

# Vorteile der Drehzahlveränderbarkeit bei Stell- und Regelantrieben

## Advantages of variable speed actuators

In den letzten Jahren haben drehzahlveränderbare Antriebe (Im Folgenden kurz als „DVA“ bezeichnet) stetig Einzug in Industrieanlagen und auch den Consumerbereich gehalten. Häufig ist das Ziel des Einsatzes die Energieeinsparung über die Lebensdauer. Es ist zum Beispiel günstiger, einen Kompressor mit variabler Drehzahl genau die benötigte Luftmenge verdichten zu lassen, anstatt ihn mit fester Drehzahl für den Maximalbedarf zu betreiben und den tatsächlich benötigten Bedarf durch Drosselklappen – und damit Vergeudung von Energie – zu erzeugen. Ein weiterer häufig genannter Grund für den Einsatz von DVAs in Industrieprozessen ist die Anpassung von Stellgliedern an unterschiedliche Prozessanforderungen. Viele der Vorteile, die DVA in industriellen Anwendungen haben, können auf den Armaturenmarkt und auf elektrische Stellantriebe übertragen werden, weitere kommen hinzu.

Dieser Übersichtsaufsatz

- ▷ skizziert den Aufbau und die Methoden der „Erzeugung“ der Drehzahlveränderung,
- ▷ erklärt die Vorteile anhand von Anwendungen im Armaturenbereich,
- ▷ zeigt Vorteile beim Einsatz von DVA in der Planung und Projektierung auf.

Within the last years variable speed drives (VSD) consequently found their way into industrial plants and even consumer market. Frequently the reason for their use is the total saving of energy during their lifetime. It is more beneficial for instance, to let a compressor run with variable speed to compress exactly the necessary amount of air instead of letting it run with full speed (designed for maximum possible use) and creating the actual demand using throttles – and thus destroying energy. Another common reason for the use of VSDs is the adaption of actuators to different process demands.

Most of the advantages of VSDs in industrial plants can be projected to the valve market and electrical actuators, some new arguments are added.

This overview essay

- ▷ gives a sketch of the methods of „production“ of speed variation,
- ▷ shows some examples and advantages for valve market applications using VSD
- ▷ shows the advantages from the viewpoint project planning when using VSD.



**Dr. Matthias Rebhan**  
Geschäftsführer, SIPOS  
Aktorik GmbH,  
D-90451 Nürnberg;  
Tel: +49 911 63284-110,  
matthias.rebhan@sipos.de



**Gerda Nölp**  
SIPOS Aktorik GmbH,  
D-90451 Nürnberg;  
Tel: +49 911 63284-113,  
gerda.noelp@sipos.de

### Aufbau eines drehzahlveränderbaren Antriebes

Es gibt verschiedene Arten, einen Motor mit variabler Drehzahl laufen zu lassen. Im Bereich von Netzspannungen kleiner als 1000 V und Leistungen bis zu einigen 100 kW kommt in fast allen Fällen der so genannte „Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis“, meist in Verbindung mit einem robusten Drehstrom-Asynchronmotor, zum Einsatz. Daher wird im Folgenden auch nur diese Variante skizziert.

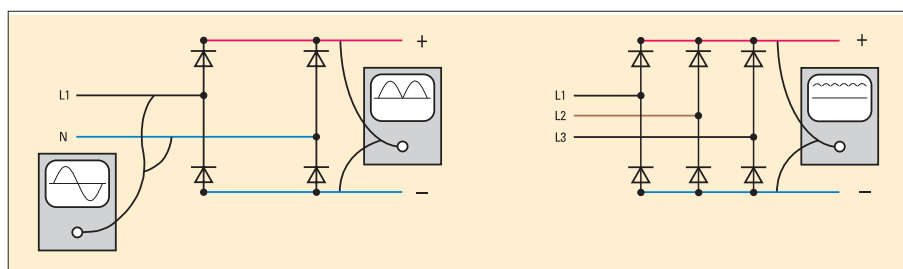
Ein drehzahlveränderbarer Antrieb benötigt am Motor eine in Frequenz (Drehzahl) und Amplitude (Spannungshöhe bestimmt Drehmoment) veränderbare dreiphasige Spannung. Das Netz stellt jedoch eine in Frequenz und Ampli-

tude starre Spannung zur Verfügung. Die Umwandlung erfolgt in zwei Schritten:

#### 1. Gleichrichtung und Glättung

Die ein- oder dreiphasige Speisespannung wird über ein Netzwerk aus Gleich-

richterioden („Brückengleichrichter“) zunächst in eine (wellige) Gleichspannung überführt (**Bild 1**). Über „dicke“ Kondensatoren, die quasi als Zwischenspeicher für die Energie fungieren, wird diese Spannung weiter geglättet.



**Bild 1:** Gleichrichten der Speisespannung

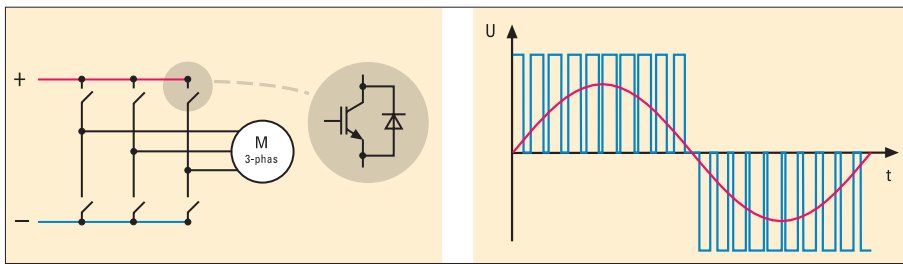


Bild 2: Glätten und Pulsweitenmodulation

## 2. Wechselrichtung

Der zweite Teil eines Frequenzumrichters besteht aus sechs schnellen „elektronischen Schaltern“, die – in einem genau definierten Rhythmus – die Gleichspannung an die drei Motorklemmen anlegen. Durch sehr schnelles Schalten und die richtige Spannungswahl (Pulsweitenmodulation) lässt sich so ein Drehspannungssystem aufbauen (Bild 2). Die vielen Gleichspannungs-„Scheibchen“ werden durch die Motorwicklungen gefiltert, nur der „Grundschwingungsanteil“ der Spannungen bewirkt den Aufbau eines Drehfeldes – mit der gewünschten Frequenz und Spannungsamplitude.

Der „Kniff“ liegt hier in der Vorausberechnung der Spannungsmuster und der schnellen Umsetzung der gewünschten Schaltzustände. In modernen DVAs erledigen schnelle Rechner (Mikroprozessoren oder -controller) diese Aufgabe. Für die Umsetzung der Schaltbefehle sorgen elektronische Bauteile, die seit Anfang der 90er Jahre als Serienteile zur Verfügung stehen und dem „idealen Schalter“

– schnell und verlustlos schalten – sehr nahe kommen: „IGBTs“ (isolated gate bipolar transistors). Um noch kurz eine Vorstellung von der Leistungsfähigkeit dieser Bauteile zu vermitteln: Jeder der sechs IGBTs eines Wechselrichters schaltet typisch ca. 6.000 bis 10.000 Mal pro Sekunde Spannungen von rund 540 V (Zwischenkreisspannung bei Gleichrichtung von 400V 3-phasig) ein und wieder aus.

### Vorteile beim Einsatz von drehzahlveränderbaren Stellantrieben in Armaturen Anwendungen

#### Anfahren – langsam, aber sicher

Armaturen in Kraftwerken (Bild 3) oder Wasseranlagen müssen bisweilen großen Druckdifferenzen widerstehen. Beim schnellen Verfahren der Armatur über den gesamten Stellweg kommt es zu turbulenten Strömungen und Verwirbelungen. Folgen sind Materialstress und damit Gefahr für Armatur, Rohrleitung und Verbindungselemente. Unerwünschte bzw. schädliche Begleiter-

scheinungen wie Kavitation und „Wasserschläge“, die sich in der gesamten Anlage fortpflanzen, können durch eine „dosierte“ Bewegungsgeschwindigkeit des Drosselkörpers verhindert werden.

Beim anfänglich langsamen Öffnen der Armatur kann zuerst der Druckausgleich stattfinden und anschließend, bei einer definierten Armaturenstellung, kann mit höherer Stellgeschwindigkeit weiter gefahren werden.

Bei drehzahlveränderbaren Antrieben wird dafür die Motorfrequenz über einen so genannten ‚Hochlaufgeber‘ mit definierter Veränderungsgeschwindigkeit und ‚Ruckbegrenzung‘ verändert („Rampe“).

#### Dicht ohne Überhöhungsmomente

Fährt der Stellantrieb die Armatur mit voller Drehzahl in den Sitz, so wird zwar die Funktion „dicht Schließen“ erfüllt, der Preis dafür ist aber das hohe dynamische Belastungsmoment für Armatur und Antrieb. Während der Verzögerungszeit zwischen Erkennung des Drehmomentes und Abschaltung läuft der Motor mit voller Kraft weiter. Auch nach dem elektrischen AUS treibt die gespeicherte kinetische Energie das Antriebssystem noch weiter in die Momentenüberhöhung. Armatur und Antrieb sind auf diese Überhöhungsmomente hin auszulegen – eine Verschwendung gegenüber dem normalen Betrieb! Gegenmaßnahmen können zusätzliche Bremsen am Antrieb sein. Das bedeutet wiederum Zusatzkosten und Verschleiß an den Bremsen.

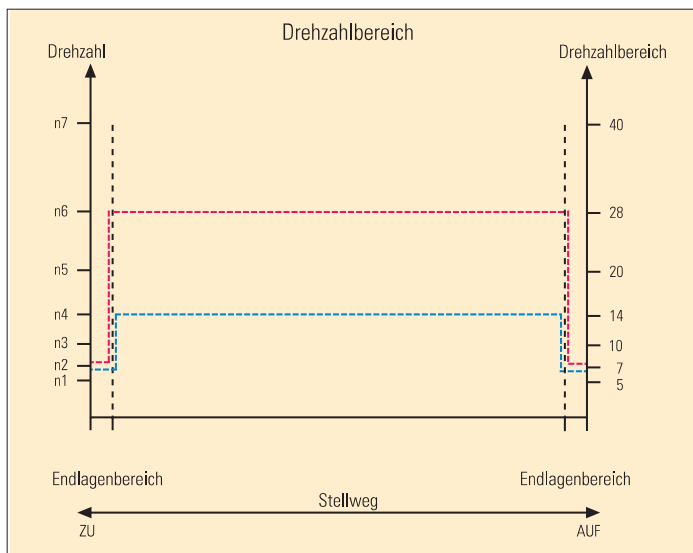
Ein Stellantrieb mit DVA kann kurz vor Erreichen der Endlage die Drehzahl geregelt auf einen kleinen Wert herunterfahren und somit die kinetische Energie auf einen Bruchteil reduzieren. Weiter lässt sich die Vorgabe der Motorspannung so wählen, dass das gewünschte Kippmoment gleich dem Abschaltmoment der Armatur ist – somit fällt selbst die Verzögerungszeit zwischen Erkennen der Abschaltung und tatsächlichem Motor-AUS nicht mehr ins Gewicht.

Am Anwendungsbeispiel Armatur und Antrieb stellt sich das wie folgt dar.

Mit kräftigem Anzugsmoment fährt der Antrieb sanft aus der Endlage der Armatur heraus und sanft in die Endlage hinein (Bild 4). Der integrierte Frequenzumrichter moduliert automatisch Frequenz und Amplitude in den Endlagen, wodurch mit reduzierter Motordrehzahl gefahren wird. Das heißt der Antrieb fährt in den Endlagenbereichen, die mit x % vom Ventilweg in der Größe eingestellt werden können, mit reduzierter Geschwindigkeit. Und dies ohne Überhöhungsmoment, auch bei Blockade.



Bild 3: Reduzierventil mit Düsen-Einspritz-Regelventil, betrieben mit drehzahlveränderbarem Antrieb SIPOS 5 Flash



**Bild 4:** Langsames Aus und in die Endlagen Fahren

Dadurch werden Armatur, Ventilsitz, Dichtungen und sonstige mechanische Komponenten besonders geschont (Bild 5).

**Unterschiedliche Drehzahlen im Weg**

Bisweilen ist es sinnvoll, im Laufe des Stellweges mit unterschiedlichen Drehzahlen zu verfahren – um zum Beispiel kritische Positionen ohne Anregung von Resonanzen im Prozess zu überbrücken oder die Prozessgrößen Druck, Temperatur, Durchfluss usw. konstant zu halten, oder um Ventilkennlinien zu linearisieren. Was bei „Festdrehzahl-Antrieben“ nur mit Ein-/Ausschaltvorgängen (Taktbetrieb), und damit mit vielen kleinen Stößen geht, ist beim DVA Standard.

Zur Drehzahlveränderung während des Betriebes stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

**Verwendung unterschiedlicher Stellgeschwindigkeiten für AUF- und ZU-Richtung.**

Die drehzahlveränderbaren Antriebe können so eingestellt/parametriert wer-

den, dass die Stellgeschwindigkeit in ZU-Richtung der Armatur (bzw. Vorrichtung) eine andere ist als in die AUF-Richtung (Bild 6).

Ein typischer Einsatzfall dafür ist die Applikation „Dekanter“ in Kläranlagen (Bild 7) mit SBR-Verfahren (Sequencing Batch Reaktor). Das Absenken des Dekanters in das Medium erfolgt mit niedriger Geschwindigkeit, um Verwirbelungen im Belebtschlamm zu vermeiden. Nach dem Abfließen des Wassers hebt sich der Dekanter mit höherer Geschwindigkeit von der Abwasser-Oberfläche und fährt in die Ausgangsposition zurück.

**Unterschiedliche Drehzahlen für Normalbetrieb und Notsituation**

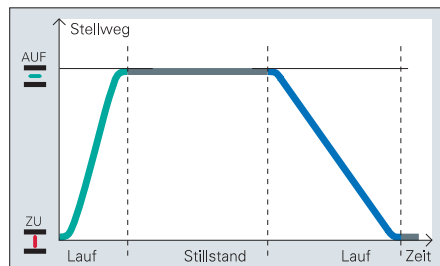
Regelungstechniker kennen das: Die Zwickmühle der optimalen Auslegung eines Regelkreises sowohl für das Führungs- als auch für das Störverhalten. Es wäre wünschenswert, wenn die „motorisierte Armatur“ (MOV – motor operated valve) im Regelbetrieb mit kleiner Drehzahl präzise positioniert, aber



**Bild 5:** Klappen DN 1800, PN 1,6 mit drehzahlveränderbarem Antrieb für die Regelung der Luftzufuhr an einem Stahlwerksofen

bei einer Notsituation (Lastabwurf im Kraftwerk, ...) mit maximaler Drehzahl in eine vordefinierte Lage verfährt. Mit DVAs ist das problemlos möglich (Bild 8). Die Art und Weise der Vorgabemöglichkeit ist lediglich eine Frage der „Intelligenz“ des Programms.

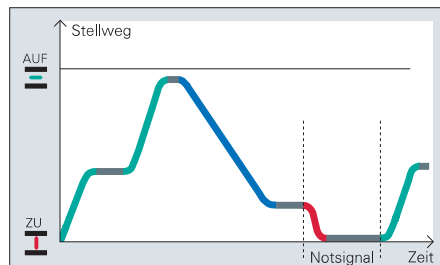
Die Funktion bei NOT-Eingangssignal kann beispielsweise wie folgt aussehen: Bei den drehzahlveränderbaren Antrie-



**Bild 6:** Unterschiedliche Drehzahlen für Auf/Zu-Richtung können aus sieben zur Verfügung stehenden Geschwindigkeiten ausgewählt und parametriert werden

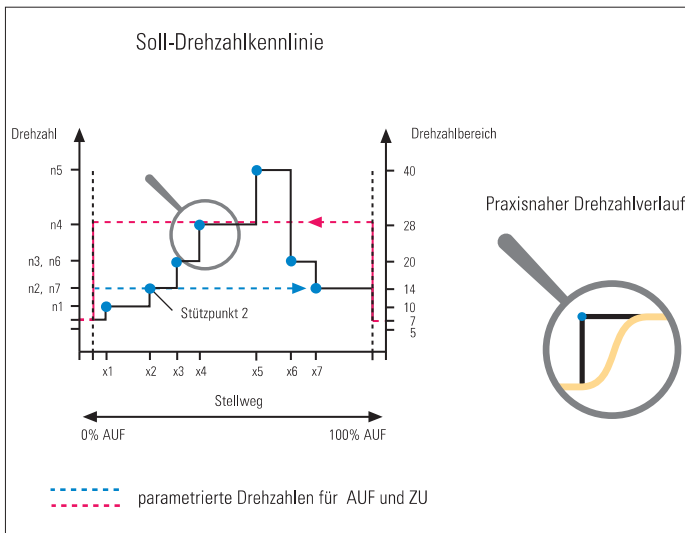


**Bild 7:** Drehzahlveränderbarer Antrieb an einem Dekanter in einer Kläranlage



**Bild 8:** Neben unterschiedlichen Geschwindigkeiten für Auf-Zu können für Notbetrieb für Auf/Zu-Richtung weitere Geschwindigkeiten parametriert werden





**Bild 9:** Weg-Drehzahl-Kennlinie

**Vorteile beim Einsatz von drehzahlveränderbaren Stellantrieben in der Planung und Projektierung**  
**Kompensation von Spannungsschwankungen**

Bei einem Drehstrom-Asynchronmotor verändert sich das abgegebene Drehmoment in etwa proportional zum Quadrat der angelegten Motorspannung. Bei 70 % der Nennspannung liefert der konventionell angesteuerte Antrieb also nur noch etwa die Hälfte des sonst verfügbaren Momentes. Auch wenn die Spannungsschwankungen im normalen Netz nicht so extrem sind, bricht beim Anlauf von benachbarten Großverbrauchern (Pumpen, Kompressoren, großen Motoren) auch im stärksten Industrienetz die lokale Spannung ein. Der Antrieb muss auf diesen Niederspannungsfall ausgelegt werden. Andererseits muss bei maximaler Spannung – mit Überhöhung in den zugestandenen Toleranzen – sichergestellt sein, dass die Armatur beim Abschalten nicht beschädigt wird. Die Armatur muss also für diesen Betriebspunkt ausgelegt werden.

Mit einem DVA ist das Ausgangsdrehmoment in weiten Bereichen unabhängig von der tatsächlich anliegenden Netzspannung – ein Auslegungsvorteil, der sich leicht um den Faktor 2 bewegen kann!

**Einphasig mit vollem Moment aus dem Stand – und zur Not mit Wechselrichter**

Gelegentlich besteht die Anforderung, Antriebe bei Spannungsausfall mittels eines Wechselrichters – gespeist aus Batterien – noch verfahren zu können. Der Einsatz eines „normalen“ Drehstromantriebes scheidet hier schnell an den immensen Kosten eines Dreiphasenwechselrichters – diese Geräte sind nicht als Standard vorhanden. Einphasenwechselrichter hingegen bedingen

ben kann über den Not-Eingang eine separate (zum Beispiel schnellere) Geschwindigkeit in beide Richtungen getrennt eingestellt werden.

Bei anstehendem Not-Signal fährt der Antrieb mit der eingestellten Geschwindigkeit in die vorgegebene Not-Position (ZU, AUF, oder jede beliebige Zwischenstellung). Darüber hinaus stehen verschiedene Softwarevarianten, basierend auf Kundenanforderungen, zur Verfügung.

**Wegabhängige Drehzahlveränderung**

Die Drehzahl bzw. Stellgeschwindigkeit des Antriebs kann bei den drehzahlveränderbaren Antrieben auch über den Verfahrenweg unterschiedlich eingestellt (d. h. programmiert) werden. Es besteht die Möglichkeit den gesamten Verfah-

weg der Armatur in bis zu zehn Streckenabschnitte zu unterteilen mit jeweils anderer Geschwindigkeit (**Bild 9**). Mit Hilfe dieser Funktion kann eine Proportionalität von Stellweg und Mediumsdurchfluss erzielt werden. Der drehzahlveränderbare Antrieb realisiert dies durch Veränderung der Drehzahl während des Verfahrens von AUF nach ZU und umgekehrt. Die NOT-Funktion bleibt davon unberührt. Auch kann differenziert werden ob der Antrieb diese, über Stützpunkte definierte, Kennlinie bei Vor-Ort Bedienung, über Fern-Ansteuerung oder in jedem Fall durchlaufen soll.

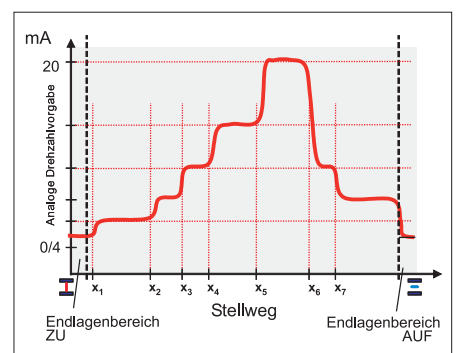
Diese Funktion wird zum Beispiel in verschiedenen Fernheizkraftwerken in Schweden genutzt (Birka district heating, Stockholm; Fortum district heating, Upplands Väsby-Akalla). Der Antrieb betätigt die Armaturen an der 120-°C-/60-°C Wasser-Verteilung (**Bild 10**). Der Antrieb fährt im ersten Abschnitt des Stellweges mit hoher Geschwindigkeit bis der Druckabfall auf der anderen Seite der Armatur erreicht ist, anschließend fährt der Antrieb mit reduzierter Geschwindigkeit in die Zu-Endlage. Das gleiche findet auch in umgekehrter Richtung statt. Mit dieser Methode werden Wasserschläge in der Rohrleitung verhindert.

**Analoge Drehzahlvorgabe**

Bei über Frequenzumrichter angesteuerten Antrieben ist auch eine prozessorientierte Drehzahlvorgabe durch eine analoges 0/4-20 mA Signal für den Drehzahlverlauf möglich (**Bild 11**). Über die Funktion „analoge Drehzahlvorgabe“ kann der Antrieb ohne Umparametrierung im Betrieb mit unterschiedlichen Drehzahlen verfahren.



**Bild 10:** SIPOS 5 Flash in einer Fernwärme-Verteilstation



**Bild 11:** Analoge Drehzahlvorgabe

wiederum Einphasenmotoren, also „Universalmotoren“ mit Anlaufkondensator, bei denen der Problempunkt beim Anlaufmoment liegt.

Ein DVA kann – bis zu einer herstellerabhängigen Leistungsgrenze – aus einer einphasigen Einspeisespannung eine variable dreiphasige Spannung für den Motor erzeugen und damit diese Nische ohne Zusatzaufwand oder Performanceverlust bedienen.

#### **Auslegung Abzweige**

Mit einem Frequenzumrichter muss der Motor nicht mehr von Schlupf = 1 (Drehzahl = 0) bis zum Nennschlupf mit hohem Anlaufstrom anlaufen, sondern es wird in jedem Augenblick eine neue Frequenz vorgegeben und der Motor quasi immer im momentanen Nennpunkt betrieben. Anders ausgedrückt: Der Anlaufstrom ist kleiner oder gleich dem Nennstrom.

Bei dem Einsatz von mehreren Antrieben an einem Abzweig kann das zu deutlichen Einsparungen im Schalt-

schrankvolumen und bei den Kabelquerschnitten führen!

#### **Automatische Phasenfolgekorrektur**

Dem Gleichrichter ist es „egal“, in welcher Reihenfolge die Phasen angeklemt sind – damit ist eine automatische Phasenfolgekorrektur gegeben. Die Drehrichtung des Motors wird ausschließlich durch die Vorgabe im Wechselrichter bestimmt.

#### **Anlaufmoment**

Bei kleinen Frequenzen kann durch die Spannungsamplitude das Drehmoment des Motors fein eingestellt werden. Da gerade bei kleinen Frequenzen genügend „Spannungsreserve“ vorhanden ist, kann das Anlaufmoment immer so gewählt werden, dass auch aus einer verspannten Armatur ein Losfahren möglich ist.

#### **Motorüberwachung – integrierter Motorvollschutz**

Neben kontinuierlicher Messung der Motortemperatur über Sensoren hat

man mit dem Frequenzumrichter auch den Motorstrom (gemessen im Spannungs-Zwischenkreis) fest im Griff. Das Phänomen „abgebrannter Motor“ ist damit Vergangenheit.

#### **Ersatzteilkhaltung und Projektierung (Drehzahl/Drehmoment/Drehrichtung)**

Durch die Möglichkeit, Drehzahlen und Abschaltmomente jederzeit in weiten Grenzen frei einstellen zu können oder die Drehrichtung umzukehren, kann die Projektierung und die Prozessoptimierung bei einmal laufender Anlage wesentlich erleichtert werden.

Die Motorvarianten und die in einem Kraftwerk/Anlage verwendeten Antriebstypen und -Größen sind durch die Einstellmöglichkeiten stark reduziert.

Die sonst verwendeten Untersetzungsgetriebe und verschiedene Motoren für diverse Drehzahlen entfallen. Dadurch reduziert sich ebenfalls die Bevorratung von Ersatzteilen erheblich.