



SIEMENS

# Energiemanagement an Servopressen

Ist Energiemanagement für Servopressen nötig oder sinnvoll?  
Wie beeinflusst es die Investitionskosten, wie die Stückkosten?

[siemens.de/umformtechnik](http://siemens.de/umformtechnik)

# Energiemanagement an Servopressen

Das Thema Energiemanagement beschäftigt Pressenhersteller und Pressenbetreiber, und das spätestens seit Siemens 2008 die ersten Servopressen ausrüstete: Ist Energiemanagement für Servopressen nötig oder sinnvoll? Wie beeinflusst es die Investitionskosten, wie die Stückkosten? Kann man mit Servopressen überhaupt Energie sparen? Der Ausgangspunkt bei der Klärung dieser Fragen ist stets der Umformprozess mit seinen konkreten Anforderungen.

## Anforderung des Umformprozesses

Wie verschiedene Ansätze des Energiemanagements wirken, wird hier anhand eines exemplarischen Umformprozesses betrachtet, der eine 2.000-t-Servopresse mit einem Kraftweg von 10 mm vor UT (unterer Totpunkt) benötigt. Der Endanwender fordert eine Mindesthubhöhe von 650 mm, eine Umformarbeit von ca. 550 kJ pro Hub sowie eine maximale Umformgeschwindigkeit von 0,14 m/s. Anhand dieser Angaben kann die für das eigentliche Umformen benötigte Leistung errechnet werden, hier sind das ca. 2.750 kW. Es müssen 30 Hub pro Minute erreicht werden.

## Exemplarische Servopresse

Anhand dieser Vorgaben konzipiert der Maschinenhersteller eine Exzenter-Presse mit folgenden mechanischen Eckdaten:

- Hub: 650 mm
- Pleuellänge: 2.650 mm
- Stößelmasse: 100 t
- Getriebe: 26
- Trägheiten: 60.000 kgm<sup>2</sup>
- Mech. Wirkungsgrad: ~ 92 %

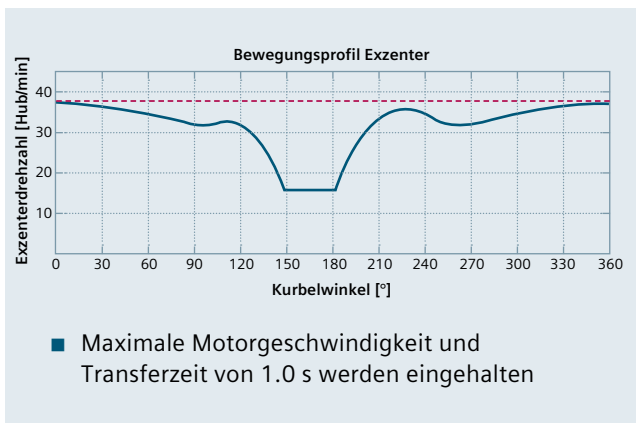
Bei einem mechanischen Wirkungsgrad von 92 % werden für 2.750 kW Umformleistung Servos mit mindestens 3.000 kW Antriebsleistung benötigt.

## Produktivität per Bewegungsführung maximieren

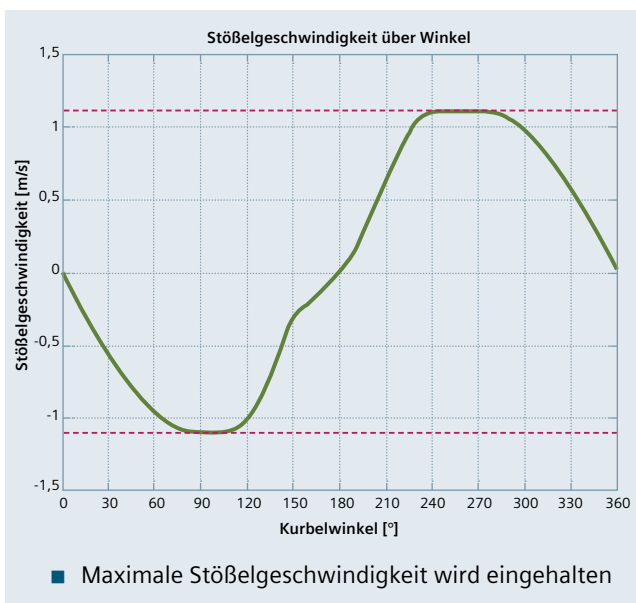
Für den Einsatz von Servopressen sind die Freiheitsgrade bei der Bewegungsführung des Stößels entscheidend. Sie erlauben die Optimierung der Umformqualität, des Durchsatzes und der Prozesssicherheit. Die beiden wichtigsten Herausforderungen an die Bewegungsführung sind dabei ...

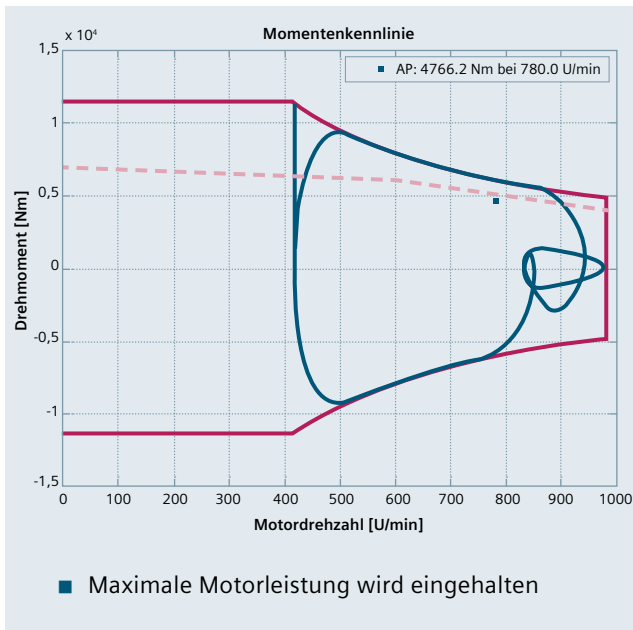
- 1.) die aus den statischen Umformbedingungen ermittelte Systemleistung auch dynamisch vollständig einzusetzen: Nur dann wird das elektrische System effektiv genutzt und die maximal mögliche Produktivität erreicht.
- 2.) auch bei den geforderten 30 Hub pro Minute alle Randbedingungen des Gesamtsystems einzuhalten:
  - Umformbedingungen
  - maximale Motorgeschwindigkeit
  - zulässige Stößelgeschwindigkeit
  - installierte Motorleistung und verfügbares Drehmoment dürfen zu keinem Zeitpunkt überschritten werden
  - zwischen den Exzenterstellungen 250 ° und 100 ° müssen mindestens 1,0 Sekunden zum Teiletransfer zur Verfügung stehen

Bei herkömmlichen Methoden, derartige Bewegungsaufgaben mit Hilfe von Kurvenscheiben und Polynomfunktionen höherer Ordnung zu lösen, wird der energetische Aspekt zu gering gewichtet bzw. bleibt unberücksichtigt. Die maximal mögliche Produktivität wird also nicht ausgenutzt. Darum hat Siemens ein neues Berechnungsverfahren für die Bewegungsprofile von Servopressen entwickelt. Unter Beachtung aller technologischen, antriebstechnischen und mechanischen Randbedingungen wird ein energieoptimales Bewegungsprofil berechnet, das die geforderte Produktivität gewährleistet. Das folgende Bild zeigt den nach diesem Verfahren ermittelten Bewegungsverlauf für die Beispielpresse, auch bei 30 Teilen/min werden alle Randbedingungen eingehalten:



Erreichbare Produktivität dieser Beispielpresse ist 30 Hub/Minute mit 2.000 t Presskraft bei 10 mm vor UT und 550 kJ Umformarbeit pro Hub

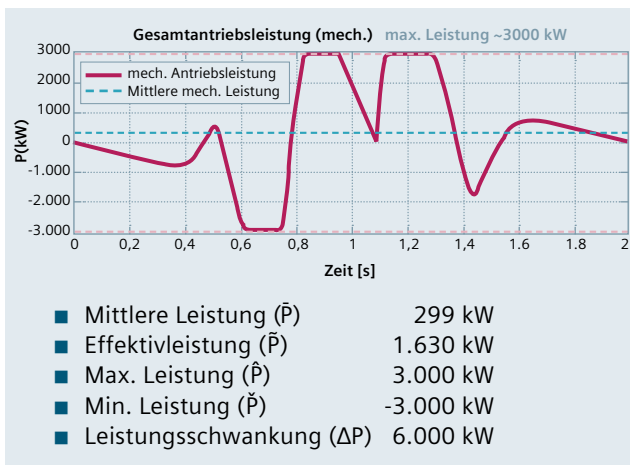




Siemens hat das neue Berechnungsverfahren in das Motion-Control-System SIMOTION integriert: Der Baustein OACAMGEN erzeugt automatisch Bewegungskurven, die bei vorgegebener Taktzahl alle mechanischen und elektrischen Randbedingungen des Gesamtsystems einhalten. Der Pressenbetreiber hat damit maximale Flexibilität. Er kann die Pressenbewegung sehr einfach an Werkzeug, Material und gefertigtes Teil anpassen.

## Energetische Betrachtungen

Das oben gezeigte Bewegungsprofil für die maximale Ausnutzung der Servopresse bewirkt folgenden Leistungsverlauf an der Motorwelle:

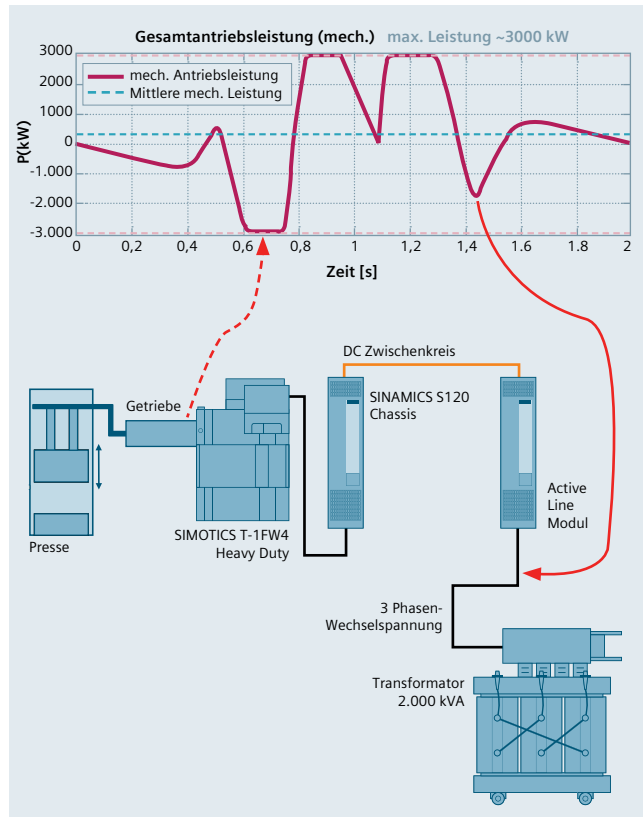


Elektrische Verlustleistungen sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Der große Unterschied zwischen Nutz- und Effektivleistung zeigt, dass die Bewegungsführung das Gesamtsystem optimal ausnutzt. Der Einsatz von Torque-Motoren erweitert dabei den Spielraum, denn dank ihrer Dynamik ermöglichen sie bei vorgegebener Umformhubzahl die größtmögliche Produktivität.

## Fall 1: Servopresse ohne Energiemanagement

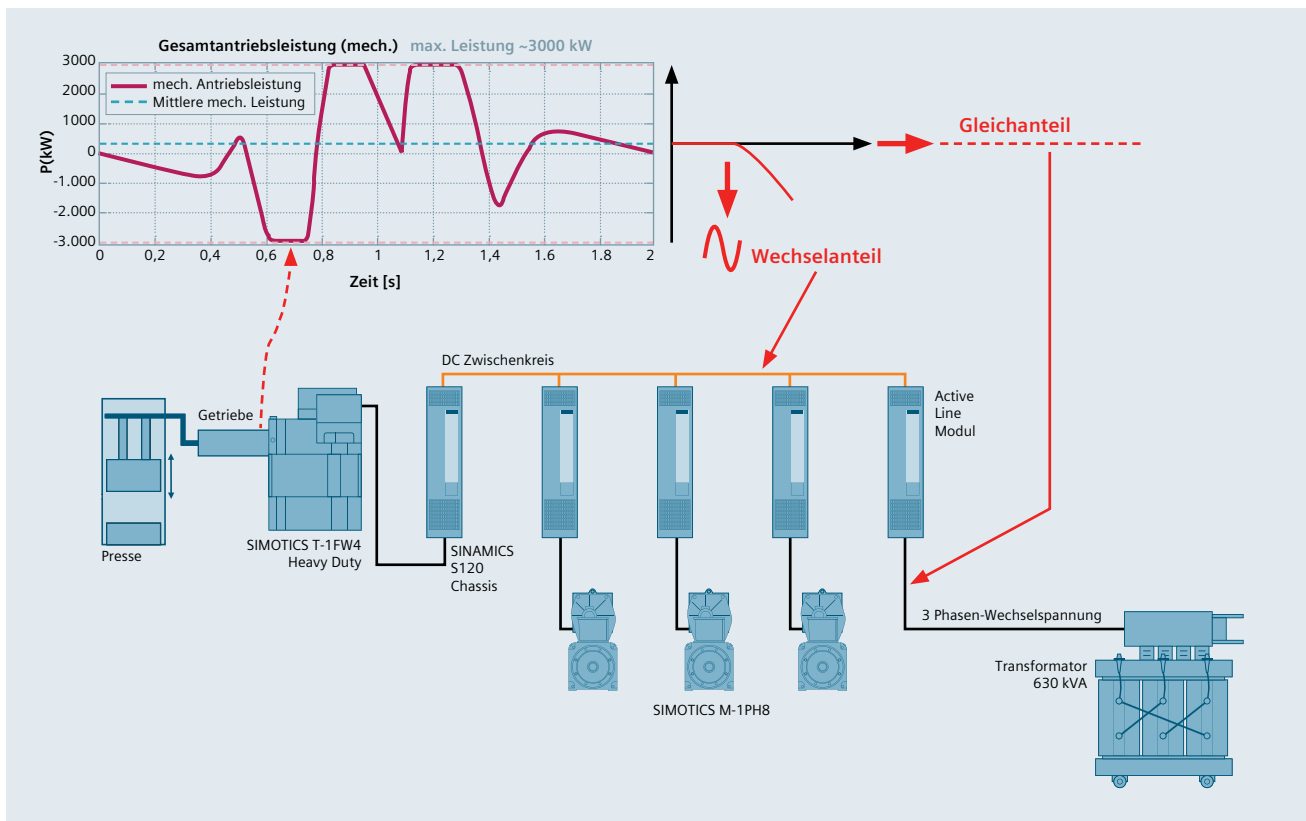
Bei einer Servopresse ohne Energiemanagement muss die vom Motor abzugebende mechanische Leistung sowie die Verlustleistung des elektrischen Systems zu jedem Zeitpunkt vollständig von der Einspeisung und vom Versorgungsnetz abgedeckt werden.



Die Einspeiseeinheit muss hier eine Spitzenleistung von über 3.000 kW abdecken, der vorgeschaltete Transformator muss diese Lastspitze bewältigen und die großen Lastschwankungen wirken direkt auf das speisende Netz. Es wird ein Trafo mit mindestens 2.000 kVA Nennleistung benötigt.

## Fall 2: Servopresse mit „Full Size“-Energiemanagement

Für ein vollständiges Energiemanagement wird das Antriebssystem der Beispielpresse um drei kinetische Energiespeicher mit einer Maximalleistung von jeweils 1.000 kW erweitert. Damit gelingt es, den Wechselanteil der Leistung im Antriebssystem der Servopresse zu halten. Die Einspeisung arbeitet darum mit einer fast konstanten Last, die Rückspeisung ins Netz erübrigt sich. Aus dem Netz bezogen wird nur noch der Gleichanteil, der sich aus der zu verrichtenden Umformarbeit je Hub und den anfallenden mechanischen und elektrischen Systemverlusten zusammensetzt – was die Bemessungsleistung für Einspeisung und Trafo auf ein Minimum reduziert.



Beim „Full Size“-Energiemanagement puffern Energiespeicher die sonst ins Netz zurückgespeiste Energie. Der Effektivwert der speisenden Leistung ist dadurch gleich ihrem Mittelwert, eine Rückspeisung ins Netz wird verhindert.

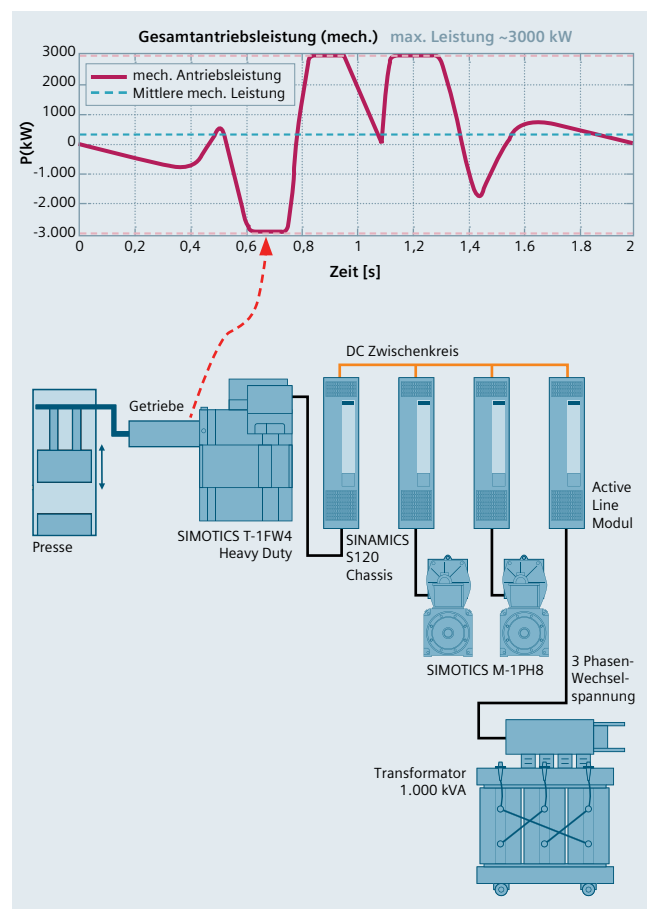
Bei dieser Art des Energiemanagements entspricht der elektrische Energiespeicher dem mechanischen Schwungrad einer herkömmlichen Presse; beide entlasten das Netz von einer impulsartigen Leistungsentnahme. Allerdings bewirkt die dazu nötige Erweiterung des Antriebssystems auch eine Erhöhung der elektrischen Verluste.

Dieser Nachteil wird durch eine erheblich kleinere Einspeisung (ALM/AIM) und den viel kleineren Transformator weitgehend ausgeglichen: Statt einer  $\pm 3.000$ -kW-Einspeisung genügt nun eine mit 516 kW – an einem deutlich günstigeren 630-kVA-Transformator!

### Fall 3: Servopresse mit „Semi“-Energiemanagement

Bei einer nur partiellen Rekuperation der kinetischen Energie reduziert man die Kapazität der Speichermotoren, z. B. setzt man statt drei derer nur zwei ein. Das reduziert den Preis der Maschine – zumindest auf den ersten Blick.

Denn die Leistung des eingesparten Energiespeichermotors ist nun von der Einspeisung (ALM/AIM) abzudecken, sie muss entsprechend größer dimensioniert werden. Das nur partielle Puffern der kinetischen Energie kann den Leistungsbezug aus dem Netz nicht mehr vollständig glätten.



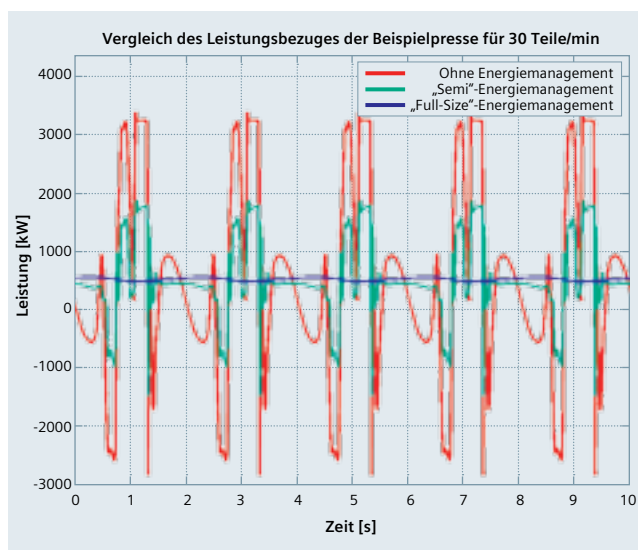


Die Spitzenlast ist darum weit größer als beim „Full Size“-Energiemanagement, und sie schwankt zwischen positiver und negativer Last, zwischen Ein- und Rückspeisung. Entsprechend größer muss auch der Speisetransformator ausfallen und in diesem Fall mindestens für 1.000 kVA bemessen werden.

Im Vergleich zu einer Servopresse ohne jedes Energiemanagement mindert ein partielles Puffern der kinetischen Energie die auf das Netz rückwirkenden Lastspitzen. Grundsätzlich bleiben aber die unerwünschten Eigenschaften einer Maschine ohne Energiemanagement erhalten: Einspeisung, Transformator und Zuleitungen müssen zusätzlich zur produktiv genutzten Energiezufuhr auch die Wechsellast der zyklischen Prozesse bewältigen und dementsprechend überdimensioniert werden. Es ist eine Einzelfallbetrachtung nötig, welche Variante letztlich die kostengünstigere und vorteilhaftere ist.

## Vergleich: Leistungsbezug

Für die drei betrachteten Varianten des Energiemanagements zeigt die Grafik die vom Pressentransformator abzudeckende Leistung bei 30 Teilen pro Minute und einer Umformenergie von 550 kJ pro Teil:



Nur beim „Full Size“-Energiemanagement werden eine fast konstante Einspeiseleistung und ein ausschließlich positiver Leistungsbedarf erreicht. Beide anderen Varianten zeigen stark schwankenden Leistungsbezug und die unvorteilhafte generatorische Rückspeisung elektrischer Energie ins Netz.

Weitere Eckdaten im Vergleich:

Energie-management	Trafo-nenn-leistung	Asynchron-motoren	$\bar{P}$ [kW]	$\bar{P}$ [kW]	$\hat{P}$ [kW]	$\Delta P$ [kW]
Ohne	2.000 kVA	–	481	1.687	3.211	6.000
„Semi“	1.000 kVA	2	501	812	1.853	3.316
„Full Size“	630 kVA	3	516	516	551	75

Werte beziehen sich auf den Eingang der Einspeisung

## Energiekosten vs. Energieverbrauch

Mehr als der vom Energieversorger gemessene Verbrauch wirken die dafür aufzubringenden Energiekosten auf die Wirtschaftlichkeit des Umformprozesses. Für eine Abschätzung der günstigsten Energiemanagementvariante werden hier der durch Maschinenbewegungen und Umformarbeit bedingte Energieverbrauch sowie die Kosten hierfür verglichen. Maßgeblich ist dabei der am Trafoausgang bezogene Verbrauch. Eckdaten der Kalkulation:

Betriebsstunden	ca. 7.000 h/a
monatlicher Leistungspreis (Bereitstellung):	10 €/kW
Wirkarbeitspreis für	
Industriekunden (Verbrauch):	12 ct/kWh

Keine Vergütung für rückgespeiste Energie.  
Der Energieverbrauch für eventuelles Ziehkissen ist nicht berücksichtigt.

	Energiekosten pro Jahr für 12,6 Mio. Teile	Energiekosten pro Teil	Energieverbrauch pro Teil	
	[€/a]	[ct/Teil]	[kWh/Teil]	[kJ/Teil]
„Full Size“-Infeed	859.060,–	6.8	0,277	996
„Semi“-Emgt	561.330,–	4.5	0,283	1020
„Full Size“-Emgt	501.900,–	4.0	0,290	1046

Der Vergleich zeigt: Unter den vorgegebenen Randbedingungen verursacht die Servopresse mit dem „Full Size“-Energiemanagement die geringsten Energiekosten – obwohl der pro Teil bezogene Energieverbrauch etwas höher liegt als ohne bzw. mit „Semi“-Energiemanagement.

Bei der Betrachtung der Investitionskosten muss der Preis des Transformators berücksichtigt werden. Er ist beim „Full Size“-Energiemanagement mit Abstand am kleinsten, bereits diese Einsparung kann einen Großteil der Mehrkosten für das Energiemanagement kompensieren, so wird der „Break even point“ dieser Investition häufig sehr schnell erreicht.

## Vergleich mit mechanischer Schwungradpresse

Ein Vergleich zu einer von den Anforderungen her vergleichbaren mechanischen Presse im Dauerlauf zeigt: Hier reicht eine Anschlussleistung von 216 kW aus (inklusive aller mechanischen und elektrischen Verluste), aber es wird nur eine Produktivität von 16 Teilen/min erreicht.

Aufgrund des bei mechanischen Pressen systemimmanenten Energiespeichers „Schwungmasse“ ist der Mittelwert des Leistungsbezugs gleich dem Effektivwert, Rückspeisung fällt nicht an. Für die vorgegebene Stückzahl von 12,6 Mio. Teilen werden aber nicht eine, sondern zwei Schwungradpressen benötigt:

	Energiekosten pro Jahr für 12,6 Mio. Teile	Energiekosten pro Teil	Energieverbrauch pro Teil	
	[€/a]	[ct/Teil]	[kWh/Teil]	[kJ/Teil]
Mit 2 mech. Pressen	378.000,–	3,0	0,219	788

Um die Produktivität einer Servopresse zu erreichen bräuchte man also zwei Maschinen, die doppelte Fläche, doppeltes Personal und für jedes Produkt auch zwei Werkzeuge. Das relativiert die niedrigeren Energiekosten einer mechanischen Presse.

## Zusammenfassung

Die Antriebsleistung einer Servopresse wird durch die Endkundenanforderungen zum Umformprozess bestimmt. Eine intelligente Bewegungsführung nutzt diese Antriebsleistung mit maximaler Produktivität, wenn alle systemischen Randbedingungen auch unter dynamischen Gesichtspunkten voll ausgenutzt werden. Das hat zur Folge, dass der Leistungsbedarf einer effizient ausgenutzten Servopresse hoch ist. Da Servopressen ohne Energiemanagement keinen Puffer für die kinetische Energie im System aufweisen, wird ihr Leistungsbezug aus dem Netz von einem großen Unterschied zwischen Mittelwert und Effektivwert der Leistung geprägt. Die Installation eines „Full-Size“-Energiemanagements kann den Leistungsbezug effektiv glätten. Ein unmittelbarer Vergleich der Hardwarekosten verschiedener Energiemanagement-Varianten muss die Kosten des Speisetransformators berücksichtigen, sie fallen je nach Größe des im Antriebssystem integrierten kinetischen Puffers sehr unterschiedlich aus.

Mit einem an die Anwendungssituation angepassten Energiemanagement wird der Abstand der bei Servopressen höheren Energiekosten gegenüber einer mechanischen Presse minimiert. So können die technologischen Vorteile von Servopressen – ihre weit größere Flexibilität und Qualität der Produktion sowie die weit höhere Produktivität der genutzten Fläche – zu den wirtschaftlichsten Bedingungen genutzt werden.