 25,4 \text{ mm}$ ), Schneckengewinde (Modul-G.) mit  $m \pi$  ( $m = \text{Modul [mm]}$ ) oder englisches Schneckengewinde (Diametral Pitch Gewinde [DP]) herzustellen. Dazu dienen die Räder außerhalb des Fünfersatzes. So ist beispielsweise  $z = 127 \text{ Zähne} \equiv 5 \cdot 25,4 \text{ mm} = 5 \cdot 1''$  oder die Zahl  $\pi = 5 \cdot 71 / 113$ . Beide Zähnezahlen sind unter den Rädern des Wechselradsatzes vorhanden.



Räderverhältnis:

$$\ddot{u} = \frac{P_W}{P_L} = \ddot{u}_1 \cdot \ddot{u}_W \cdot \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$$

dabei sind:

a, b, c, d Zähnezahlen der Wechselräder

$P_W$  = Gewindesteigung am Werkstück [mm, "]

$P_L$  = Leitspindelsteigung [mm, "] = 3, 6, 12, 16 mm oder 2, 4, (6) Gang auf 1 "

$\ddot{u}_1, \ddot{u}_W$  = feste Räderverhältnisse (Wendegertriebe) in der Regel = 1

Wechselradsatz, besteht aus Rädern mit:

z = 20 ... 125 Zähne im Abstand von 5 zu 5 Zähnen

z = 127, 157, 71, 113 Zähne

**Bild 37.** Wechselradgetriebe, Aufbau am Beispiel einer Leitspindeldrehmaschine

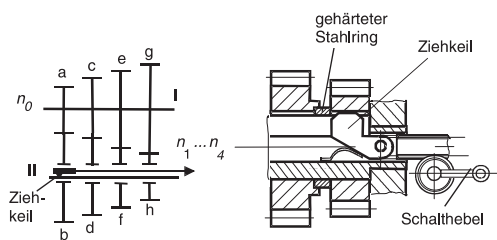
Des weiteren ist noch die *Aufsteckregel* zur bauseitigen Realisierbarkeit des Wechselradaufsteckens zu beachten. Es gilt das Zähnezahlverhältnis:

$$(a + b) < (c + x)$$

$$(c + d) > (b + x)$$

Der Wert x wird mit 15 Zähnen angenommen, allgemein – Zähnezahl des kleinsten Wechselrades minus 5 Zähne –.

(3) Ziehkeilgetriebe, Bild 38.



**Bild 38.** Ziehkeilgetriebe, Getriebeplan und konstruktiver Aufbau

Dieses Getriebe wird als Vorschubgetriebe an kleineren konventionellen Werkzeugmaschinen genutzt. Der Ziehkeil kann über einen Schalthebel, Ritzel und

verzahnte Schiebestange jeweils unter eines der lose laufenden Räder geschoben werden und bewirkt dann dessen Mitnahme. Wegen der geschlitzten Welle können nur geringe Drehmomente übertragen werden.

(4) Mäandergetriebe, Bild 39.

Mäandergetriebe dienen als Dividier- oder Multipliziergetriebe zur Erweiterung von Vorschub-Grundreihen. Mit dem axial verschiebbaren Abtriebsrad auf Keilwelle III können fünf Übersetzungsstufen realisiert werden. Durch zwei Getriebeeingänge über die Wellen I und II sind insgesamt zehn Abtriebsdrehzahlen erreichbar.

Im Getriebebeispiel werden folgende Übersetzungen beim Eingang über Welle I realisiert:

$$\ddot{u}_1 = \frac{30}{60} \cdot \frac{60}{30} = 1,$$

$$\ddot{u}_2 = \frac{30}{60} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{60}{30} = 1/4,$$

$$\ddot{u}_3 = \frac{1}{16} \dots$$

$$\ddot{u}_4 = \frac{1}{64} \dots$$

$$\ddot{u}_5 = \frac{1}{256}$$

Beim Eingang über Welle II ergeben sich:

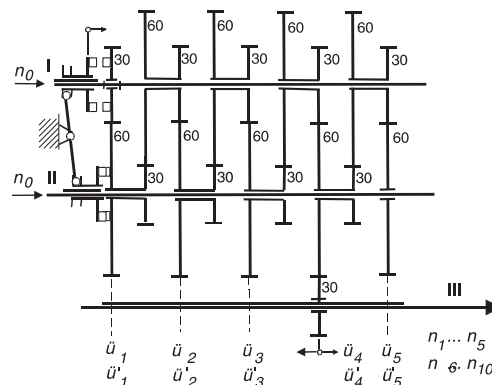
$$\ddot{u}'_1 = \frac{60}{30} = 2,$$

$$\ddot{u}'_2 = \frac{30}{60} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{60}{30} = \frac{1}{2},$$

$$\ddot{u}'_3 = \frac{1}{8} \dots$$

$$\ddot{u}'_4 = \frac{1}{32} \dots$$

$$\ddot{u}'_5 = \frac{1}{128}$$



**Bild 39.** Mäandergetriebe

### Automatisch schaltbare gestufte mechanische Vorschubgetriebe

(1) Kupplungsgetriebe entsprechend Bild 21.

Diese sind als Vorschubgetriebe wegen der niedrigen Drehzahlen relativ gut geeignet, da sie weniger Wärme erzeugen als beim Einsatz in Hauptgetrieben.

(2) Kupplungsgetriebe mit Windungsstufe entsprechend Bild 22.

(3) Ziehkeilgetriebe ist automatisierbar

(4) Mäandergetriebe ist automatisierbar

### Getriebe mit konstanter hoher Übersetzung

Diese werden benötigt bei der Anwendung von Antriebsmotoren, beispielsweise Schrittmotoren, die im normalen Drehzahlbereich (maximale Drehzahl 500 bis 2000 1/min) arbeiten und langsame Vorschubbewegungen erzeugen sollen.

(1) Wellgetriebe (Harmonic Drive), Bild 40.

Bestandteile:

*Wave Generator* – eine elliptische Stahlscheibe mit zentrischer Nabe und aufgezogenem, elliptisch verformbarem Spezialkugellager

*Flexspline* – eine zylindrische, verformbare Stahlbuchse mit Außenverzahnung

*Circular Spline* – ein steifer, zylindrischer Ring mit Innenverzahnung.

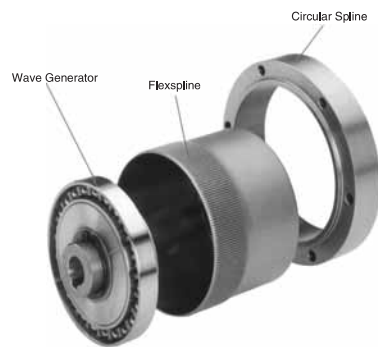
Die Funktionsweise ist im Bild 41 dargestellt.

**Schritt 1:** Der elliptische *Wave Generator* (angetriebenes Teil) verformt über das Kugellager den *Flexspline*, der sich in den gegenüberliegenden Bereichen der großen Ellipsenachse mit dem innenverzahnten *Circular Spline* im Eingriff befindet.

**Schritt 2:** Mit der Drehung des *Wave Generators* verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffsbereich. Da der *Flexspline* zwei Zähne weniger als *Circularspline* besitzt, vollzieht sich im

**Schritt 3:** nach einer halben Umdrehung des *Wave Generators* ein Relativbewegung zwischen *Flexspline* und *Circular Spline* um die Größe eines Zahnes und,

**Schritt 4:** ... nach einer ganzen Umdrehung um die Größe zweier Zähne.

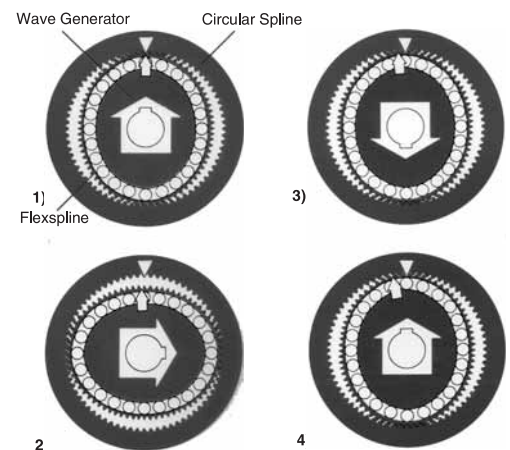


**Bild 40.** Harmonic Drive Getriebeeinbausatz HDUC (Harmonic Drive, Limburg a.d. Lahn)

Bei fixiertem *Circular Spline* dreht sich der *Flexspline* als Abtriebsselement entgegen der Drehrichtung des Antriebs.

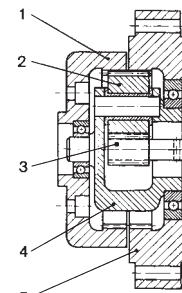
Merkmale des Wellgetriebes:

- hohe Verdrehsteifigkeit, kein Spiel in der Verzahnung, dadurch große Positionier- und Wiederholgenauigkeit
- kompakte Bauweise durch koaxialen An- und Abtrieb, geringes Gewicht, kleine Außendurchmesser
- hohe Übersetzungsverhältnisse in einer Stufe bei sehr gutem Wirkungsgrad
- lange Lebensdauer
- Übersetzungen je nach Baugröße von  $i = 50$  bis  $i = 260$
- Bei Nenndrehzahl 2000 1/min sind Nenndrehmomente von 0,3 ... 529 Nm übertragbar.



**Bild 41.** Funktionsweise des Harmonic Drive-Wellgetriebes, in 4 Schritten dargestellt (Harmonic Drive, Limburg a. d. Lahn)

(2) Planetengetriebe, Bild 42.



- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1 Antriebszahnrad | 4 Umlaufträger |
| 2 Planetenzahnrad | 5 Gegenzahnrad |
| 3 Antriebsritzel  |                |

Getriebeausführungen:

Übersetzungen  
 $i = 84 \dots 174$

Abtriebsmomente:  
 $M = 45 \dots 600 \text{ Nm}$

Verdrehflankenspiel  $< 3$  Winkelminuten

**Bild 42.** Planetengetriebe-Einbausatz WPE (alpha Getriebbau GmbH, Igersheim)

Auch Planetengetriebe können konstante große Übersetzungen spielarm auf kleinem Raum verwirklichen. Das niedrige Trägheitsmoment ermöglicht hohe Beschleunigungen und Verzögerungen. Ein weiterer Vorteil ist die koaxiale Bauweise bei kleinem Bau- raum.

### 2.3.3 Schraubtriebe

#### Der Gleitschraubtrieb

Gleitschraubtriebe sind heute weitgehend auf konventionelle Werkzeugmaschinen und auf untergeordnete Beistellbewegungen beschränkt. Sie werden in der Regel mit Trapezgewinde (Spitzenwinkel  $\beta = 30^\circ$ ) als Transportgewinde ausgeführt. Dieses Gewinde ermöglicht eine einfache Herstellung durch Drehen, Fräsen und Schleifen.

#### Vorteile:

- Kostengünstig
- Bei entsprechender Konstruktion Spielausgleich möglich

#### Nachteile:

- Schlechter Wirkungsgrad
- Bei kleinen Geschwindigkeiten und großer Reibung kann Ruckgleiten (stick-slip-Effekt) auftreten

Der übliche Durchmesserbereich liegt bei Anwendung in spanenden Werkzeugmaschinen zwischen 18 und 60 mm.

Bevorzugte Spindelsteigungen sind:  $P_h = 3, 6, 8, 10, 12$  und  $16$  mm.

Spindelwerkstoffe: C 35E, C 60E (DIN EN 10083-1) oder 35 Cr AlNi 7 nach DIN EN 10085 (bei nitrier- gehärteten Spindeln)

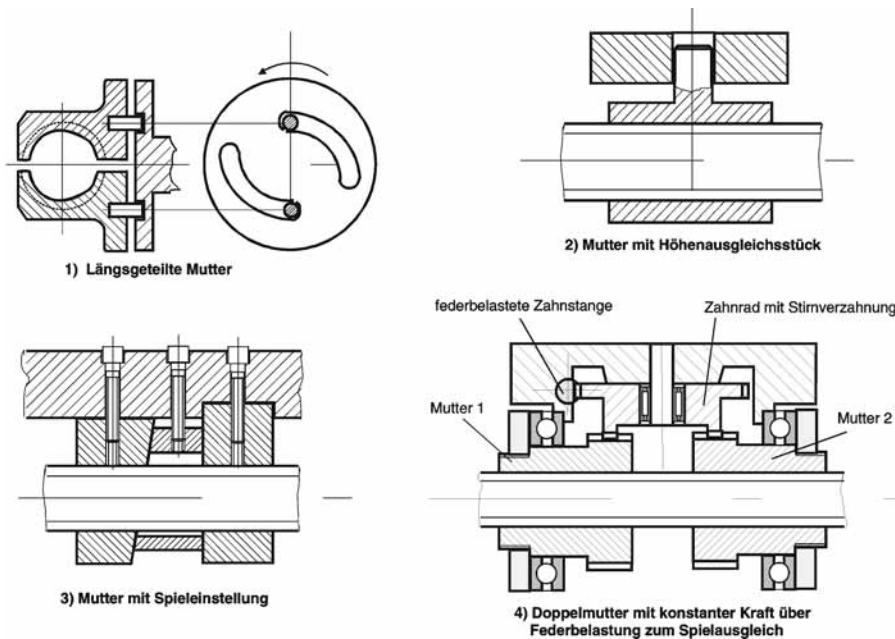
Spindelmutter-Werkstoffe: GJL 250 nach DIN EN 1561 (bei Handbetätigung), CuAl10NiFe2-C (DIN EN 1982), Cu Sn 12-C (DIN EN 1982), CuZn35Mn2Al1Fe1-C (DIN EN 1982)

Im Bild 43 sind verschiedene Ausführungen von Gleitschraubtrieben dargestellt. Im Bild wird unter 1) eine längs geteilte Mutter gezeigt, wie sie bei Leit- spindeln an Drehmaschinen Anwendung findet. Durch Drehen der Nutscheibe mittels Handhebel wird die Mutter geschlossen oder geöffnet.

Im Bild 2) oben rechts ist eine Spindelmutter mit Höhendifferenzenausgleich dargestellt. Lageveränderungen zwischen Schlittenführung und Spindel führen nicht zu Zwängen beim Verfahren des Schlittens.

Bild 3) unten links zeigt eine Spindelmutter, bei welcher das Spiel im Gewinde mittels der mittleren Schraube eingestellt werden kann. Ist das gewünschte Spiel erreicht, wird das linke Mutterteil mit der Schraube festgezogen.

Bild 4) unten rechts stellt einen ständig mit gleicher Kraft wirkenden elastischen Spielausgleich dar. Die Belastung wird durch eine Feder aufgebracht und über eine Zahnstange auf ein Zahnrad übertragen. Dieses besitzt außerdem eine Stirnverzahnung, mittels der beide Muttern 1 und 2 gegenläufig verdreht werden, sodass beide Gewindeflanken ständig anliegen. Durch die Einstellung der Federvorspannung kann die Belastung der Flanken verändert werden.



**Bild 43.** Ausführungen des Systems Spindel – Mutter bei Gleitschraubtrieben