

# 0 Einführung

## 0.1 Definition und inhaltliche Abgrenzung

Genaugenommen ist der Begriff *Werkzeugmaschine* (WZM) nicht korrekt. Es müsste bei einer wörtlichen Übersetzung von *machine tool* – die Namensvergabe erfolgte in England, wo auch die ersten WZM gebaut wurden – richtiger *Maschinenwerkzeug* heißen. Das würde auch einleuchten, denn es handelt sich um ein *mechanisiertes Werkzeug*.

Bei Kienzle finden wir die folgende Definition für die Werkzeugmaschine:

„Eine Werkzeugmaschine ist eine Arbeitsmaschine, die ein Werkzeug am Werkstück unter gegenseitiger bestimmter Führung zur Wirkung bringt.“

Diese Definition ist wohlthuend allgemein und enthält keine Einschränkung bezüglich der Fertigungsverfahren und des Werkstückwerkstoffes. Ersetzen wir *Arbeitsmaschine* durch *mechanisierte Fertigungseinrichtung* und *gegenseitig bestimmter Führung* durch *vorgegebene Relativbewegung* sowie *Wirkung* durch *Form oder Veränderung*, so erhalten wir die in der DIN 69 651 niedergelegte Formulierung, wonach die *Werkzeugmaschine* definiert ist als mechanisierte und mehr oder weniger automatisierte Fertigungseinrichtung, die durch relative Bewegung zwischen Werkstück und Werkzeug eine vorgegebene Form oder Veränderung am Werkstück erzeugt.

Die Branche der deutschen Werkzeugmaschinenhersteller legt sich allerdings auf die Metallbearbeitung fest und so bezeichnet sich der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW) als *führender Wirtschaftsverband der Metallbearbeitung* (Homepage VDW). Dadurch sind die Fertigungseinrichtungen zur Bearbeitung von Stein, Holz oder Kunststoffen zwar nach der DIN-Definition Werkzeugmaschinen, aber in den Augen des Branchenverbandes nicht. Das mag historische Gründe haben, ist aber heute nicht mehr zu verstehen. Zum Beispiel sind die Parameter von HSC-tauglichen Werkzeugmaschinen (High Speed Cutting) und Holzbearbeitungsmaschinen nahezu identisch und der zunehmende Bearbeitungsbedarf an Werkstücken aus faserverstärkten Kunststoffen wird selbstverständlich auf Werkzeugmaschinen befriedigt.

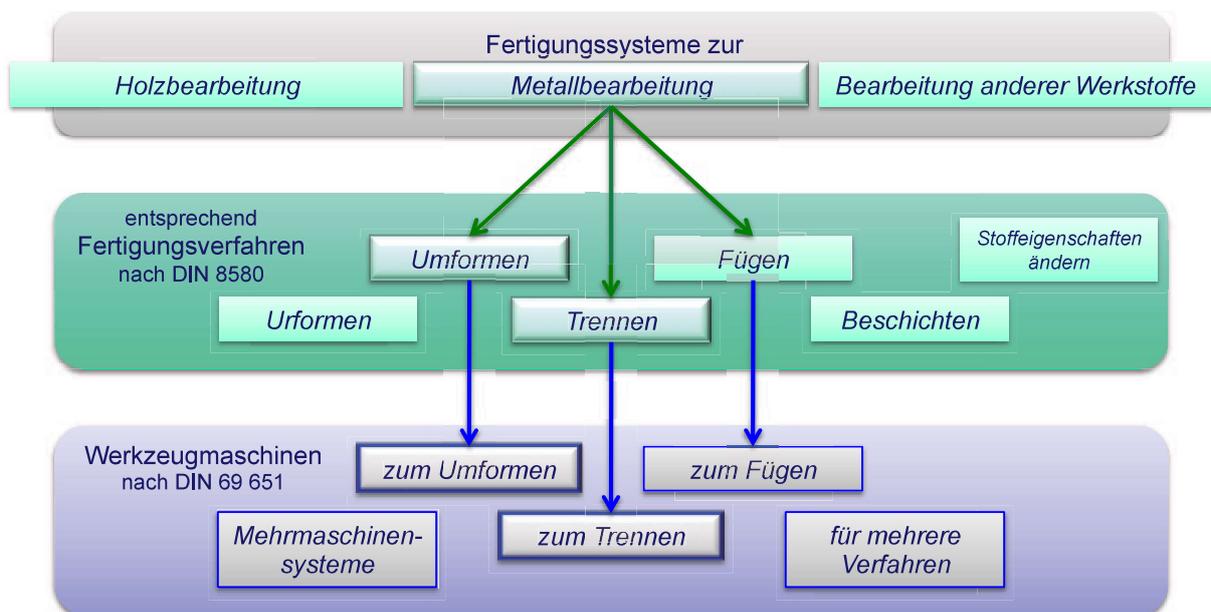


Bild 0.1 Einteilung der Werkzeugmaschinen nach Fertigungsverfahren (DIN 69 651)

Auch die Einteilung der Werkzeugmaschinen nach den Fertigungsverfahren (DIN 8580), wie sie in der DIN 69 651 zu finden ist, bedarf einer Aktualisierung. Es ist nicht damit getan, mit *Mehrmaschinensystemen* und *für mehrere Verfahren*, einfach noch zwei Arten hinzuzufügen.

Die *spanenden Werkzeugmaschinen* sind unter den WZM zum Trennen angesiedelt, Bild 0.2. Sie werden unterschieden in solche, die Werkzeuge mit *geometrisch bestimmter Schneide* und solche mit *geometrisch unbestimmter Schneide* verwenden.

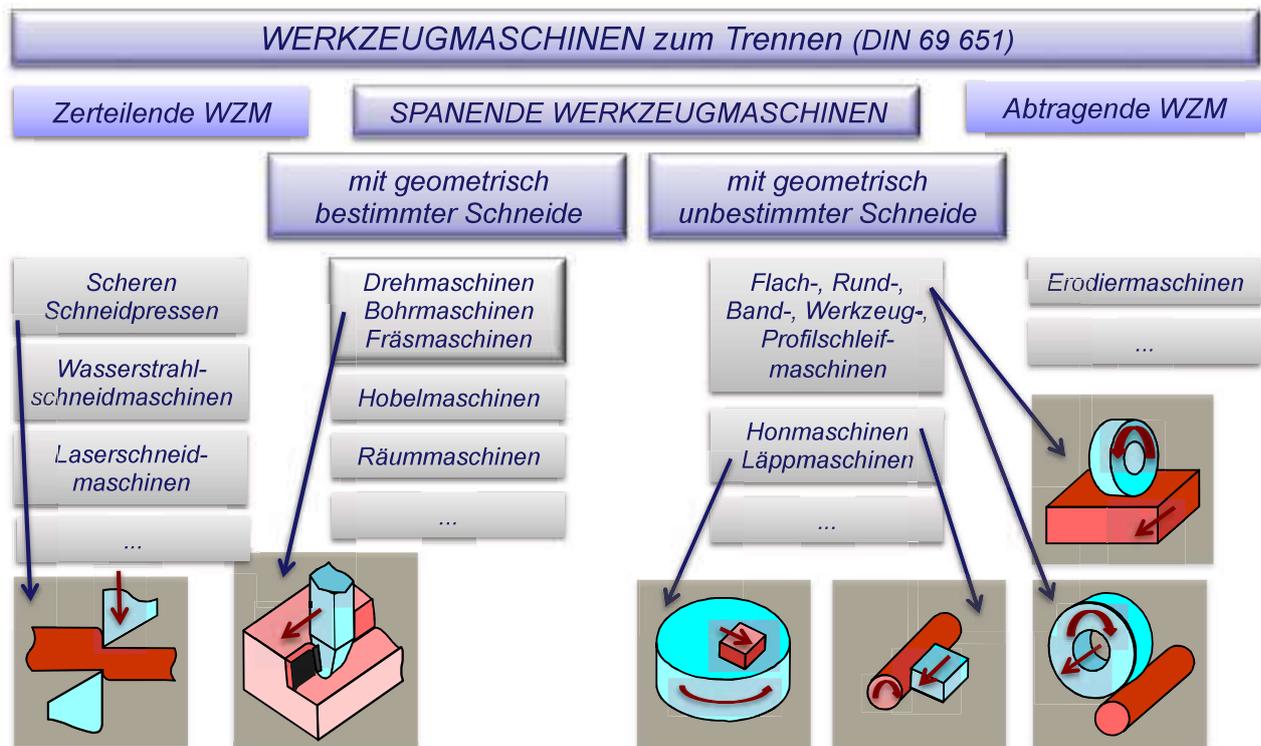


Bild 0.2 Einteilung der Werkzeugmaschinen zum Trennen (DIN 69 651)

Ausgehend von der Definition der Werkzeugmaschine können wir die Grundaufgabe einer spanenden Werkzeugmaschine formulieren. Sie besteht in der *Realisierung einer Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeugschneide* mit definierter Geschwindigkeit auf definierten räumlichen Bahnen, mit dem Ziel, durch das Abtrennen des auf der Bewegungsbahn der Werkzeugschneide befindliche Werkstückmaterials *eine vorgegebene geometrische Gestalt des Werkstückes zu erzeugen*.

Von der Vielzahl spanender Werkzeugmaschinen sollen hier nur die betrachtet werden, bei denen Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide zum Einsatz kommen. Damit fallen Schleif-, Hon- und Läppmaschinen heraus. Aber auch Bohr- und Hobelmaschinen sowie Spezialmaschinen, wie Räum- und Wälzfräsmaschinen, sollen hier nicht näher behandelt werden.

Generell ist hier nicht der Platz für eine Maschinenkunde, dafür gibt es bereits sehr gute Zusammenstellungen [1]. Gemäß des Buchtitels wollen wir uns methodisch mit dem konstruktiven Entwicklungsprozess von Werkzeugmaschinen beschäftigen. Also, Antworten auf die Fragen geben, *Wie* müssen wir vorgehen und *Was* müssen wir tun, damit wir eine, die Anforderungen möglichst optimal erfüllende Werkzeugmaschine erhalten? Bei dieser Fragestellung hängt alles von den Anforderungen ab, weshalb wir uns mit dieser Thematik etwas ausführlicher beschäftigen wollen. Um nicht am Ende *alles über Nichts zu wissen*, müssen wir

selbstverständlich zur Demonstration der Entwicklungs-Methodik konkrete Beispiele bemühen. Dazu benutzen wir hauptsächlich den Dreh- und Fräsprozess. Bereits an der Gliederungsreihenfolge der Hauptbaugruppen ist erkenntlich, dass die Gestaltungsreihenfolge zugrunde gelegt ist. Und das hat zur Folge, dass eben nicht, wie in den meisten Fachbüchern und Vorlesungsskripten, mit dem Gestell begonnen wird.

Der Begriff *Entwicklung* umfasst zwei Interpretationsmöglichkeiten. *Entwicklung* im Sinne von *Evolution* und *Entwicklung* im Sinne von *Kreation*. Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf *Entwicklung* im Sinne von *Kreation*. Trotzdem sollen unter dem Aspekt der *Evolution* die Innovationen in der Historie der Werkzeugmaschine und die qualitativen Phasen in der Historie der Entwicklungswerkzeuge vorangestellt werden. Das ermöglicht, Zusammenhänge und Abhängigkeiten sowie Ursache-Wirkungs-Ketten aufzuzeigen und durch methodische Übertragung für künftige Entwicklungen nutzbar zu machen. Zur Geschichte der Werkzeugmaschine existiert eine hervorragende Publikation [2] als ausführliche und detaillierte kulturgeschichtliche Betrachtung.

Die Darstellungen zum Verhalten der Werkzeugmaschine sind in einem gesonderten Kapitel und aus der Sicht der experimentellen und modellgestützten Ermittlung beschrieben und in die Verhaltensbereiche des *geometrisch-kinematischen Verhaltens*, *statischen Verhaltens*, *thermischen Verhaltens* sowie *dynamischen Verhaltens* gegliedert.

Die Darstellungen zu den Hauptbaugruppen *Haupt- und Vorschubantriebe*, *Spannsysteme*, *Steuerung* und *Gestell* sind eher systematisierend und an begrenzten Beispielen auf die Vorgehensweise sowie die Grundlagen und Zusammenhänge orientiert. Auch hierzu existieren hervorragend umfassende und im Detail beschreibende und erklärende Fachbücher [3]. In

Bild 0.3 ist die inhaltliche Abgrenzung schematisch zusammengefasst.

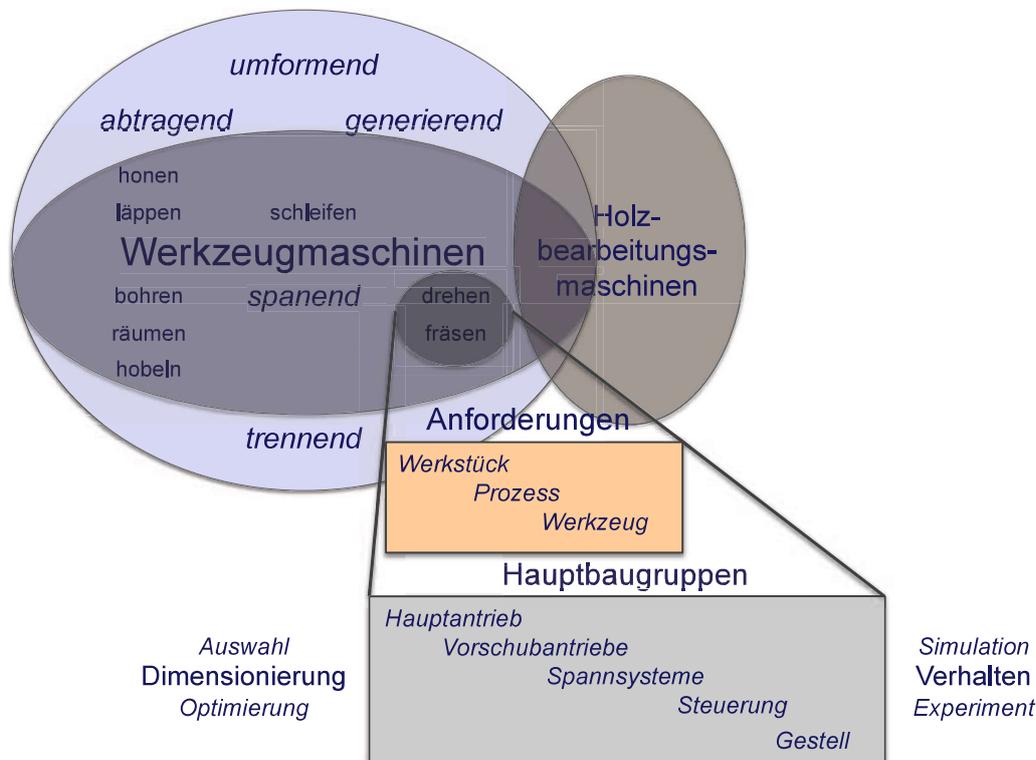


Bild 0.3 Inhaltliche Abgrenzung

## 0.2 Konstruktiver Entwicklungsprozess und Methodik

Es existiert eine große Zahl von Darstellungen zum *Konstruktiven Entwicklungsprozess* (KEP). Die Mehrzahl der konventionellen, „mechanischen“ Konstrukteure beruft sich dabei auf den Ablauf der *Richtlinie VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“* (VDI-Verlag, Düsseldorf, Mai 1993), wie er in Bild 0.4 dargestellt ist.

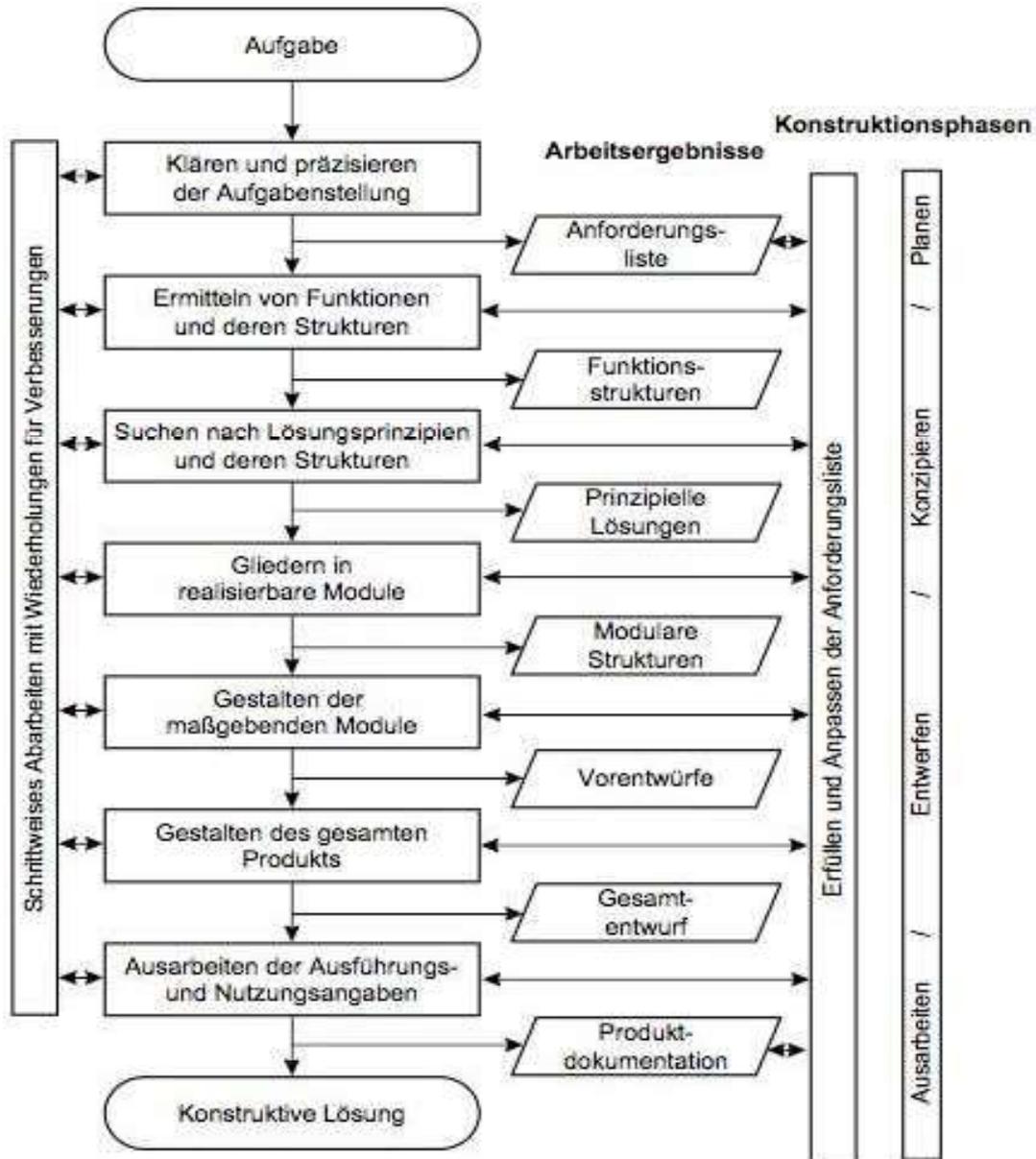


Bild 0.4 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (Richtlinie VDI 2221)

Diese Richtlinie orientiert sich an der klassischen „Mechanik-Konstruktion“ und zeigt weder die Verbindung zu Test und Überprüfung noch zur Steuerungsentwicklung. Gerade letzteres ist aber von großer Bedeutung, da heute die Software wesentliche Teile der Funktionserfüllung übernimmt oder zumindest daran beteiligt ist. In der Praxis wird häufig noch immer nach dem Motto gearbeitet, *der Konstrukteur gestaltet das Eisen, dann kommt der Steuerungsspezialist und haucht dem toten Leben ein*. Diese Arbeitsweise ist nicht nur der Grund für lange Implementations- und Testzeiten sondern auch für einen unübersichtlichen und wenig

flexiblen Steuerungscode sowie gegenseitige Schuldzuweisungen zwischen Konstrukteur und E-Techniker im Fehlerfall.

Ein – in der Verallgemeinerung – nicht grundlegend anderer Ansatz kommt aus der Informatik. Es handelt sich um das sogenannte *V-Modell*, ein (standardisiertes) Vorgehensmodell zur Softwareentwicklung. Während die VDI-Richtlinie mit ihren Phasen *Planen*, *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten*, bei der „reinen“ Konstruktion verbleibt, bezieht das V-Modell der „Softwarekonstruktion“ den Test mit ein, wie Bild 0.5 ausweist.

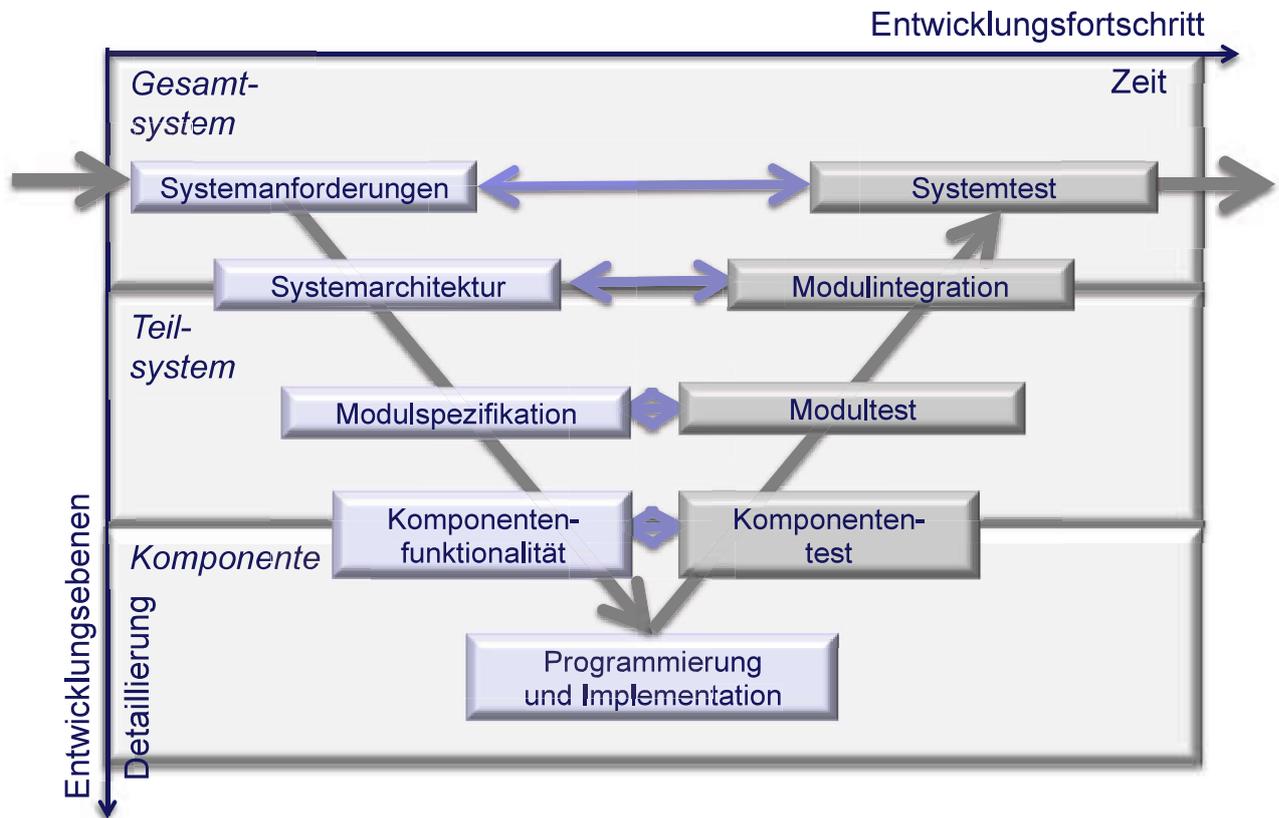


Bild 0.5 V-Modell für die Softwareentwicklung

In der Mechatronik werden technische Systeme entwickelt, die über mechanische, elektrische und informationsverarbeitende Komponenten verfügen. Der Entwicklungsablauf muss also die gegenseitige Abhängigkeit der „Hardware“- und Softwarekomponenten in den Funktionsmodulen berücksichtigen. Bild 0.6 zeigt einen derartigen, allerdings lediglich formalen, Versuch aus der Krafffahrzeugentwicklung.

Da die Werkzeugmaschine ein mechatronisches System darstellt (wahrscheinlich das älteste überhaupt), müssen wir bei ihrer Entwicklung mindestens den Inhalt eines V-Modells zugrunde legen und besonders die Subsystem- und Komponentenebene weiter auflösen sowie auf der Systemebene die Bewertung konkreter gestalten.

Generell fehlt bei vielen Ansätzen die Funktionsorientierung. Schließlich entwickeln wir weder Geometrie, noch gestalten wir Material oder Elektrik oder Programme. Wir entwickeln und realisieren Funktionalität!

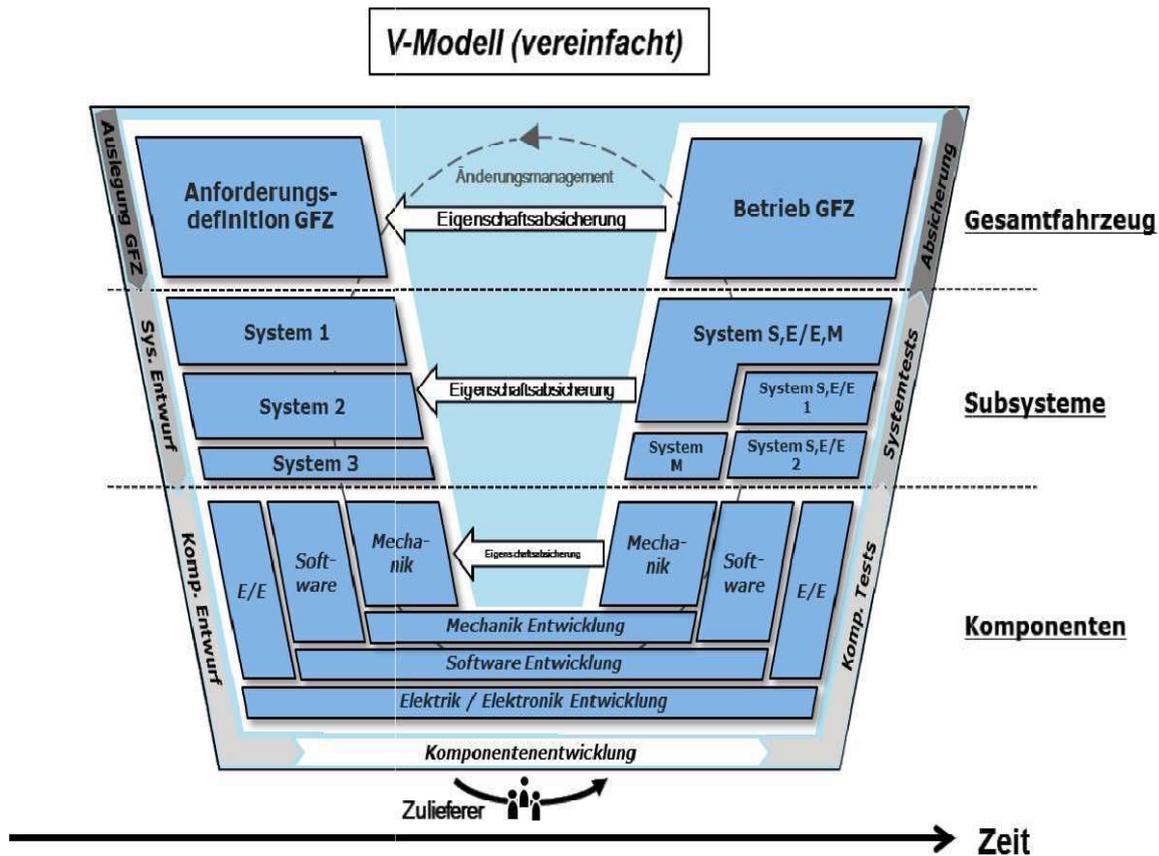


Bild 0.6 V-Modell für die Fahrzeugentwicklung (Lehrstuhl KFZ-Technik, TU Dresden)

Methodisch wollen wir mit einer konsequent funktionsorientierten Herangehensweise den KEP der Werkzeugmaschine beschreiben. Dabei bilden wir aus der Bearbeitungsaufgabe (Werkstück, Prozess, Werkzeug) die Anforderungen und leiten daraus erforderliche Funktionen für das System *Werkzeugmaschine* ab. Diese Funktionen untergliedern wir in Teilfunktionen, die den *Hauptbaugruppen* zugewiesen werden. Schließlich verfolgen wir die Funktionsstruktur bis zu den Elementarfunktionen der *Komponenten*. Dieses Vorgehen ist schematisch in Bild 0.7 dargestellt.

Generell gilt, dass die Bilder zumeist eine eigene Aussage haben und im Text nicht nochmal ausführlich beschrieben sind. Hier wird auf die aktive Wissensaneignung der Leser gesetzt. So verhält es sich auch mit den Beispielrechnungen. Die Lösungen werden nicht extra erläutert und müssen erarbeitet werden. Für viele Dimensionierungs- und Gestaltungsaufgaben werden heute Rechnerprogramme eingesetzt. Es ist daher Absicht, wo immer es sich anbietet, bewusst zu vereinfachen um die Zusammenhänge deutlich werden zu lassen.

Wenn wir für die einzelnen Hauptbaugruppen konkrete Gestaltungen und Auslegungsgrundlagen betrachten, soll es dabei nicht um Vollständigkeit gehen sondern um Beispielhaftigkeit. Bei der rasanten technischen Entwicklung unserer Zeit wäre eine Arbeit, die Vollständigkeit anstrebt, schnell veraltet. Deshalb wollen wir das Augenmerk mehr auf Prinzipien, Methoden, Vorgehensweisen und Sichten legen und wenn wir zur Demonstration Konkretisierung benötigen, dann wollen wir das als ein Beispiel nehmen.

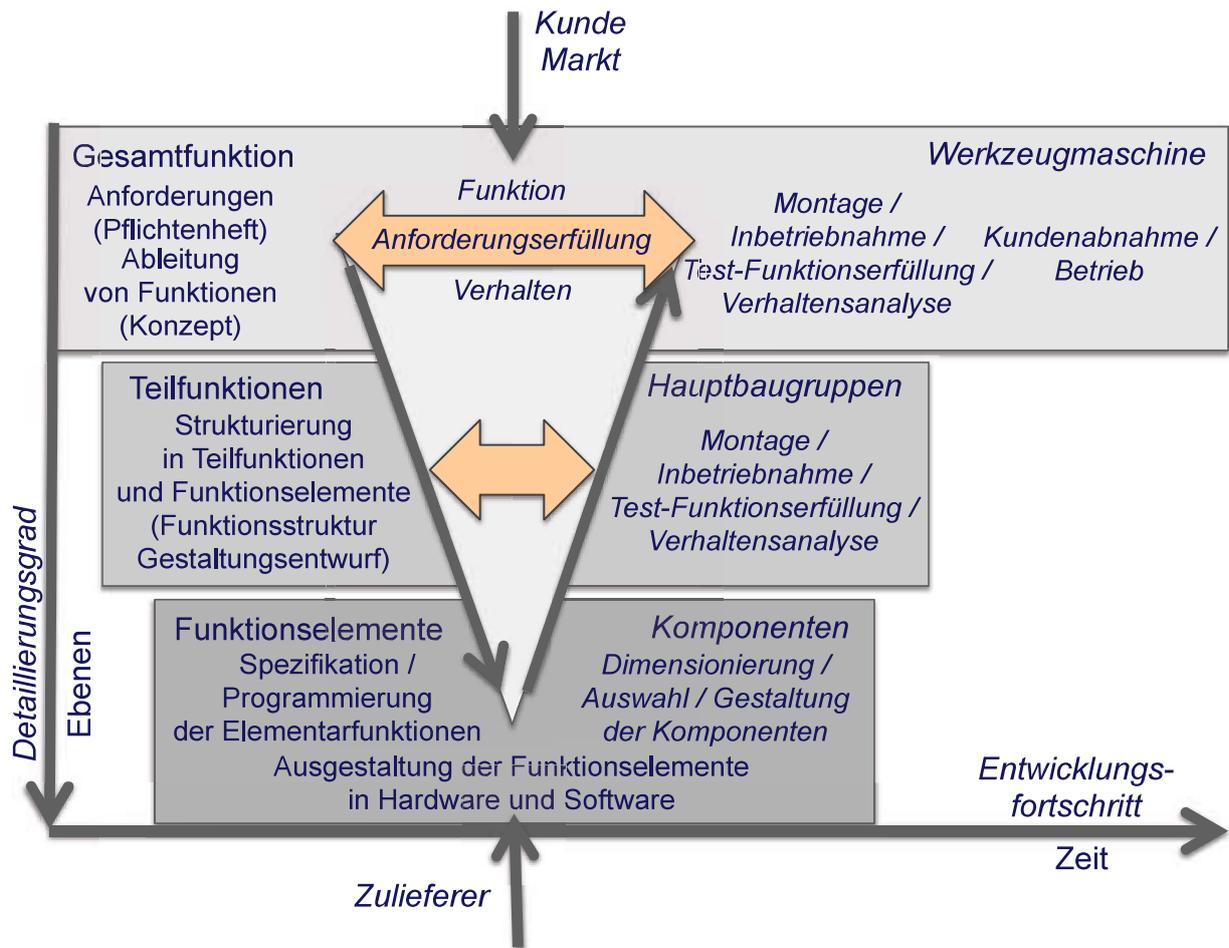


Bild 0.7 Funktionsorientiertes Vorgehen im KEP

Die Vorgehensweisen und Beziehungen für die Dimensionierung sind zumeist den umfangreichen Beispielaufgaben zu entnehmen. Die Lösungen sind absichtlich mit verschiedenen „Handschriften“ geschrieben, um so die Vielgestaltigkeit der Lösungsdarstellungen zu demonstrieren. Durchgängig wird die Entwicklung einer Demonstrationsmaschine verfolgt.

### 0.3 Zerspanungsprozess, Grundaufbau und Hauptbaugruppen spanender Werkzeugmaschinen

Für das Verständnis der Kapitel über die Historie der Werkzeugmaschine und ihr Verhalten, ist es angeraten, ein Mindestmaß über den Zerspanungsprozess, den Grundaufbau und die Hauptbaugruppen der WZM zu wissen. Diesem Anliegen sollen die folgenden Ausführungen dienen.

#### Zerspanungsprozess

Beim *Drehen* wird das Werkstück in die Arbeitsspindel gespannt und führt die Hauptschnittbewegung aus. Bild 0.8 veranschaulicht die Spannarten für das Werkstück, die je nach Länge und Schlankheitsgrad des Werkstücks zur Anwendung kommen.

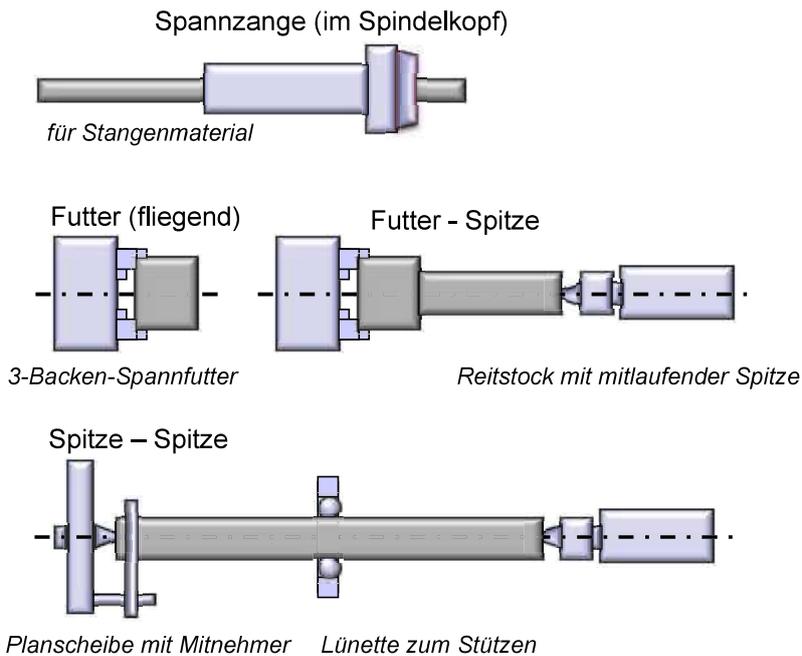
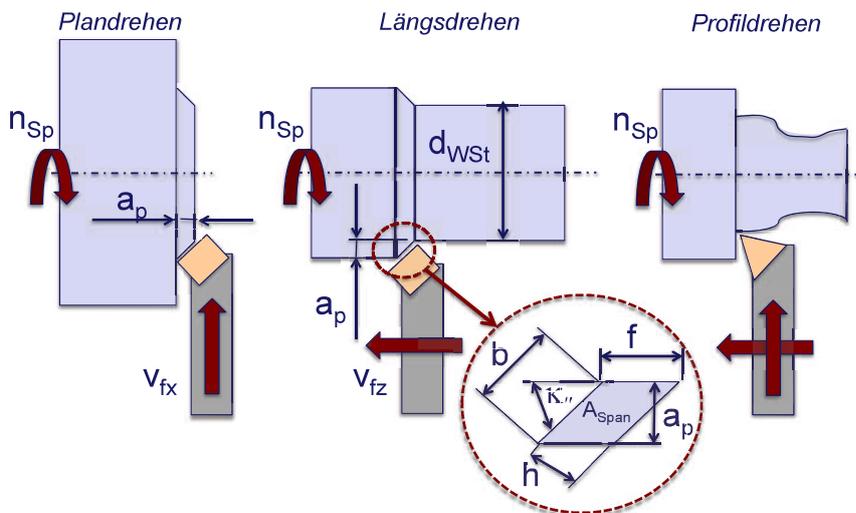


Bild 0.8 Werkstückspannarten beim Drehen

Die Darstellungen von Bild 0.9 zeigen mit dem Plan-, Längs- und Profil- bzw. Konturdrehen wesentliche Verfahren, die auf der Drehmaschine ausführbar sind.



- $b$ : Breite des Spanungsquerschnittes (Spannungsbreite),
- $h$ : Dicke des Spanungsquerschnittes (Spannungsdicke),
- $f$ : Vorschub je Umdrehung,
- $\kappa$ : Einstellwinkel,
- $a_p$ : Tiefe des Werkzeugeingriffes senkrecht zur Arbeitsebene (Schnitttiefe),
- $a_e$ : Größe des Werkzeugeingriffes in der Arbeitsebene senkrecht zur Vorschubrichtung (Arbeitseingriff)

Bild 0.9 Prozessgrößen beim Drehen

Das Werkstück rotiert mit der Spindeldrehzahl  $n_{Sp}$  und stellt über den Drehdurchmesser  $d_{WSt}$  die Schnittgeschwindigkeit zur Verfügung, entsprechen wird aus dem Drehmoment die

Schnittkraft. Der Planvorschub  $f_x$  und der Längsvorschub  $f_z$  bewegen das Werkzeug – den Drehmeißel – translatorisch mit den zugeordneten Vorschubgeschwindigkeiten. Am Spanungsquerschnitt  $A_{Span}$  sind die wesentlichen Eingriffsgrößen dargestellt.

In Bild 0.10 sind schematisch die Verhältnisse beim Fräsen gezeigt. Das Werkzeug wird in die Arbeitsspindel gespannt und führt so die Hauptschnittbewegung aus. Abhängig von der Konstruktionsform kann es zusätzlich auch Vorschubbewegungen ausführen. Am Beispiel eines Messerkopfes sind das Stirn- und Umfangsfräsen im Gleich- und Gegenlauf dargestellt.

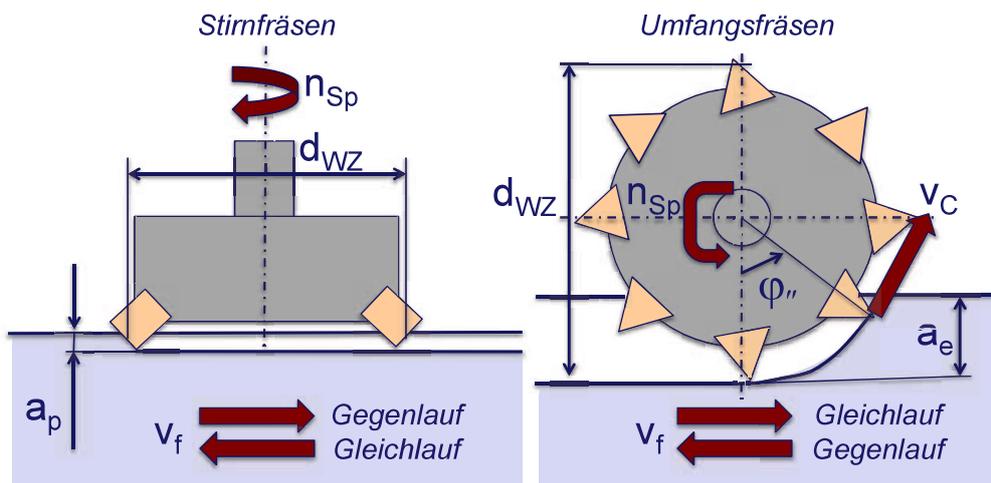


Bild 0.10 Prozessgrößen beim Fräsen

Die Prozesskräfte sind, stellvertretend für das Drehen, in Bild 0.11 gezeigt. Die Zerspankraft  $F$  ergibt sich aus dem Orthogonalsystem ihrer Komponenten, der Schnittkraft  $F_c$ , der Vorschubkraft  $F_f$  und der Passivkraft  $F_p$ .

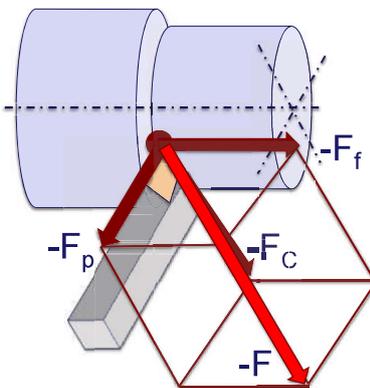


Bild 0.11 Prozesskräfte

Die Prozesskräfte treten an der Wirkstelle, dem Schneideneingriff an Werkstück und Werkzeug (Aktions- und Reaktionskraft) auf. Für das Drehen müssen auf der WZ-Seite alle Komponenten von der Werkzeugspannung aufgenommen werden. Zusätzlich muss von der Vorschubachse die Vorschubkraft aufgebracht werden. Auf der WSt-Seite müssen alle Komponenten von der Werkstückspannung aufgenommen werden. Zusätzlich muss der Hauptspindeltrieb ein Moment zur Verfügung stellen mit dem es möglich ist, die Schnittkraft aufzubringen. Für Dreh- und Fräsmaschinen mittlerer Baugröße liegen die Zerspankraftkomponenten etwa in einer Größenordnung von 10 kN.

### Grundaufbau

Zunächst ist mit Bild 0.12 die Wirkstruktur mit der funktionellen Verflechtung der Hauptbaugruppen gezeigt.  $WZ$  (Werkzeug) und  $WSt$  (Werkstück) realisieren mit ihrer Relativbewegung den Prozess (Zerspanung).

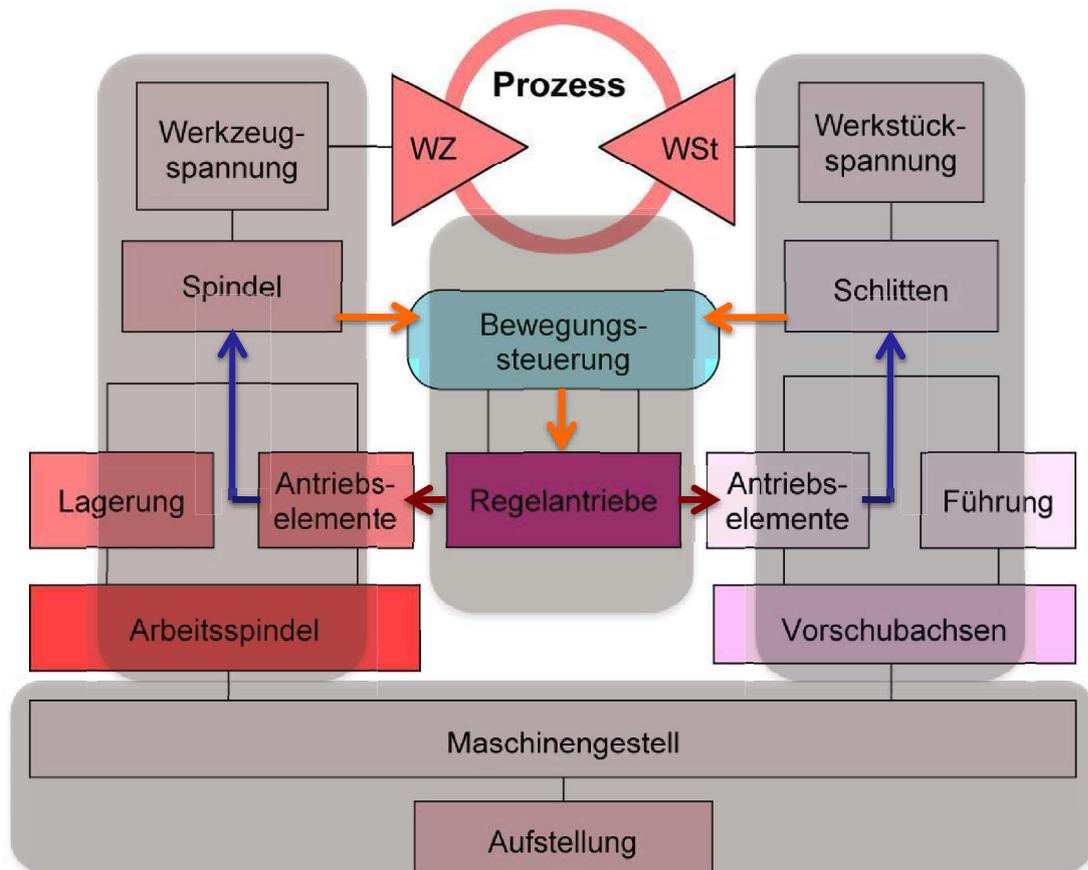


Bild 0.12 Wirkstruktur und Hauptkomponenten einer spanenden Werkzeugmaschine

Das WZ wird, bei der Bohr- und Fräsmaschine, mit der *Werkzeugspannung* in der *Spindel* aufgenommen und gehalten. Über *Antriebselemente*, wie Kupplungen und Getriebe, vom *Regelantrieb* rotatorisch angetrieben, folgt die Spindel den Vorgaben der *Bewegungssteuerung* zur Ausführung der Hauptschnittbewegung. Die *Arbeitsspindel* ist am *Maschinengestell* so gelagert, dass sie die erforderlichen Drehbewegungen ausführen kann. Das WSt wird mit der *Werkstückspannung* auf dem *Schlitten* (Tisch) festgehalten. Der Schlitten wird über *Antriebselemente*, wie Riementrieb und Kugelgewindetrieb, vom *Regelantrieb* translatorisch angetrieben und folgt so den Vorgaben der *Bewegungssteuerung* zur Ausführung der Vorschubbewegungen. Über die *Führungen* werden die *Vorschubachsen* mit den Baugruppen der Bewegungsbasis des *Maschinengestells* translatorisch beweglich verbunden. Das *Gestell* wiederum ist mit speziellen Elementen der *Aufstellung* auf dem Hallenboden oder einem Fundament fixiert.

Damit ist schematisch der allgemeine Grundaufbau der Werkzeugmaschine dargestellt. Bild 0.13 zeigt an typischen Werkzeugmaschinenstrukturen von Dreh- und Fräsmaschinen die kurz in ihrer funktionellen Zuordnung beschriebenen Hauptbaugruppen.

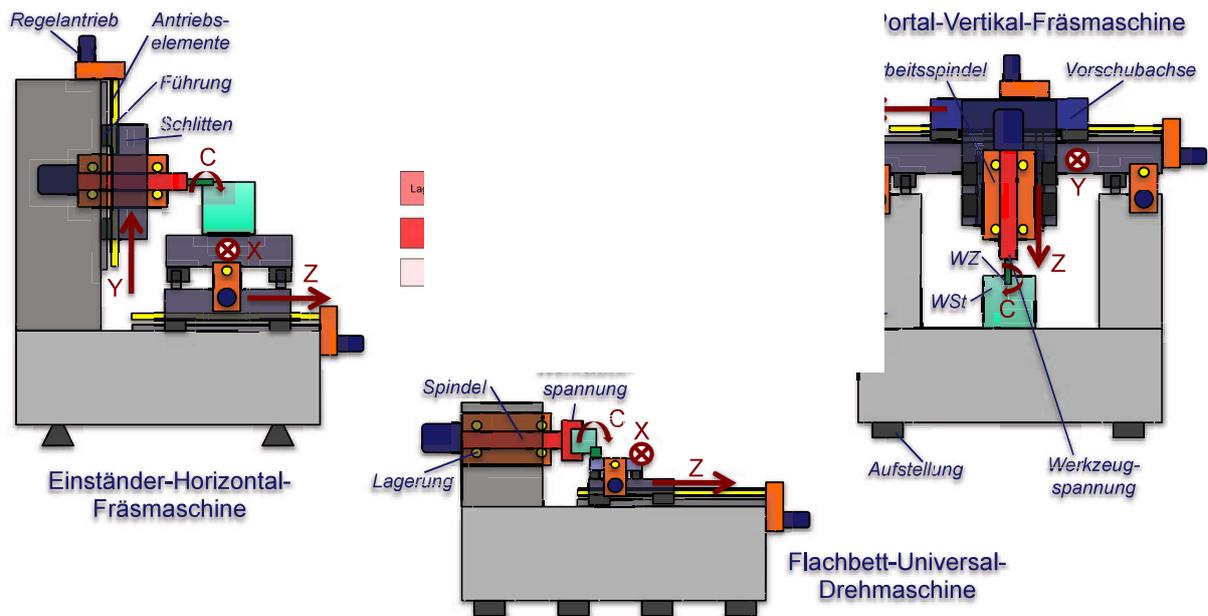


Bild 0.13 Prinzipieller Aufbau von Werkzeugmaschinen zur spanenden Bearbeitung

In Bild 0.14, Bild 0.15 und Bild 0.16 sind den schematischen Darstellungen entsprechende konkrete Maschinen zugeordnet.

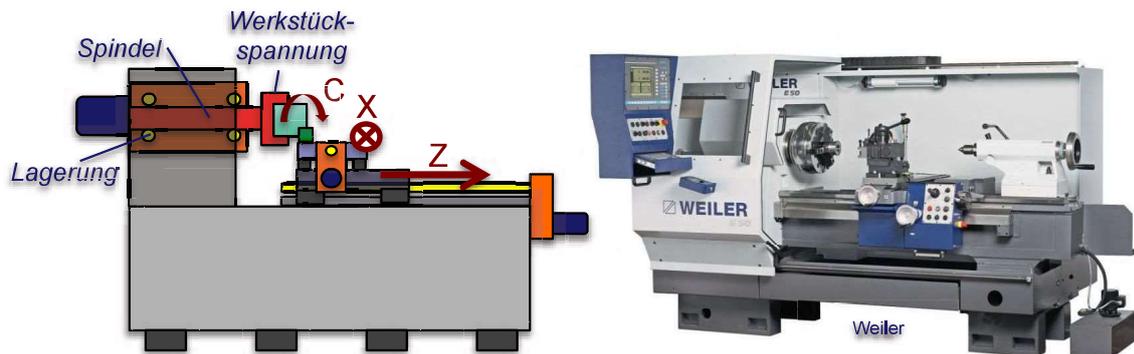


Bild 0.14 Flachbett-Universal-Drehmaschine

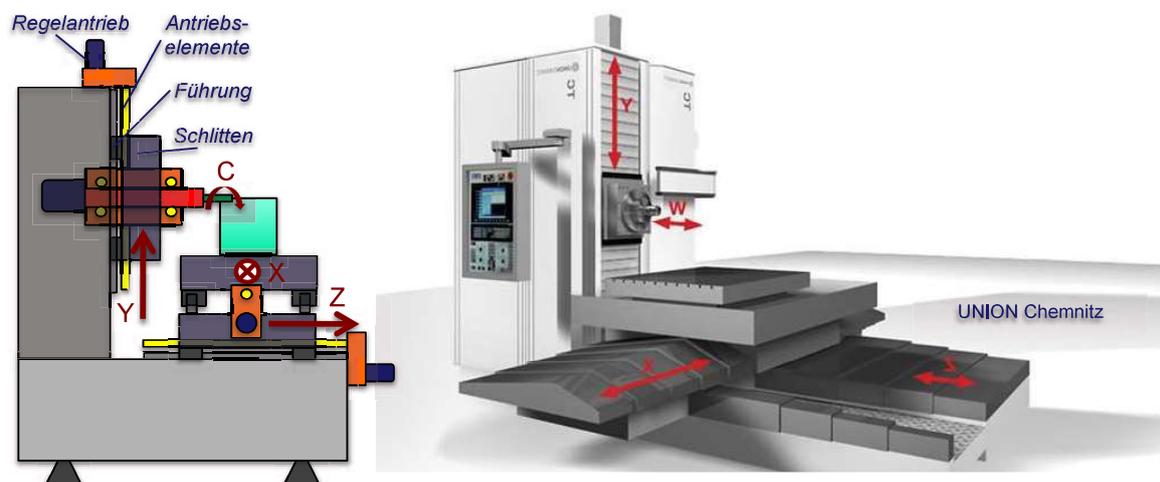


Bild 0.15 Einständer-Horizontal-Fräsmaschine



Bild 0.16 Portal-Vertikal-Fräsmaschine

### Hauptbaugruppen

Als Hauptbaugruppen sollen entsprechend

- der Hauptantrieb mit der Hauptspindel (Arbeitsspindel) und ihrer Lagerung
- die Vorschubantriebe mit den Führungen,
- die Gestellbaugruppen und
- die Steuerung betrachtet und folgend kurz charakterisiert werden.

### Hauptantrieb mit der Hauptspindel und ihrer Lagerung

Der Hauptantrieb stellt über das Spindelmoment  $M_{Sp}$  und den Werkzeugdurchmesser  $d_{WZ}$  die Schnittkraft

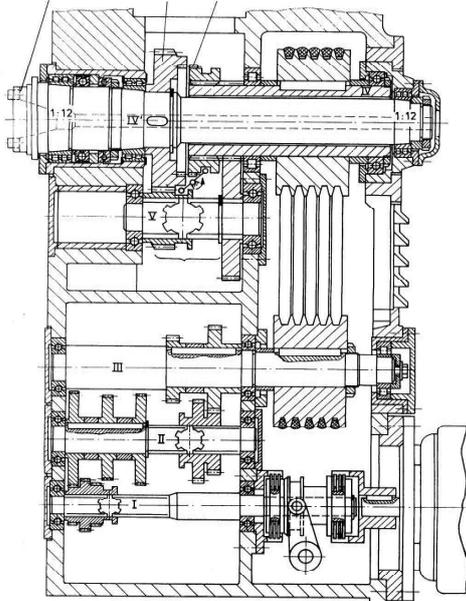
$$F_c = M_{Sp} / d_{WZ} \quad (0.1)$$

und über die Drehzahl  $n_{Sp}$  und den Werkzeugdurchmesser die Schnittgeschwindigkeit

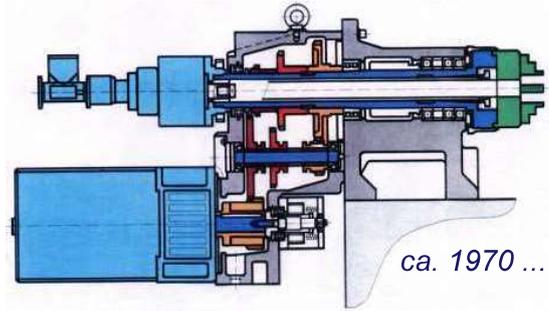
$$v_c = \pi * n_{Sp} * d_{WZ} \quad (0.2)$$

an der Werkzeugschneide zur Verfügung. Zur technologischen Anpassung von Schnittkraft und -geschwindigkeit an die Bearbeitungsaufgabe ist ein Getriebe zur gestuften Verstellung bzw. ein stufenlos verstellbarer Regelantrieb notwendig. In Bild 0.13 sind typische Hauptantriebe gezeigt.

ca. 1950 ...



gestufter Antrieb für konventionelle Fräsmaschine



ca. 1970 ...

Drehzahl geregelter Antrieb für NC-Drehmaschine



ca. 1990 ...

Motorspindel für HSC-Fräszentrum

Bild 0.17 Beispiele für Hauptantriebe von Werkzeugmaschinen

Man sieht deutlich, wie der Hauptantrieb im Laufe der Zeit kompakter wird. Zunächst verschwindet, mit dem Einzug des stufenlos regelbaren Motors, das Getriebe. Dann wird auch noch der Motor in die Spindel integriert.

Kenngrößen	an Dreh-, Bohr-, Frässpindeln
Drehzahlbereich	0 ... 15000 ... 40000 min <sup>-1</sup>
Drehzahlverstellbereich	> 1 : 500000
Leistung	... 100 kW
Drehmoment	20 ... 750 Nm
Dynamik	5 ... 100 ms auf Nenndrehzahl

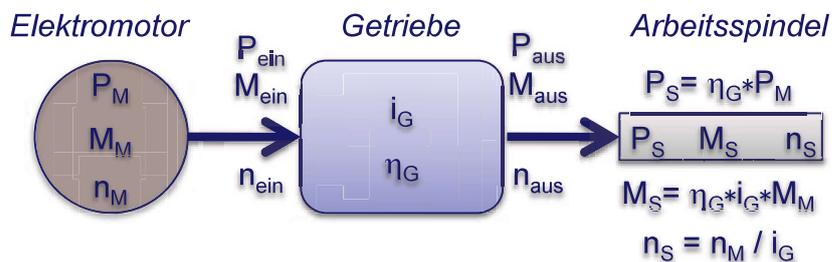


Bild 0.18 Kenngrößen und Komponenten von Hauptantrieben für WZM

Die Leistungs-, Momenten- und Drehzahlübertragung des Hauptantriebes vom E-Motor durch das Getriebe bis zur Arbeitsspindel und damit das Funktionsschema sowie einige Kenngrößen sind in Bild 0.18 angegeben.

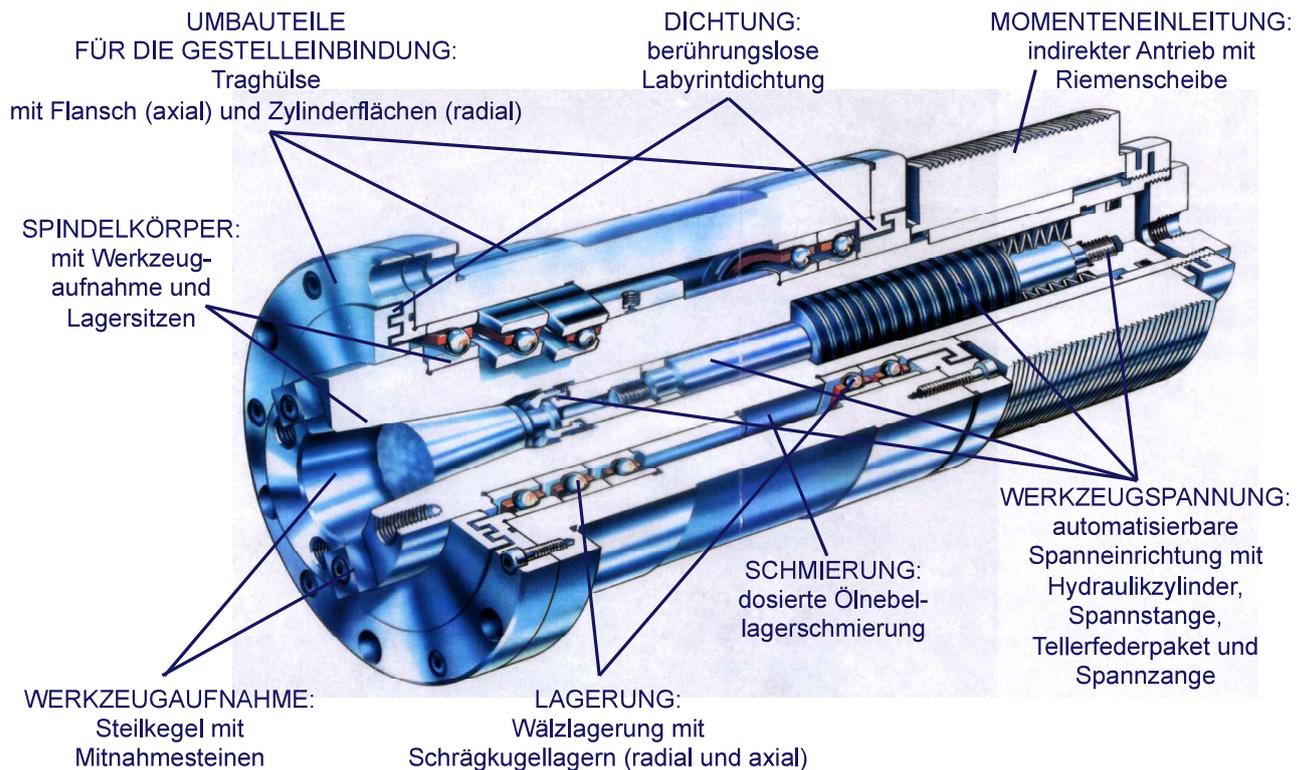


Bild 0.19 Beispiel einer Arbeitsspindel für eine Fräsmaschine

Bild 0.19 zeigt am Beispiel einer Frässpindel die konkrete Ausführung der WZ-Aufnahme und Spannung, die Momenteneinleitung sowie die Lagerung, Schmierung und Dichtung.

### Vorschubantriebe mit den Führungen

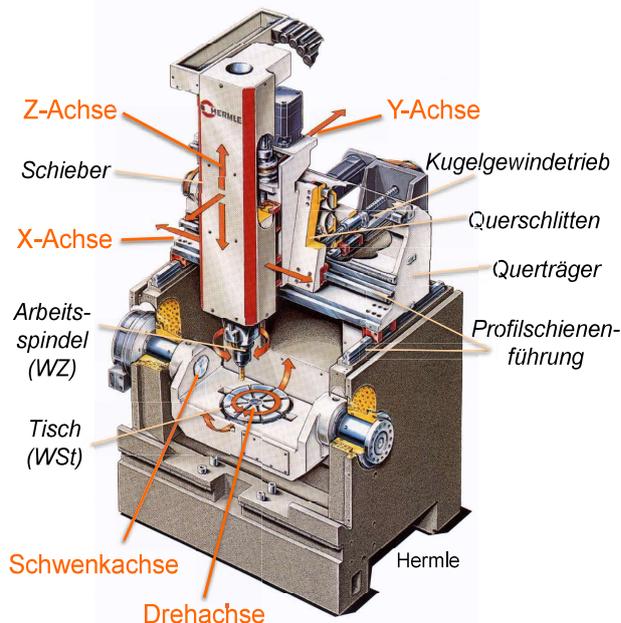


Bild 0.20 5-Achs-Vertikal-Fräsmaschine

In Bild 0.20 ist eine 5-Achs-Vertikal-Fräsmaschine dargestellt, sie ermöglicht eine 5-Seiten-Bearbeitung des Werkstücks in einer Aufspannung sowie die Bearbeitung von Freiformoberflächen. Die Maschine besitzt drei orthogonale translatorische Vorschubachsen (X-, Y- und Z-Achse) auf der WZ Seite sowie zwei rotatorische Vorschubachsen (Dreh- und Schwenkachse) auf der WZ-Seite.

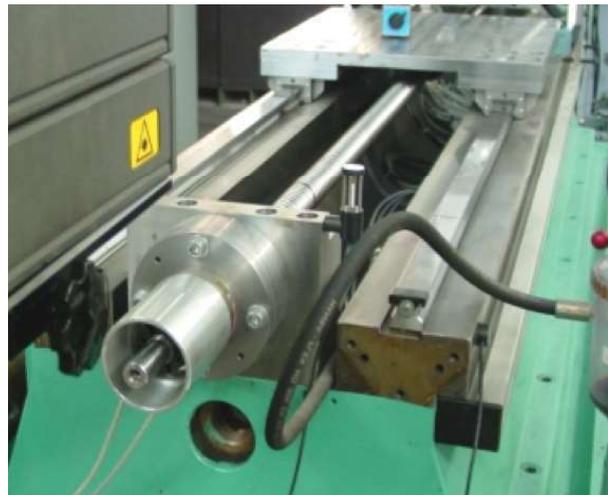
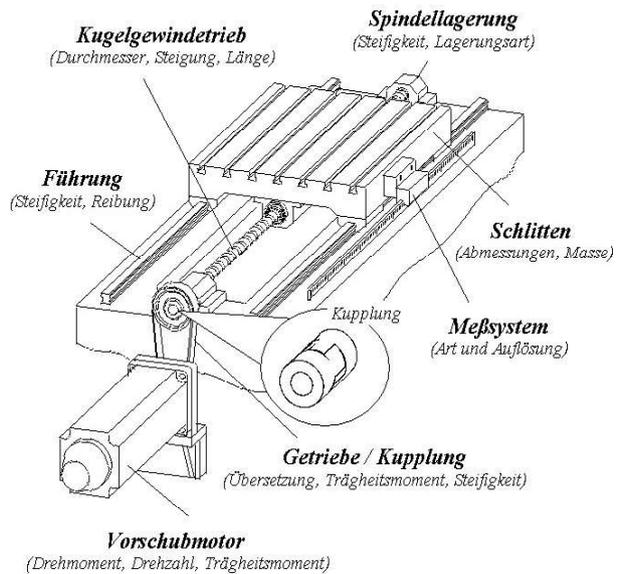


Bild 0.21 Standardaufbau eines translatorischen Vorschubantriebes mit Kugelgewindetrieb

Die translatorischen Vorschubachsen mit Kugelgewindetrieb (KGT) haben einen Aufbau wie er in Bild 0.21 gezeigt ist.

Der Motor liefert ein Moment

$$M_A \sim (x_{Soll} - x_{Ist}) * K_v \quad (0.3)$$

und Riementrieb sowie Kugelgewindetrieb wandeln das Moment in eine Antriebskraft

$$F_A = (i_G / (h_{KGT} / 2\pi)) * M_A \quad (0.4)$$

Die Antriebskraft muss die Belastung aus Reibung und Prozesskraft überwinden und in der Lage sein, die Massen zu beschleunigen. Die Vorschubachsen verfügen über eine Lageregelung, d.h. die Steuerung gibt die Lage (Position, Weg) vor (Lagesollwert:  $x_{Soll}$ ) und der Antrieb versucht die Differenz zwischen der Vorgabe und der aktuell gemessenen Lage (Lageistwert:  $x_{Ist}$ ) zu Null zu machen. Bild 0.22 zeigt das Funktionsschema des Standardantriebes mit Kugelgewindetrieb und Kenngrößen für alternative Vorschubsysteme (Standardausführung mit Kugelgewindetrieb, Ritzel-Zahnstangen-Trieb und Lineardirektantrieb).

Kenngrößen	Servomot.+KGT	Ritzel-Zahnst.	Linearmotor
Verstellweg [mm]	0,1 ... 5000	3000 ...	0,1 ... 10000
Positionsabweichung [ $\mu\text{m}$ ]	~ 1	~10	~ 0,1
max. Geschwindigkeit [m/min]	... 90	... 70	... 150
max. Beschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]	... 10	... 10	... 100
Vorschubkraft [N]	... 40000	... 50000	... 10000

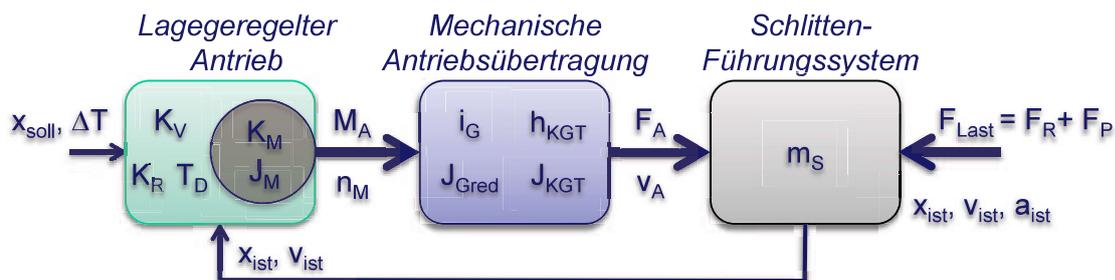


Bild 0.22 Kenngrößen und Komponenten von Vorschubantrieben für WZM

## Gestellbaugruppen

Das Gestell nimmt die Gewichts-, Prozess-, Spann- und Antriebskräfte auf und leitet sie weiter. Da es gleichzeitig Führungs- und damit Genauigkeitsbasis ist, müssen die Gestellbauteile in der Regel steif ausgelegt und kraftflussgerecht gestaltet sein. Man kann die Gestellbaugruppen in Baugruppen der Bewegungsbasis und bewegte Baugruppen unterscheiden. Dementsprechend gelten unterschiedliche Gestaltungsanforderungen. Beispielsweise spielt die Masse bei den Baugruppen der Bewegungsbasis kaum eine Rolle, während sie bei den bewegten Baugruppen zu minimieren ist. Mit Bild 0.23 sind für beide Arten von Gestellbaugruppen Beispiele gezeigt.

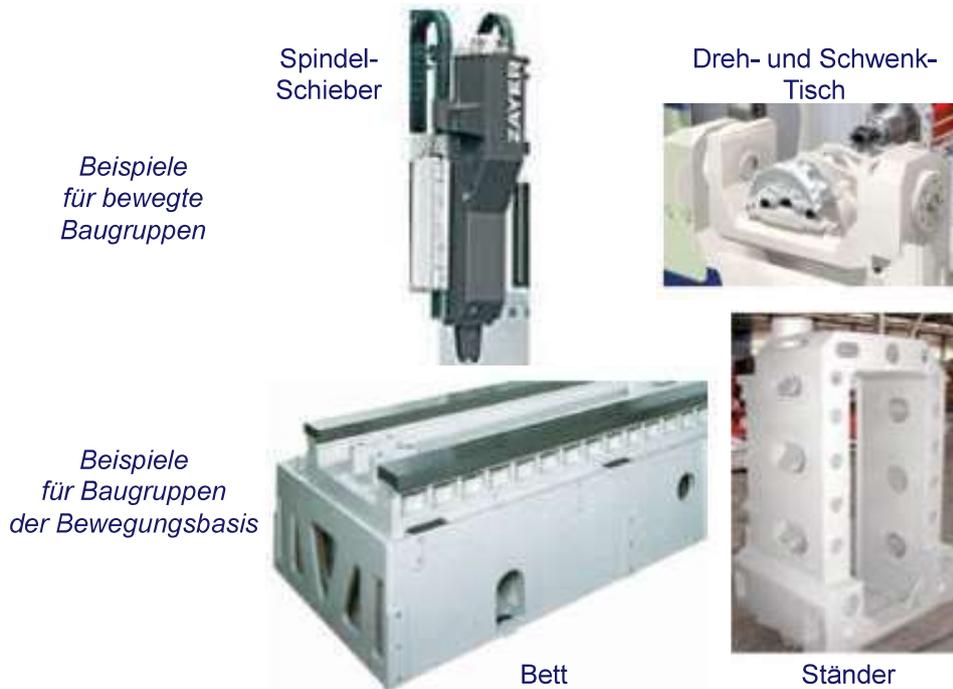


Bild 0.23 Beispiele für Gestellbaugruppen von Werkzeugmaschinen

Einige Kenngrößen für die Baugruppenarten des Gestells und das vereinfachte Funktionsschema finden sich in Bild 0.24.

Kenngrößen	Bew. Baugr.	Bew.basis	Verbdg.st.	Aufstellg.
größte Abmessung [m]	0,05 ..(1).. 15	0,1 ..(3).. 30	0,05 ..(0,5).. 5	0,5 ..(3).. 30
Masse [kg]	0,5 ..(500).. 80000	5 ..(2000).. 150000		
Werkstoff	CFK, Al, St, GGG, GGL, RHB, Granit			St, Gummi, Boden
Steifigkeit [N/ $\mu\text{m}$ ]	20 ..(300).. 2000	10 ..(150).. 1000	100 ..(500).. 5000	5 ..(300).. 500
niedr. Eigenfrequenz [Hz]	10 ..(100).. 600	5 ..(30).. 300		1 ..(40).. 100

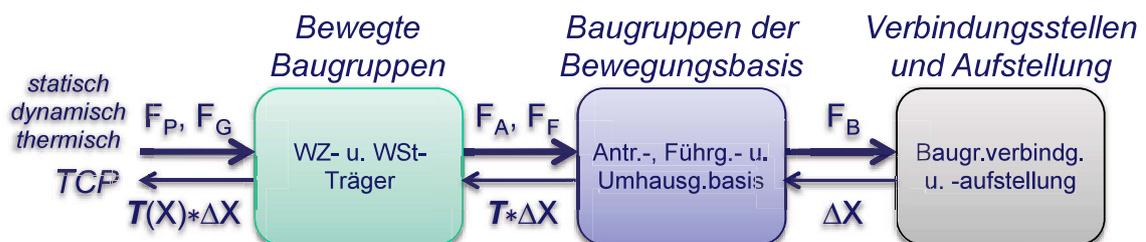


Bild 0.24 Kenngrößen und Komponenten von Gestellstrukturen für WZM

Da die Kenngrößen stark von der Baugröße abhängen und diese von den Maschinen zur Mikrobearbeitung bis hin zu den Maschinen zur Großteilmbearbeitung extrem variieren, sind die Größen in weiten Bereichen angegeben. Das Funktionsschema symbolisiert den Kraftfluss ( $F$ ) von den WZ- und WSt-Trägern bis zur Aufstellung und rückwärts die Verformungen ( $\Delta x$ ) und ihre Transformation ( $T$ ) zum TCP (Werkzeugeingriffspunkt – Tool Center Point).

## Steuerung

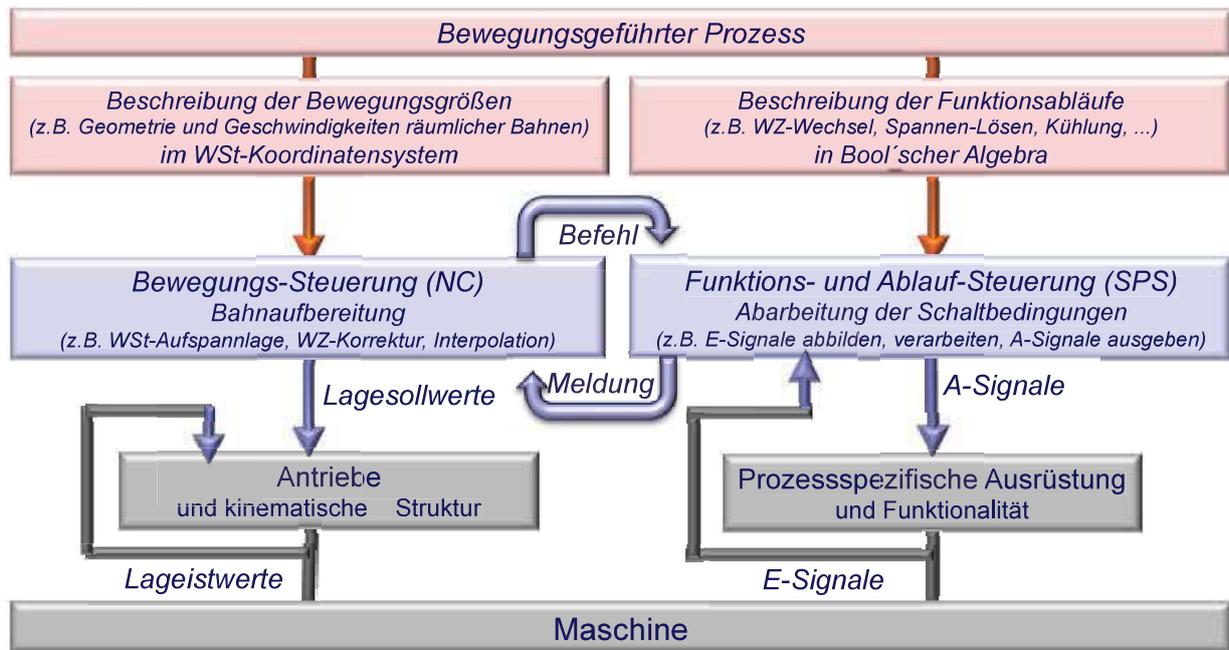


Bild 0.25 Vereinfachte Werkzeugmaschinen-Steuerungsstruktur und -funktionalität

Die Werkzeugmaschinen-Steuerung hat im Wesentlichen zwei Hauptaufgaben, einerseits die Realisierung der Relativbewegung zwischen WZ und WSt für die definierte Spanabnahme am WSt sowie andererseits die bearbeitungsgerechte Zuordnung und Ausführung der Schaltvorgänge und Hilfsprozesse. Entsprechend unterscheidet man die Bewegungs-Steuerung von der Funktions- und Ablauf-Steuerung, Bild 0.25.

Die *Bewegungssteuerung* setzt die, im Werkstück-Koordinatensystem beschriebene, Geometrie der geplanten Werkstückbearbeitung in, durch Interpolation fein aufgelöste, Bewegungsvorgaben im Maschinen-Koordinatensystem (Lagesollwerte), um. Die Lagesollwerte werden an die lagegeregelten Antriebe ausgegeben, die entsprechende Stellbewegungen ausführen, um die ständig gemessenen Lageistwerte an die –sollwerte heranzuführen.

Die *Funktions- und Ablauf-Steuerung*, auch Anpaßsteuerung genannt, reagiert zyklisch auf Änderungen der von den Sensoren (Taster, Endschalter, Druck- und Temperaturegeber, ...) aktualisierten Eingangs-Signalen, indem die Eingangs-Signale in der Steuerung ausgewertet, neue Ausgangs-Signale gebildet und an die Aktoren (Motoren, Magnete, Ventile, Lampen, ...) ausgegeben werden.

Bild 0.26 enthält einige leistungsbeschreibende Kenngrößen und sowie das vereinfachte Funktionsschema der heutigen Werkzeugmaschinensteuerungen.

<i>Kenngrößen</i>	<i>Funktionssteuerung (SPS)</i>	<i>Bewegungssteuerung (NC)</i>	<i>Kenngrößen</i>
Programmlänge [ $10^3$ AW]	3 ... 30	> 100	Aktualisierg. Bedienoberfl.funkt. [ms]
Wortlänge [bit]	32, 64	5	Satzverarbeitungszeit [ms]
Zykluszeit [ms]	0,3 ... 3	1	Interpolatortakt [ms]
Verarbeitungszeit [ms/ $10^3$ AW]	0,1... 0,3	0,25	Lagereglertakt [ms]

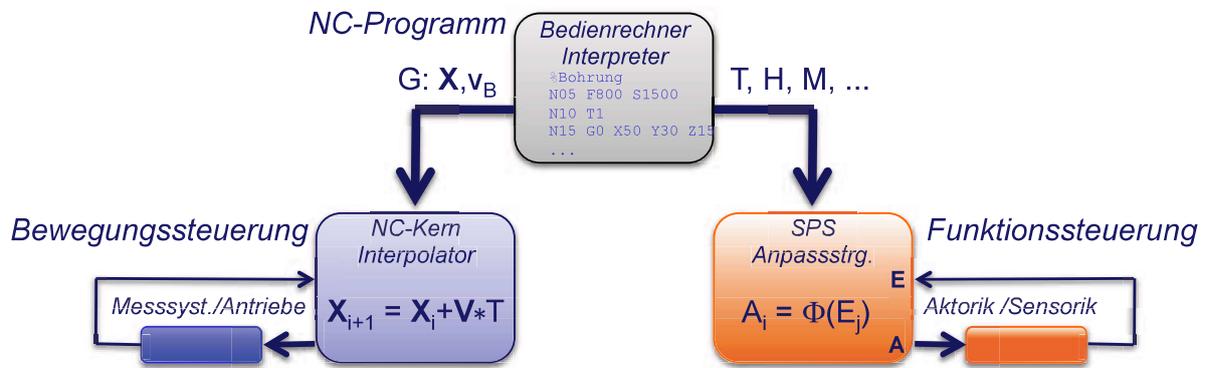


Bild 0.26 Kenngrößen und Komponenten von Steuerungen für WZM