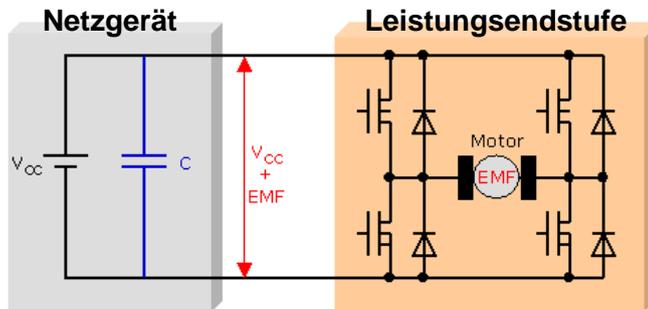


## Energierückspeisung von Motoren

Ein Motor muss nicht immer nur Energie verbrauchen, sondern kann auch Energie erzeugen falls eine Last abgebremst werden muss. Während dem Abbremsvorgang tritt eine Rückspeisung von Energie von dem Motor (der sich während dem Bremsvorgang im generatorischen Betriebszustand befindet) in die Leistungsendstufe der Motorsteuerung auf. Die Motorsteuerung leitet diese Energie hauptsächlich an die Stromversorgung (z.B. Netzteil, Batterie oder Akku) weiter. Kurze Energierückspeisungen können typischerweise von den internen Pufferkondensatoren der Motorsteuerung und der Stromversorgung aufgenommen werden. Bei einer länger dauernden oder starken Energierückspeisung (z.B. Kran oder Liftantrieben in Abwärtsbewegung der Last oder hohen Trägheitsmomenten wie bei Zentrifugen) reicht die Pufferung meist nicht aus und es tritt eine Erhöhung der Versorgungsspannung auf. Dies kann zu einer wiederholten kurzzeitigen Abschaltung des Netzteils (im Bereich von einigen 100 Millisekunden) als Schutzfunktion oder zu einer „Überspannung / Overvoltage“ Meldung der Motorsteuerung führen, welche die Leistungsendstufe abschaltet und eine geregelter Abbremsvorgang nicht mehr möglich ist.



Die maximal auftretende Spannung hängt dabei in grossem Mass von der Versorgungsspannung  $V_{cc}$  und der Drehzahl  $n(0)$  zu Beginn der Bremsphase ab. Weitere Einflussfaktoren ist das Trägheitsmoment  $J_{tot}$  von Motor und Last sowie die Bremsrampe  $a_{brake}$  (= Negative Beschleunigung).

- **$n(0)$ : Drehzahl bei Beginn des Bremsvorgangs**  
Die Drehzahl zu Beginn des Abbremsvorgangs bestimmt wieviel Energie aufgenommen werden muss. Insbesondere treten sehr schnell Begrenzungen bei hohen Drehzahlen auf, deren Spannung (= Drehzahl x Drehzahlkonstante) bereits dicht an der Spannung der Stromversorgung oder der maximalen Versorgungsspannung des Motorcontroller liegt.
- **$V_{cc}$ : Versorgungsspannung**  
Falls die vorhandene Versorgungsspannung bereits im Bereich der maximalen Versorgungsspannung des Motorcontrollers liegt, kann die Fehlermeldung „Überspannung“ bei Energierückspeisung und einer hierdurch bedingten Spannungserhöhung bereits sehr schnell auftreten.
- **$J_{tot}$ : Trägheitsmoment**  
Einerseits ist das Trägheitsmoment ein bestimmendes Element der Bewegungsenergie, die abgebremst werden muss: Umso grösser die Bewegungsenergie, umso höher steigt die Versorgungsspannung durch die Energierückspeisung an. Andererseits bedeutet ein hohes Trägheitsmoment (wie z.B. bei Zentrifugen) häufig, dass der Antrieb nicht zu schnell abgebremst werden kann. Die Energie wird dann eventuell langsam zurückgespielen und kann in den Motorwicklungen oder der Steuerung selbst verbraucht werden.
- **$a_{brake}$ : Bremsrampe**  
Die Steilheit der Bremsrampe hängt massgeblich von dem maximalen Motorstrom und dem Trägheitsmoment ab. Die Bremsrampe kann bei Motorcontrollern wie der maxon ESCON oder EPOS durch eine tiefere Konfiguration des maximalen Motorstroms oder der Beschleunigung abgeflacht werden. Die Rückspeiseenergie wird hierdurch über eine längere Zeitspanne „verteilt“ und kann besser von der Steuerung als Verbraucher, als Verlustleitung im Motor oder im Netzteil aufgenommen werden.

Energierückspeisung ist ein häufiges Thema bei hoch dynamische Anwendungen, bei denen hohe Drehzahlen und hohe Versorgungsspannungen in Kombination mit schnellen Sollwertwechseln notwendig sind.

Besonders bei Vertikaltrieben (z.B. Kran, Aufzug) ohne ausreichende Reibung oder Selbsthemmung oder bei hohen Trägheitsmomenten (z.B. Zentrifugen) tritt eine grosse Menge an Energierückspeisung auf während einer Abwärtsbewegung oder Abbremsung bis zum Stillstand auf.

**Kritische Anwendungen und Systeme betreffend Energierückspeisung:**

- Kran- oder Aufzugsantriebe  
bei Abwärtsbewegung der Last.
- Zentrifugen  
aufgrund des grossen Trägheitsmoments
- Direktantriebe mit grossem Trägheitsmoment (= grossem rotativem Durchmesser) der Last,  
z.B. bei einer scheibenförmigen oder zylindrischen Last
- Mechanische Systeme mit wenig Reibung und / oder externen Kräften in eine Richtung,  
z.B. Vertikalachsen, federbehaftete Antriebe, hydraulische oder komprimierte Last, ...
- Systeme mit einem Kompakt- oder Steckernetzteil als Stromversorgung,  
z.B. Netzteile, die normalerweise für Heim- und Büroanwendungen eingesetzt werden.

**Typische Anzeichen einer zu grossen Energierückspeisung:**

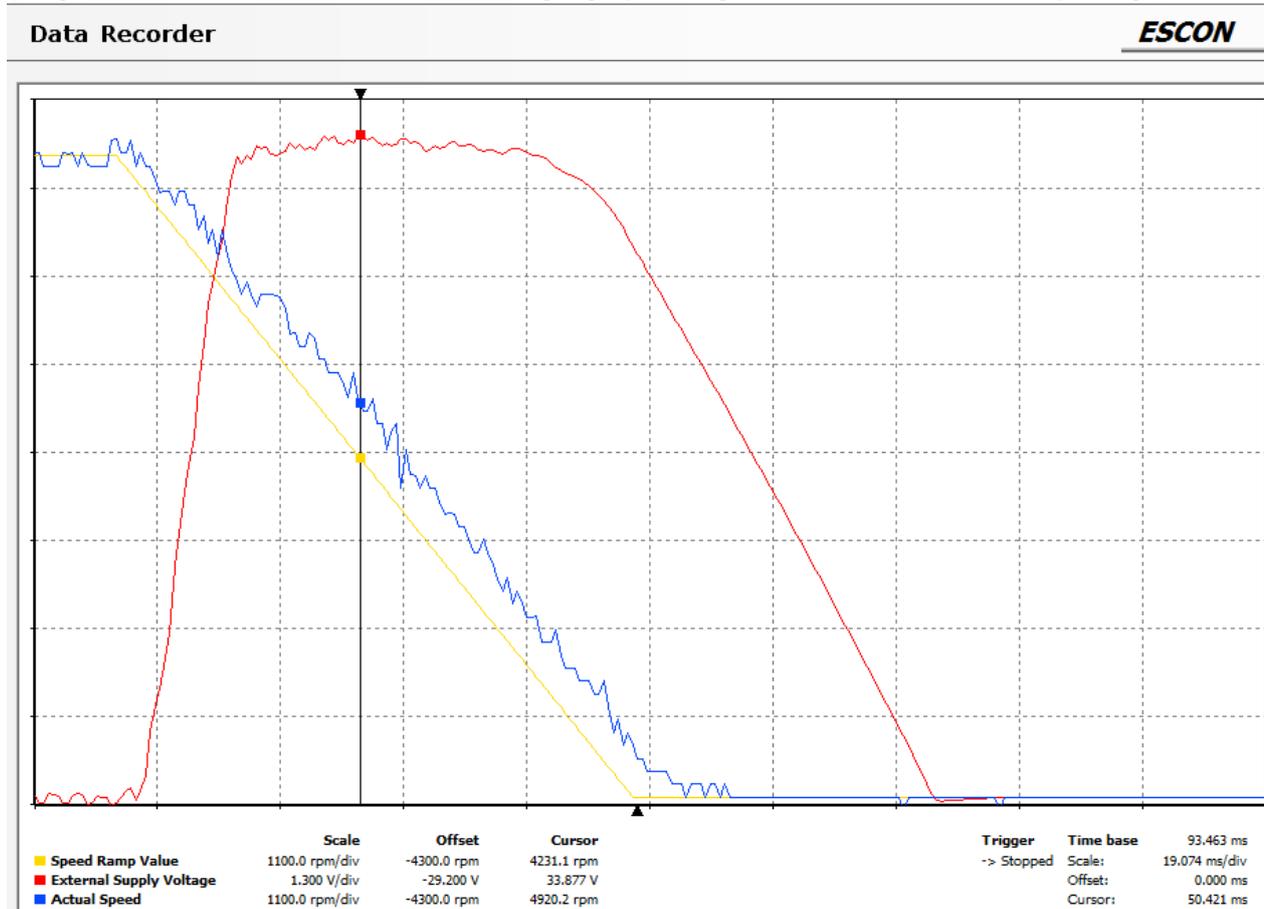
- Fehlerzustände beim Reglerparameter-Tuning.
- Kurze Abschaltungen des Netzteils (im Bereich von 100 Millisekunden),  
die nur mit einem Oszilloskop zu beobachten sind.
- "Überspannung / Overvoltage" Fehlermeldung der Motorsteuerung,  
insbesondere beim Abbremsen des Antriebs oder vertikalen Abwärtsbewegungen.
- Instabile Regelung oder Fehlermeldungen / Probleme  
während dem Bremsen eines Antriebs oder vertikalen Abwärtsbewegungen.

## Erkennen / Auswerten eines Spannungsanstiegs:

Mit dem "Daten-Recorder" Tool von ESCON Studio lässt sich der Einfluss der Energierückspeisung während einem Bremsvorgang (oder jeden anderen Bewegungsstand) des geregelten Antriebs aufzeichnen.

### Bildschirm-Kopie vom ESCON Studio "Daten-Recorder":

(Diagramm, welches die Reaktion der Versorgungsspannung bei einer steilen Bremsrampe zeigt.)



### Kurven-Daten:

- Gelb: Vorgabewert der Bremsrampe der Drehzahl (100000 rpm/s Beschleunigung)
- Blau: Gemessene Drehzahl (mit etwas Rauschen aufgrund der diskreten Pulsauswertung)
- Rot: Versorgungsspannung (Grundlinie = 24V DC, Maximalwert: 33.8 V)

### Erkenntnis:

Die Versorgungsspannung von 24V DC steigt während der Bremsphase aufgrund der Energierückspeisung bis auf 34V DC an.

## Verschiedene Massnahmen im Falle von Energierückspeisung

Es gibt verschiedene Massnahmen, die einzeln oder kombiniert die Problematik einer hohen Energierückspeisung lösen können, indem die Energie gepuffert oder von anderen Baugruppen verbraucht wird.

Eine Herausforderung ist meistens, dass es schwierig bis unmöglich ist die Energiemenge und das Systemverhalten abzuschätzen, da eine grosse Anzahl an Einflussfaktoren innerhalb der kompletten Energiekette (bestehend aus Netzteil, Leistungsendstufe, Motor, Last) und der auftretenden Energie (abhängig von Drehzahl und Trägheitsmoment oder äusseren Kräften) vorhanden sind. Letztendlich bleiben so nur Tests um zu überprüfen ob eine einzelne Massnahme oder eine Kombination von Massnahmen im konkreten Anwendungsfall und bei dem konkreten Bewegungsprofil das Ansteigen der Versorgungsspannung über einen kritischen Grenzwert bis zu einer Fehlermeldung verhindern kann.

### 1.) **Wahl des Netzteils**

Der Auswahl des Netzteils wird bei Antriebssystemen häufig nur wenig Beachtung geschenkt obwohl das Netzteil das erste Glied in der Versorgungskette ist und sowohl Leistung zur Verfügung stellen, aber bei dynamischen Anwendungen auch puffern muss.

Netzgeräte für den Haushalts- und Bürobereich (z.B. für Notebooks) erscheinen zwar als attraktive Wahl aufgrund der kompakten Baugrösse, einem hohen Ausgangsstroms und tiefem Preis. Trotzdem sind solche Kompakt-, Stecker- oder Notebook-Netzteile als Stromversorgung für Antriebslösungen nicht(!) geeignet und häufig die Ursache für Fehlermeldungen wie „Überspannung“, „Unterspannung“ oder Probleme beim Tuning oder bei schlechten Reglereigenschaften im Betrieb.

Viele kompakte Netzteile sind für die Versorgung von Verbrauchern (wie Notebooks) entwickelt, die keine Energie zurückspeisen. Diese Netzteile besitzen nur kleine interne Pufferkondensatoren und können bei Rückspeisung keine Energie aufnehmen. Die Versorgungsspannung steigt hierdurch selbst bei wenig Energierückspeisung sehr schnell an. Das Netzteil schaltet in der Folge kurzzeitig ab oder es treten Fehlermeldungen der Motorsteuerung oder ein instabiles Reglerverhalten auf.

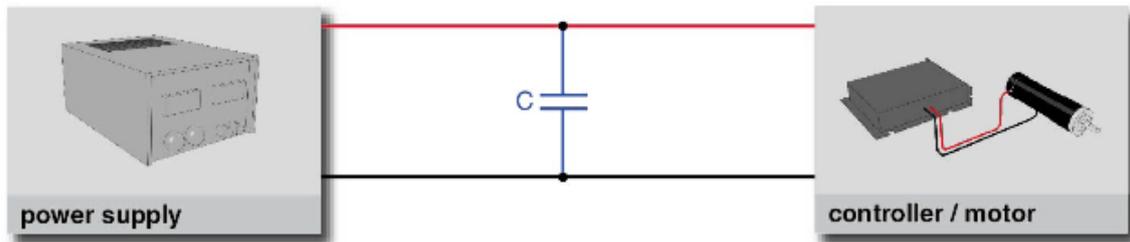
Es wird prinzipiell der Einsatz von Netzteilen empfohlen, die für den Industriebereich entwickelt wurden. Von einigen Herstellern stehen teilweise sogar spezifische Netzteile für Antriebsanwendungen zur Verfügung, die eine Überlast und Rückspeisung temporär zulassen. Diese Netzteile besitzen grössere interne Pufferkondensatoren um bei Beschleunigungsphasen einen höheren Strom bereit zu stellen und beim Abbremsen die auftretende Rückspeiseenergie aufzunehmen.

### **Zusammenfassung:**

Die richtige Wahl eines Industrienetzteils mit ausreichend grossen Pufferkondensatoren kann bereits oft Probleme und Fehlermeldungen beheben, die durch eine Energierückspeisung verursacht werden.

**2.) Zusätzliche Kondensatoren**

Ein extremer Kondensator, der zwischen den Versorgungsklemmen des Motorcontrollers angebracht wird kann dabei helfen die Rückspeiseenergie aufzunehmen und einem schnellen Spannungsanstieg entgegen wirken. Typischerweise werden hierfür 47'000  $\mu\text{F}$  Kondensatoren verwendet. Es muss jedoch unbedingt darauf geachtet werden, dass die spezifizizierte Kondensator-Spannung der maximalen Versorgungsspannung plus einer Reserve (von wenigstens 20-50%) entspricht, z.B. Einsatz eines mindestens 47'000  $\mu\text{F}$  / 70V Kondensator bei 48V Versorgungsspannung.

**3.) Mix aus Verbraucher und Energierückspeisung**

Idealerweise sollten aus dem identischen Netzteil mehrere Geräte versorgt werden, z.B. Antriebe, die abbremsten während andere Geräte (oder Antriebe) die zurückgespeiste Energie verbrauchen können.

Es ist nicht erforderlich verschiedene Netzteile zu verwenden, die jeweils exklusiv einem einzelnen Antriebe zugeordnet sind. Dies ist sogar eher von Nachteil. Ein Mix aus Antrieben in verschiedenen Bewegungszuständen (d.h. nicht alle Antriebe an einem Netzteil bremsen zur selben Zeit ab) angeschlossen an einem gemeinsamen leistungsstarken Netzteil führt zu einem guten Energieausgleich zwischen "Verbrauchern" und "Generatoren" (welche Energie zurückspeisen). Letztendlich führt dies zu einer guten Energieeffizienz und erspart eventuell Kosten für zusätzliche Massnahmen bei Energierückspeisung.

**4.) Konfiguration der Bremsrampe****a) Beschleunigungsrampe**

Falls die Steilheit von Bremsrampen ohne Nachteile bei der Anwendung deutlich reduziert werden kann, so kann dies den Spannungsanstieg und eine "Überspannung" eventuell bereits ohne weitere Massnahmen vermeiden.

**b) Mehrere bremsende Antriebe**

Die grösste Energie tritt immer beim Start eines Bremsvorgangs auf, weil zu diesem Zeitpunkt die Drehzahl noch maximal ist. Die Energie ist proportional zum Trägheitsmoment oder Masse und der Drehzahl<sup>2</sup>.

Falls bei einer Anwendung mehrere Antriebe exakt gleichzeitig mit dem Bremsvorgang starten, so kann kurzfristig eine sehr grosse erste Spitze an kumulierter Energierückspeisung auftreten. Falls der Start des Bremsvorgangs zwischen den einzelnen Antrieben zeitlich leicht gestaffelt werden kann, so wird die Gesamtenergie aller Antriebe gleichmässiger über eine längere Zeitspanne verteilt und die kumulierte hohe Energiespitze zu Beginn reduziert.

5.) **Versorgungsspannung**

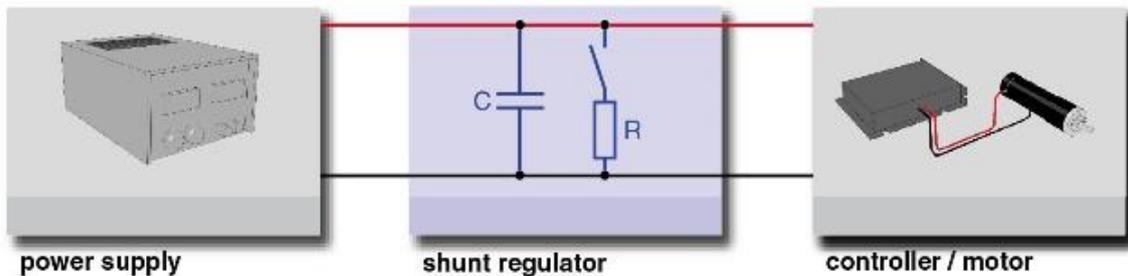
Die vorhandene Netzteilspannung und die spezifizierte maximale Versorgungsspannung der Motorsteuerung ergeben die Marge bis zum Auftreten der „Überspannung / Overvoltage“ Meldung der Steuerung. Bei "Überspannung / Overvoltage" Meldungen aufgrund der Energie-Rückspeisung sollte ein Differenz von mindestens 10 Volt zwischen der Versorgungsspannung und der spezifizierten Maximalspannung des Motorcontrollers angestrebt werden.

Angenommen, dass eine 50V Motorsteuerung und eine 48V Versorgung verwendet wird, gilt es zu überprüfen, ob bereits eine niedrigere Versorgungsspannung für die maximal benötigte Drehzahl ausreichen würde. Eine Reduktion der Versorgungsspannung (unter Berücksichtigung der Drehzahlanforderungen) vergrössert den Bereich bis zum Auftreten der „Überspannung“ Meldung. Als Daumenregel zur Abschätzung der benötigten Versorgungsspannung für eine geforderte Drehzahl:  $\text{Versorgungsspannung} = (\text{Geforderte Maximal-Drehzahl} / \text{Drehzahlkonstante des Motors}) \times 1.2$

Eine andere Möglichkeit besteht darin eine Motorsteuerung mit einer höher spezifizierten Maximalspannung (z.B. 70V) zu verwenden und so den Bereich bis zum Auftreten der „Überspannung“ Meldung zu vergrössern.

6.) **Bremschopper**

Falls keine der genannten Massnahmen auftretende Probleme mit der Energierückspeisung lösen kann oder eine Energierückspeisung über eine längere Zeitspanne auftritt, muss ein sogenannter Bremschopper (z.B. "maxon DSR 50/5", #309687 oder "maxon DSR 70/30", #235811) als Verbraucher für die Rückspeiseenergie installiert werden.



Je nach Höhe der Energierückspeisung kann ein Bremschopper gemeinsam für mehrere Antriebe ausreichend sein. Der Bremschopper muss in der Versorgungsleitung zwischen dem Netzteil und den Motorsteuerungen installiert werden.

<b>maxon motor control</b>		
maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>Energierückspeisung  von Motoren</b>	Version: 3.11 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2020-01-28

**maxon's Bremschopper DSR 70/30 (#235811):**  
[www.maxonmotor.de/maxon/view/product/accessory/chopper/235811](http://www.maxonmotor.de/maxon/view/product/accessory/chopper/235811)

<b>maxon motor</b>	
<b>maxon motor control</b>	<b>Shunt Regulator DSR 70/30</b>
	<b>Order Number 235811</b>
<b>Operating Instructions</b>	<b>August 2005 Edition</b>

The Shunt Regulator DSR 70/30 is designed to limit the supply voltage of the amplifier. The adjustable threshold voltage allows a great voltage range to be covered.

The Shunt Regulator is an article from the supplementary product line of maxon motor control.

Putting it into operation is very easy; additional equipment is not required.

In normal operation the value of the supply voltage is appointed by the power supply.

4-quadrant amplifiers are able to feed back brake energy into the supply and therefore work like a generator. Thus a long braking process can cause the supply voltage to rise due to the fed back energy.

The task of the Shunt Regulator is to limit the voltage increase up to a permissible value and to transform the excess energy into heat.

