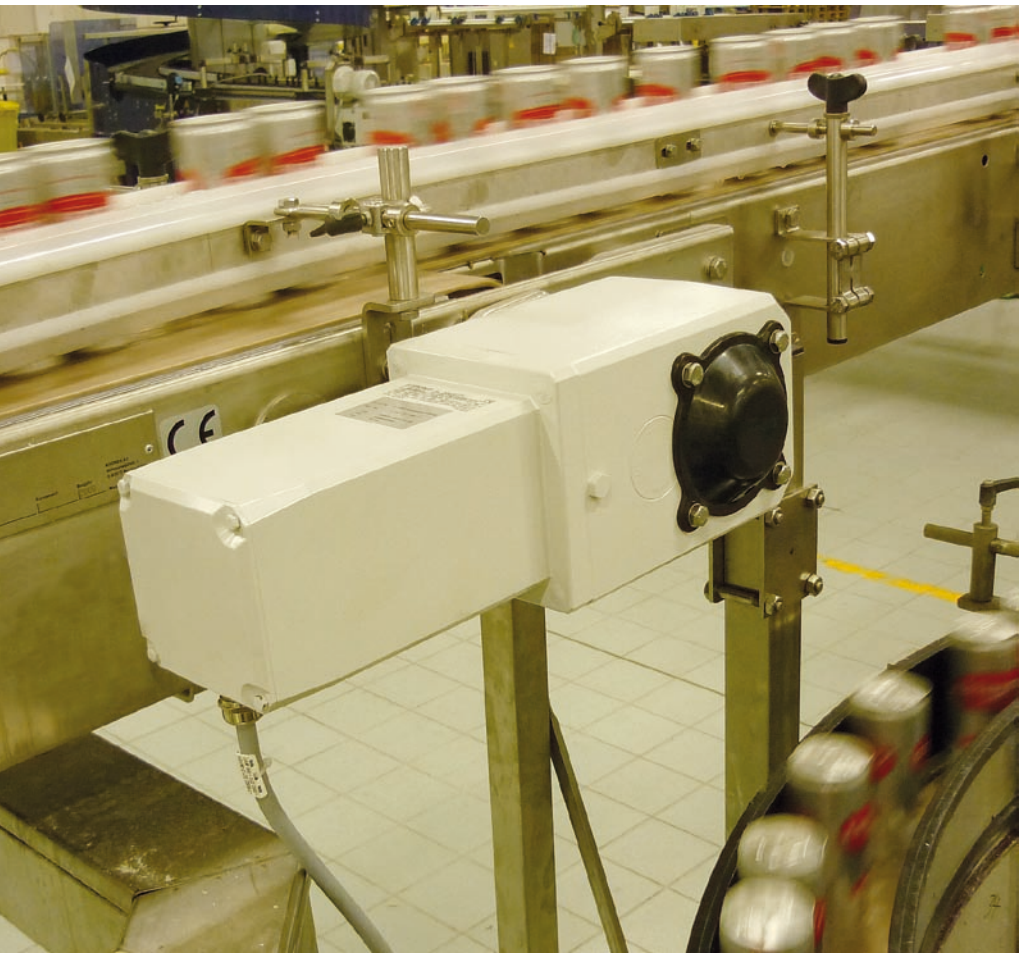
Fit für die Zukunft

In Kooperation entwickeltes Antriebssystem besticht durch zahlreiche Vorteile



Kaj Sellschopp

Gemeinsam haben zwei deutsche Antriebstechnik-Hersteller innerhalb eines Jahres einen Getriebemotor vom Prototyp zum serienreifen Produkt entwickelt, der vielfältigste Anforderungen erfüllt. Ergebnis der Zusammenarbeit ist ein Antrieb auf der Basis eines geberlosen PM-Synchronmotors und eines Kegel-Stirnradgetriebes, der neben einem hohen Wirkungsgrad auch leicht zu reinigende Oberflächen bietet (Bild 1). Großes Überlastvermögen und geringes Bauvolumen gehören ebenfalls zu den Vorteilen der Lösung – die nicht zuletzt durch ihr günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis besticht.

Kaj Sellschopp *ist als Leiter Entwicklung + Konstruktion für die ZAE-AntriebsSysteme GmbH & Co KG in Hamburg tätig.*

Die elektronische Antriebstechnik in Form von Frequenz- oder Servoumrichtern dominiert heute fast alle Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau. Nahezu überall kommen Steuerungen und Regelungen für Lage, Drehzahl oder Drehmoment zum Einsatz. Dabei werden schon komplette Funktionen der SPS im Umrichter übernommen. Den Motoren, heute zumeist Drehstrommaschinen, sowie den Kupplungen und Getrieben kommt bei der Realisierung von Gesamtlösungen jedoch eine ebenso große Bedeutung zu. Schließlich entscheidet das mechatronische System als Ganzes über den Erfolg einer Antriebslösung.

Life-Cycle-Bilanz entscheidet

Die Erkenntnis, dass die natürlichen Ressourcen begrenzt sind und vor allem der Energieverbrauch gesenkt werden muss, hat in den vergangenen Jahren zu einem Umdenken im Maschinen- und Anlagenbau geführt. Vor dem Hintergrund der Gesamtkostenbetrachtung für einen Antrieb spielen die reinen Anschaffungskosten nun nicht mehr die allein entscheidende Rolle. Die Anschaffungskosten für das Produkt dürfen sogar höher liegen, wenn am Ende seiner Gebrauchsdauer die Bilanz aus Gesamtkosten und Nutzungsdauer im Vergleich günstiger ausfällt (Total-Life-Cycle-Cost-Betrachtung). Dabei spielen unter anderem Faktoren wie Inbetriebnahmeaufwand, Energieverbrauch, Wartungsfreiheit, Lebensdauer, Reparaturfreundlichkeit oder auch die weltweite Verfügbarkeit und Entsorgungskosten eine entscheidende Rolle. In **Bild 2** sind die Kostenverläufe zweier Varianten schematisch dargestellt.

In sehr vielen Anwendungen wird also der Gesamtwirkungsgrad der Antriebsachse, bestehend aus Frequenzumrichter, Motor und Getriebe, eine entscheidende Rolle spielen. So verlangen Anlagenbetreiber zunehmend auch Wirtschaftlichkeitsberechnungen vom Hersteller. Diese beziehen sich dann auf den gesamten Antrieb und auf den vollen Lebenszyklus der Anlage. Vor diesem Hintergrund werden künftig andere, zum Teil deutlich hochwertigere Technologien zum Zuge kommen, als dies heute der Fall ist. So werden Steuerungen und Regelungen weiterentwickelt, um ökonomische Gesamtsysteme zu erhalten. In der Gerätetechnik werden Kompaktheit und Energiemanagement eine zunehmende Rolle spielen. Lösungen zur Nutzbarmachung generatorisch gewonnener Energie im System,

wie Netzrückspeisung, Zwischenkreiskopplung oder große Kondensatoren als Energiezwischenspeicher, werden in den Schaltschränken vermehrt vorgesehen werden.

Auch Motoren werden zunehmend anhand ihrer Wirkungsgradeinstufung in Effizienzklassen (IE1 bis IE4) ausgewählt. Bei Drehstrom-Asynchronmaschinen beispielsweise wird der Käfigläufer in Kupfer statt in Aluminium ausgeführt, was die Läuferverluste deutlich reduziert. Die Wirkungsgrade einer entsprechenden IE2-Maschine liegen nennenswert über denen einer herkömmlichen IE1-Maschine. Bei Wirkungsgradanforderungen, die noch darüber hinausgehen (IE3 und besser), muss auf etwas teurere Permanentmagnet-Synchronmaschinen zurückgegriffen werden.

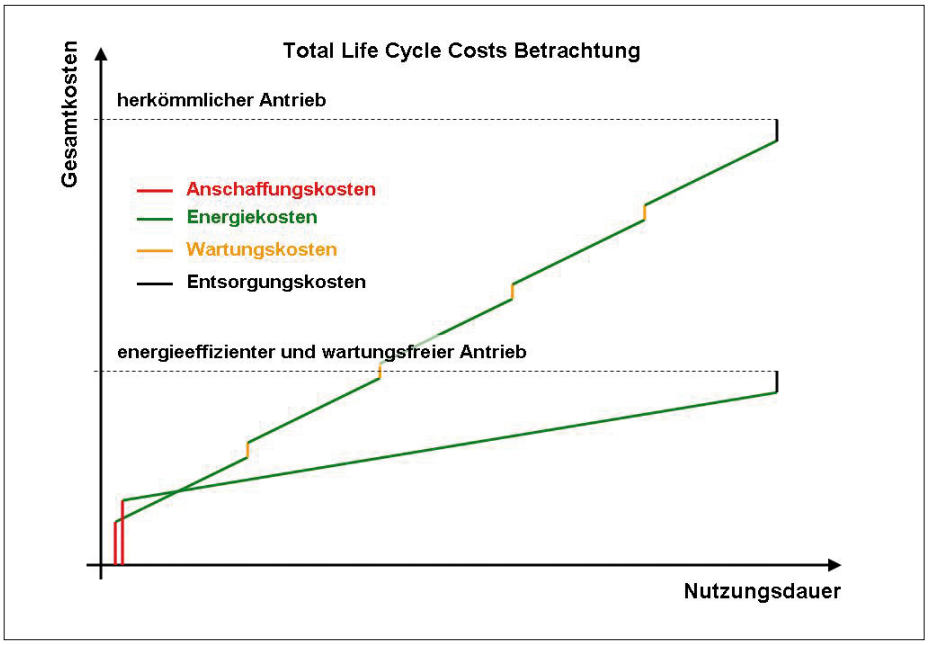
Permanentmagnet-Synchronmotoren werden typischerweise in Servoachsen eingesetzt und dort mit Geberrückführung („closed loop“) betrieben, was sie für den Standardantrieb oft zu teuer macht. Allerdings sind in den letzten Jahren die Voraussetzungen geschaffen worden, um auch diese Motoren ohne Geberrückführung („open loop“) zu betreiben. Die Vektorregelung wird dann über eine EMK-Auswertung in den drei Phasen und über höherwertige Motormodelle realisiert. Für Anwendungen, in denen keine hochpräzise Regelung erforderlich ist, können diese Antriebe sehr interessant sein.

An Bedeutung gewinnen auch Torquemotoren und Linearmotoren, die ohne mechanische Übersetzungen auskommen. Aus Kostengründen werden sie aber vornehmlich dort eingesetzt, wo die Mechanik an ihre Grenzen stößt.

Effizientere Lösungen für steigende Anforderungen

Die künftige Dimensionierung der Antriebe muss sich an die gestiegenen Anforderungen der Anlagenbetreiber anpassen. Überdimensionierungen sind nicht nur aus Kostengründen zu vermeiden. Auch der Wirkungsgrad überdimensionierter Einheiten ist vergleichsweise schlecht. Zu knapp dimensionierte Antriebe bieten dagegen unter Umständen zu geringe Lebensdauern und bedingen damit teure Reparaturen. Für viele Antriebe werden bereits jetzt Lebensdauern von über 20 000 Betriebsstunden und zum Teil völlige Wartungsfreiheit gefordert.

Die Erfüllung der gestiegenen Anforderungen wird für das Gros aller Anwendungen zukünftig durch Antriebe erreicht, die aus einem entsprechenden Umrichter, einem geberlos betriebenen PM-Synchronmotor und einem wirkungsgradoptimierten Getriebe bestehen. Durch die geringen Verluste im Läufer sind Permanentmagnet-Synchronmotoren gegenüber Asynchronmaschinen im Hinblick auf den Wirkungsgrad deutlich im Vorteil. Mit der Möglichkeit, Permanentmagnet-Synchronmaschinen geberlos am Frequenzumrichter zu betreiben, ist diese



2: Lebenszykluskosten eines energieeffizienten und eines herkömmlichen Antriebs im Vergleich.

Maschinenbauform für eine Vielzahl von Anwendungen interessant. Voraussetzung für den geberlosen Betrieb ist die Fähigkeit des Geräts, Phasenspannungen und -ströme auszuwerten und auf Basis eines hinterlegten Motormodells eine saubere Vektorregelung aufzubauen.

Soll der Gesamtantrieb im Wirkungsgrad hervorstechen, muss neben dem Motor selbstverständlich auch das Getriebe optimiert sein. Vor allem die Zahl der Getriebestufen ist auf das niedrigste Maß zu begrenzen, denn jede zusätzliche Getriebestufe erzeugt Verluste. Dazu sind die maximal erreichbaren Übersetzungssprünge je Stufe im Hinblick auf Geometrie und Tragfähigkeit zu realisieren. Bei Kegel- und Stirnradstufen liegen diese bei etwa 6. Hypoid- und Schneckenstufen bieten hier einen größeren Spielraum. Generell sollten im Hinblick auf den Wirkungsgrad Übersetzungen größer 10 vermieden werden.

In wirkungsgradoptimierten Getrieben kommen bevorzugt Stirnräder oder Kegelräder zum Einsatz. Dabei sollten Zahnräder mit extremen Profilverschiebungen vermieden werden, um Gleitanteile an den Flanken gering zu halten. Die kleinen Stufen am Eingang sollen tendenziell mit möglichst hohen Drehzahlen laufen, um Planschverluste an den großen Rädern zu begrenzen. Bei den Lagerungen sollten nach Möglichkeit Rillenkugellager oder Schrägkugellager eingesetzt werden; Rollenlager erzeugen vergleichsweise hohe Reibmomente. Wenn angestellte Lagerungen verwendet werden, ist auf die präzise Einstellung der Lagerspiele zu achten, denn verspannte Lagerungen können zu erhöhten Verlustleistungen führen.

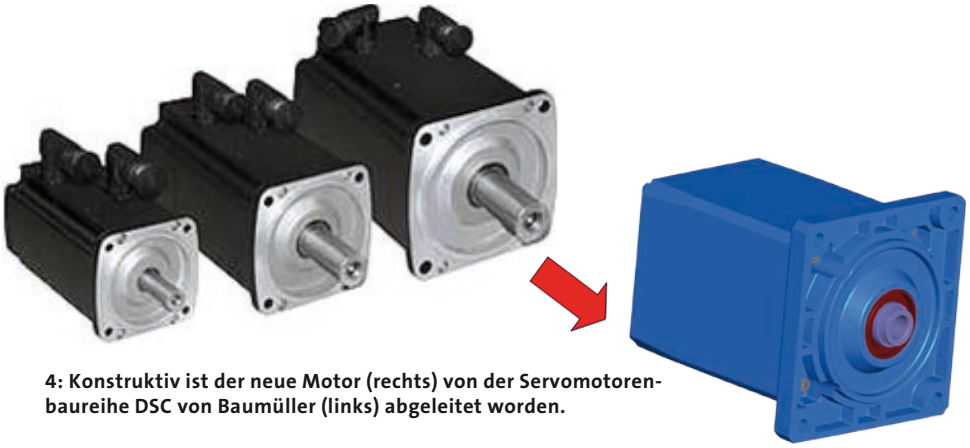
Auch Dichtringe, vor allem auf der Antriebswelle, erzeugen nicht selten einen nennenswerten Teil der Verlustleistung. Allerdings sind moderne Dichtringe in der Reibung deutlich optimiert. Werkstoffe, Ge-

3: Mit dem neuen PM-Synchron-Getriebemotor haben Baumüller und ZAE einen Antrieb entwickelt, der die Ansprüche moderner Antriebstechnikanwendungen optimal erfüllt.

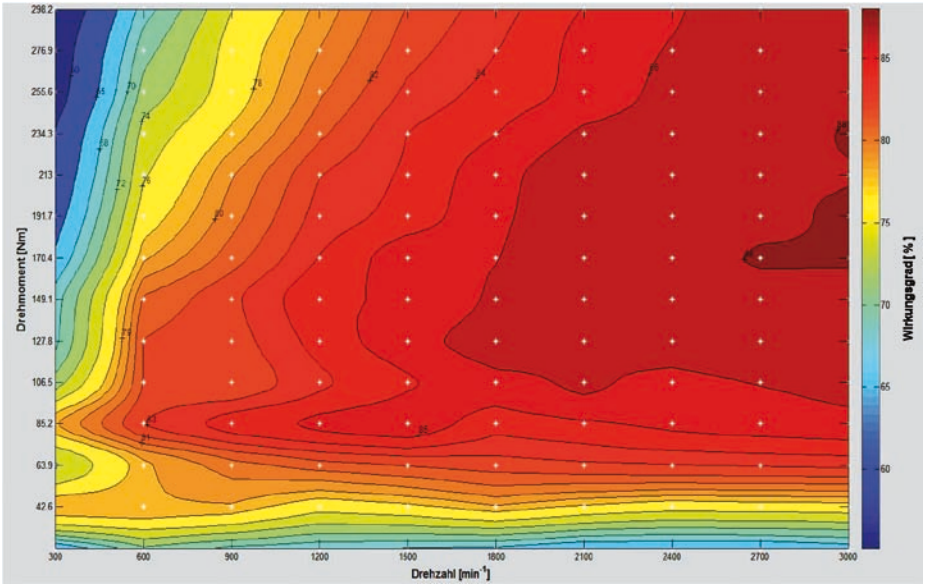
ometrie und Federbelastung können das ursprüngliche Reibmoment ohne Weiteres auf die Hälfte reduzieren. Schließlich hilft eine möglichst geringe Ölviskosität, Planschverluste zu vermindern. Dabei ist zu beachten, dass Zahnräder und Wälzlager eine Mindestölviskosität erfordern, um die Tragfähigkeits- und Lebensdaueranforderungen zu erfüllen.

Mit optimiertem Antrieb in die Zukunft

Einen „Antrieb für die Zukunft“, der so gut wie alle oben genannten Ansprüche erfüllt, haben Baumüller und ZAE-AntriebsSysteme nun gemeinsam entwickelt (**Bild 3**). Dabei wurde auf Basis einer Standard-Servomaschine aus dem Programm DSC045 bis DSC100 der Firma Baumüller eine entsprechende Permanentmagnet-Synchronmaschine abgeleitet (**Bild 4**). Die elektrisch und mechanisch optimierten Motoren zeichnen sich besonders durch die vergossenen Statorwicklungen aus, was die Maschine weitgehend unempfindlich gegen eindringende Flüssigkeiten macht und au-



4: Konstruktiv ist der neue Motor (rechts) von der Servomotorenbaureihe DSC von Baumüller (links) abgeleitet worden.



5: Wirkungsgradkennfeld des Getriebemotors.

ßerdem eine höhere Leistungsdichte zulässt.

Dazu hat ZAE ein zweistufiges Kegel-Stirnradgetriebe entwickelt, das in Kombination mit dem integrierten PM-Synchronmotor für die Branche richtungweisende Betriebswirkungsgrade bis zu 90 % erreicht. In **Bild 5** ist dies beispielhaft für einen Antrieb mit zirka 2 kW Nennleistung und einem Nenndrehmoment von 213 Nm dargestellt. Der Anlagenbetreiber kann so bei einer angenommenen vollen Leistung von 2,1 kW im Vergleich zu einem herkömmlichen Antrieb zirka 350 W Verlustleistung einsparen. Bei Vollauslastung der Anlage sind das 1850 kWh im Jahr, was je nach Stromtarif eine jährliche Einsparung bis zu 340 € je Antrieb bedeutet. Bei großen Anlagen mit vielen Antrieben, die im Mehrschichtbetrieb betrieben wird, können hier schnell fünfstellige Beträge zusammen kommen.

Neben der optimierten und robusten Konstruktion bietet der von ZAE und Baumüller entwickelte Antrieb ein modernes und zugleich zeitloses Design – ein Faktor, der für Maschinenkonstrukteure zunehmend eine Rolle spielt. Konzipiert sind die Getriebemotoren als Aufsteckversion. Das heißt, dass die Einheit auf eine Maschinenwelle aufgesteckt und im Regelfall über eine einfache Drehmomentstütze abgefangen wird. Dabei ist die Orientierung des Antriebs in 90°-Winkelschritten frei wählbar.

Hinzu kommt, dass für viele aseptische Anwendungen, nicht nur in der Lebensmittel-, Getränke- oder Pharmaindustrie, die Reinigungsfähigkeit von Oberflächen sehr wichtig ist. Auch diese Anforderung erfüllt der neue Antrieb in nahezu idealer Weise. Es gibt keine „Schmutzecken", in denen sich Keime sammeln können. Auf Wunsch kann der Antrieb auch mit speziellen Lackierungen für die Lebensmittelbranchen versehen werden. Dank der überaus günstigen Wirkungsgrade kann auf Kühlrippen und Lüfter verzichtet werden: Selbst bei voller Leistung steigen die Oberflächentemperaturen nicht über 75 °C an. Darüber hinaus sind die Antriebe praktisch wartungsfrei. Der verwendete Schmierstoff, wahlweise PG H1 oder H2, macht einen Ölwechsel theoretisch erst nach weit über 20 000 h erforderlich. Nicht zuletzt sind die Kosten und die Störanfälligkeit des Systems durch den Wegfall des Gebers am Umrichter gegenüber einem Servoantrieb deutlich reduziert.

Dies alles führt in Summe zu einer deutlichen Verringerung der Lebenszykluskosten einer Einheit. Durch den reduzierten Energieverbrauch, den geringen Wartungsaufwand und die minimale Störanfälligkeit haben sich die Mehrkosten durch den etwas höheren Anschaffungspreis bereits nach kurzer Zeit amortisiert. Vor allem konnte durch die großen nutzbaren Stellbereiche der Motoren die Zahl der notwendigen Motor- und Übersetzungsvarianten deutlich begrenzt werden, was in der Praxis zusätzliche Einsparungen bedeutet.

ZAE und Baumüller haben das vorgestellte Antriebskonzept in weniger als einem Jahr bis zur Serienreife entwickelt: Die ersten Serienantriebe sind bereits bei einem Pilotanwender erfolgreich im Einsatz (Bild 1). Geplant ist, das Antriebskonzept in einer Getriebemotorreihe im Drehmomentbereich 100 bis 800 Nm künftig standardmäßig zu vertreiben. Die angebotenen Übersetzungen sollen jeweils von zirka 6 bis 37 reichen. Für besondere Ansprüche können die Motoren im gleichen Design selbstverständlich auch mit Geber oder auch mit einer Haltebremse geliefert werden.

ZAE
7522450
WWW www.vfv1.de/#7522450

BAUMÜLLER
7522450
WWW www.vfv1.de/#7522450