

TOPMOTORS WEBINAR



TOPMOTORS



ENERGIE
ZUKUNFT
SCHWEIZ

Topmotors Webinar Nr. 02

Einsatz von Frequenzumrichtern zur Effizienzsteigerung

8. November 2017, 10:00 - 11:00

Moderation: Carole Tornay, Energie Zukunft Schweiz

Referent: Prof. Dr. Adrian Omlin, Hochschule Luzern

Vorstellung Referent

Prof. Dr. Adrian Omlin

- Dozent für Leistungselektronik und elektrische Antriebe an der Hochschule Luzern
- Lehrbeauftragter an der ETH Zürich
- Entwicklungsingenieur / Leitung Systems Engineering ABB
- Studium Elektrotechnik, ETH Zürich



Einsatz von Frequenzumrichtern zur Effizienzsteigerung

Prof. Dr. Adrian Omlin

Hochschule Luzern

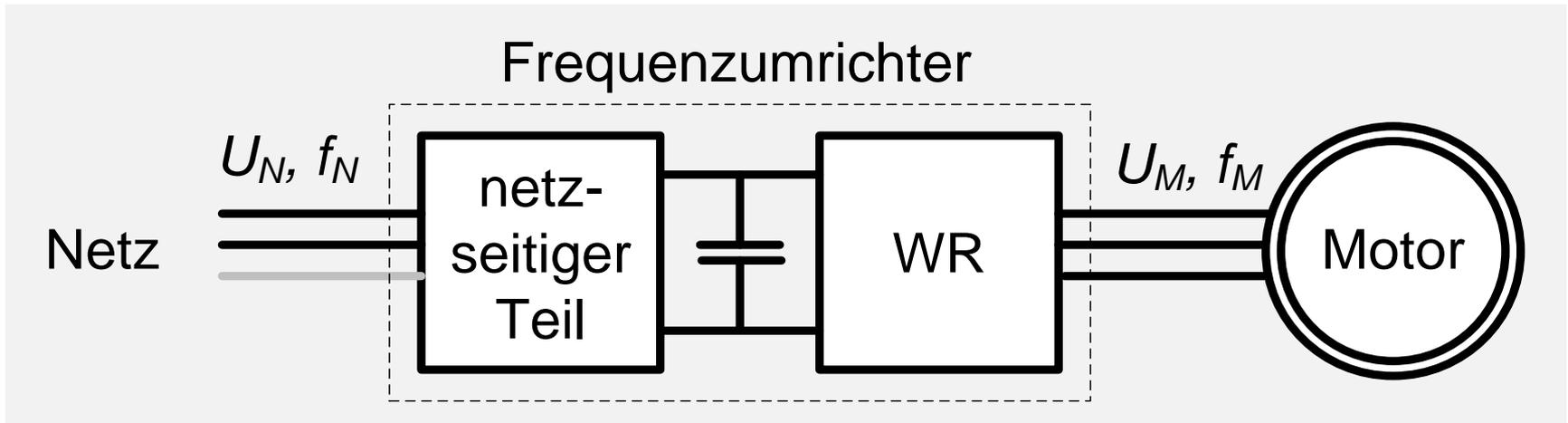
Tel. 041 349 33 63

E-Mail: adrian.omlin@hslu.ch

Inhalt

- Der Frequenzumrichter (FU)
- Nutzen eines FU (Anwendungsbeispiel)
- Vorteile, Nachteile
- Bauarten
- Alternativen zum FU
- Berechnungsbeispiel
- Fazit

FU mit Spannungszwischenkreis



Wechselspannung

Gleichspannung

Wechselspannung

Netz:

$f_N = \text{konstant}$

$U_N = \text{konstant}$

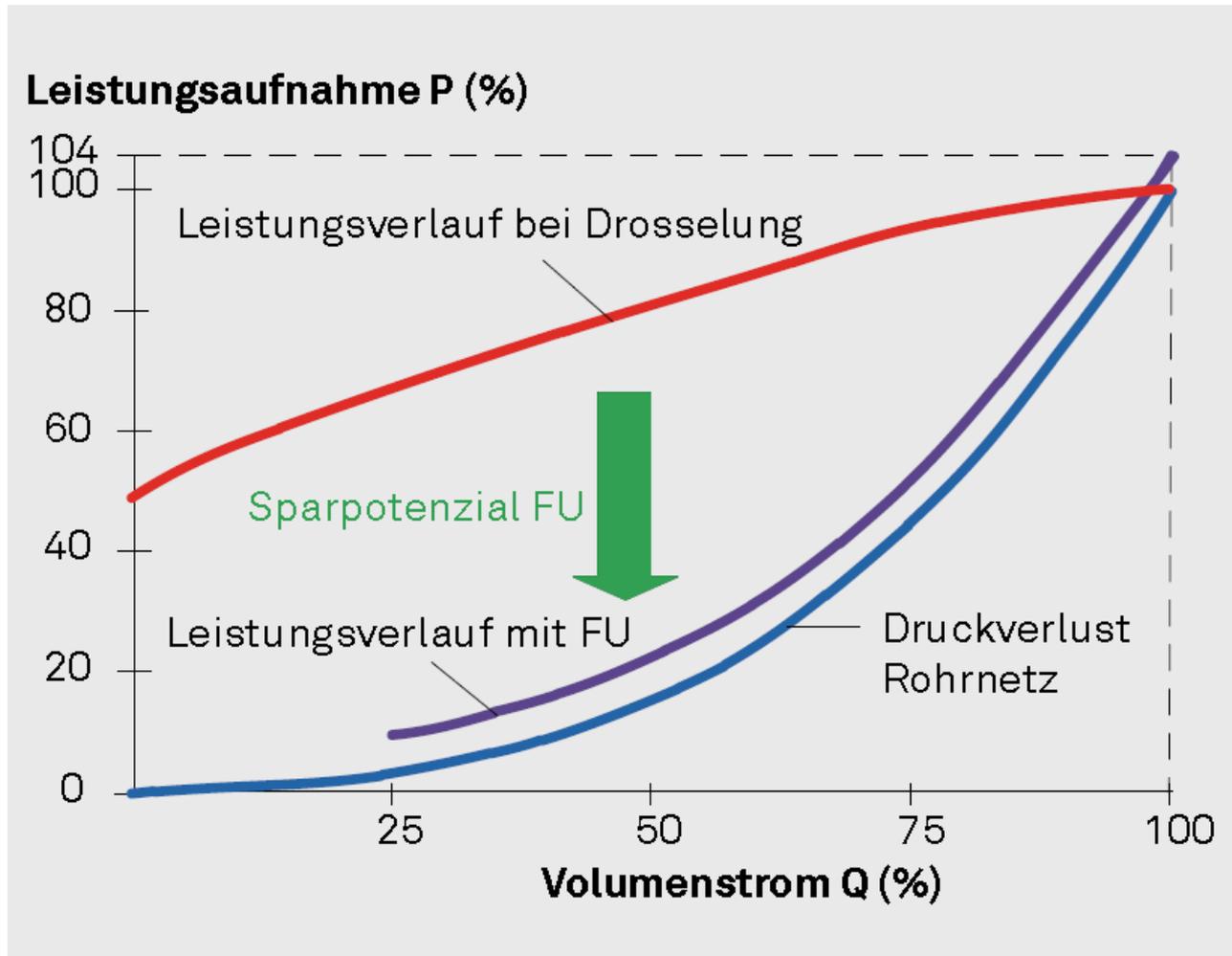
Maschinenseite:

$f_M = \text{einstellbar}$

$n = \text{einstellbar}$

$U_M = \text{einstellbar}$

Nutzen eines FU



Volumenstrom:

$$Q \sim n$$

Drehmoment:

$$M \sim n^2$$

Leistung:

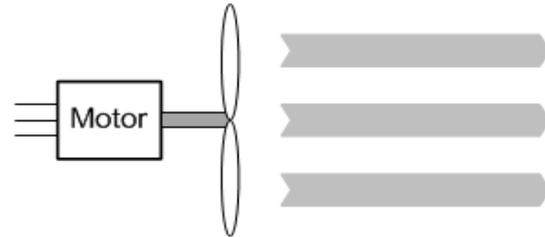
$$P \sim n^3$$

Pumpe mit geschlossenem Kreislauf, Quelle: Topmotors, Merkblatt Pumpen, 2012

Nutzen eines FU

Nennbetrieb

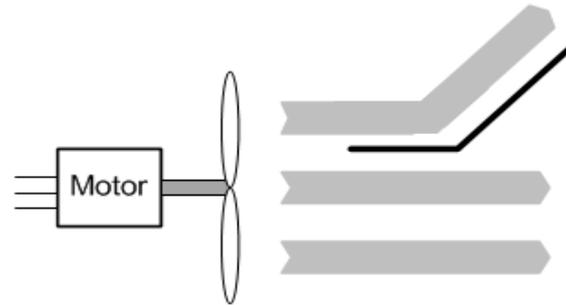
volle
elektrische Leistung



volle
Kühlung

Reduzierte Kühlung durch Umlenken der Kühlluft

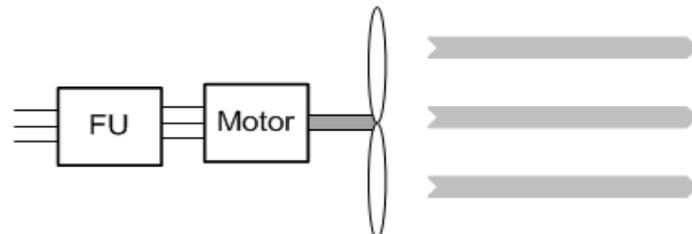
volle
elektrische Leistung



reduzierte
Kühlung

Reduzierte Kühlung durch reduzierte Drehzahl

reduzierte
elektrische Leistung



reduzierte
Kühlung

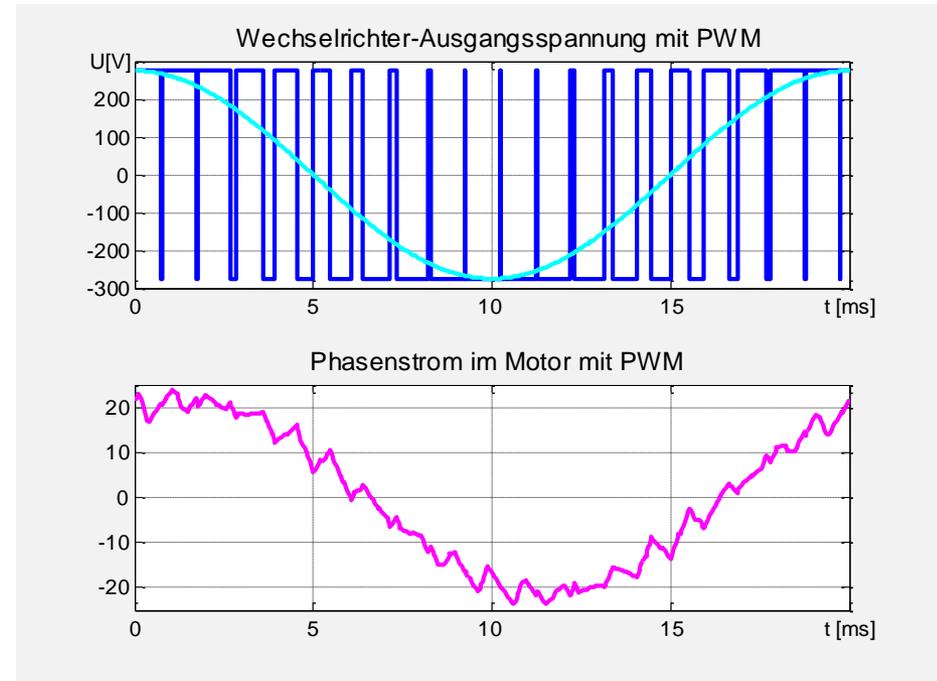
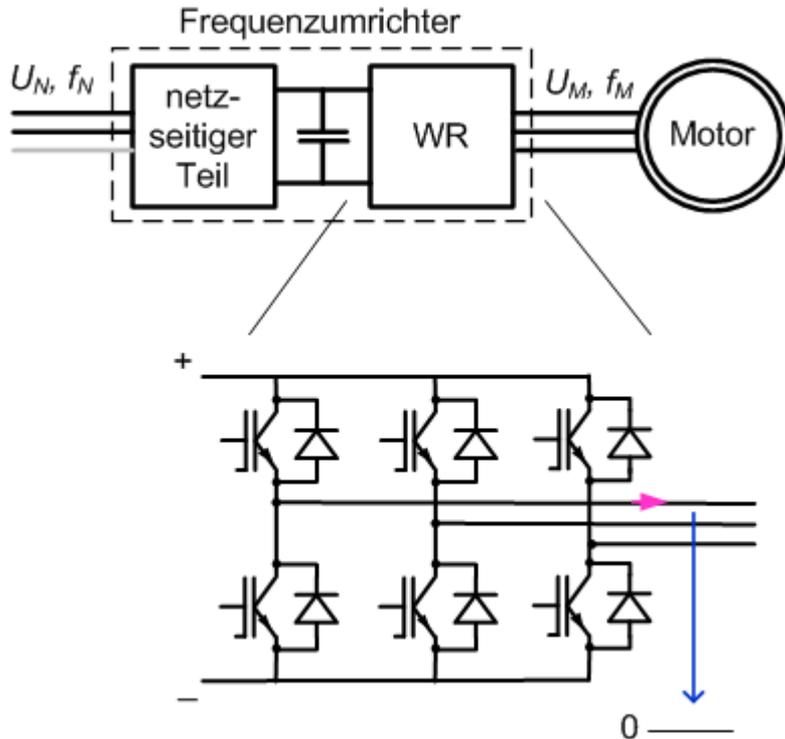
FU Vorteile

- Ein FU ist da sinnvoll, wo durch einstellbare Drehzahl der Leistungsbezug verringert und die Bedürfnisse des Prozesses dennoch abgedeckt werden.
- Einstellen der Drehzahl nach einem eindeutigen Bedarfskriterium
- Einstellbare Drehzahl oft notwendig / vorteilhaft

FU Nachteile

- Kosten
- Verluste
- Harmonische
 - > Netzurückwirkungen
 - > Zusatzverluste im Motor

Funktionsprinzipi WR (Wechselrichter)



Die Halbleiter arbeiten als Schalter. Die Ausgangsspannung und damit der Motorstrom sind nicht sinusförmig.

FU Taktfrequenz, Harmonische

Harmonische im Strom: Zusatzverluste im Motor

Eine höhere Taktfrequenz bewirkt:

- kleinere Harmonische im Strom
- und damit geringere Verluste im Motor
- dafür grössere Schaltverluste im WR

Weiterverwendung von Motoren, die nicht für Umrichterbetrieb gebaut wurden:

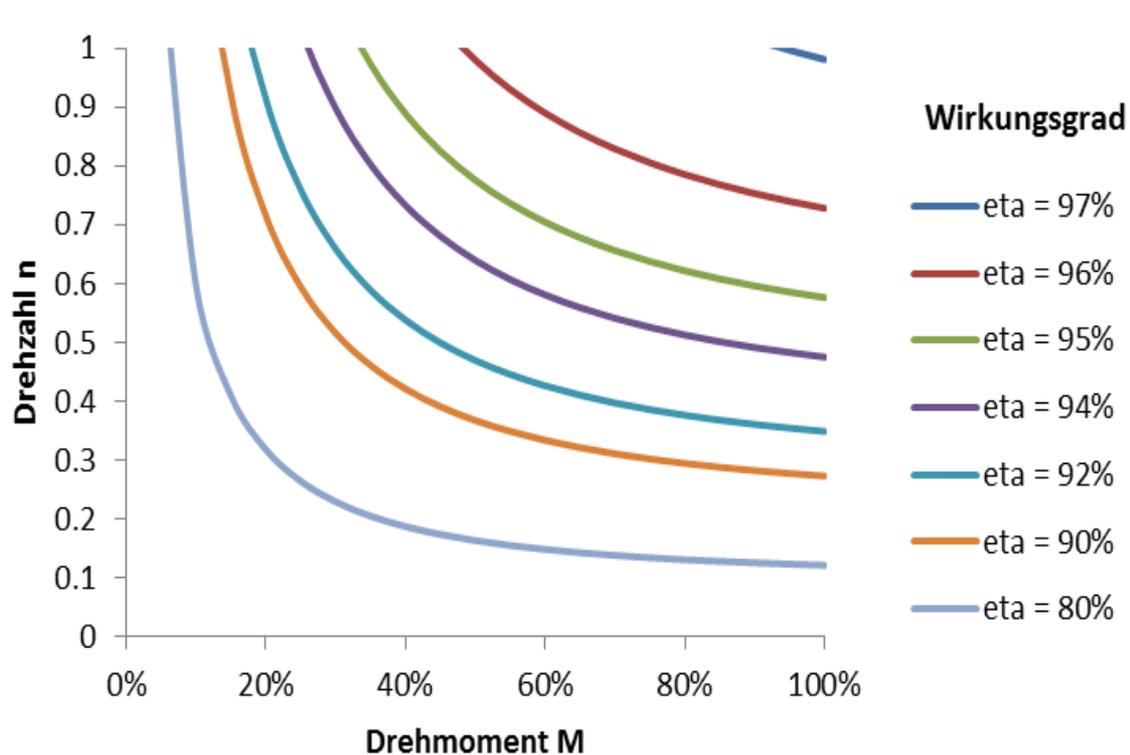
- Gefahr von Isolationsdefekten
- Einsatz von Sinusfiltern: auch diese machen Verluste
- Einsatz von einem neuen, energieeffizienten Motor macht sich oft bezahlt

Kurzfrage

Wie gross sind die Verluste bei einem 11 kW-Frequenzumrichter im Nennarbeitspunkt etwa?

110 W?	275W?	550 W?	1.1 kW?
(1 %)	(2.5 %)	(5 %)	(10%)

Wirkungsgrad FU



Der Wirkungsgrad eines FU ist sehr gut, nimmt aber bei sehr geringer Auslastung stark ab.

-> Richtiges Dimensionieren

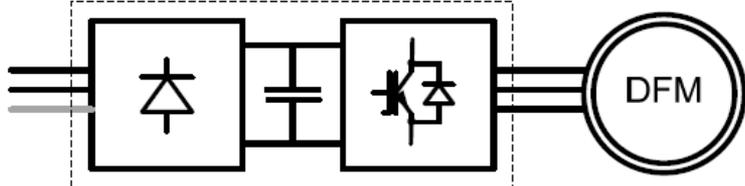
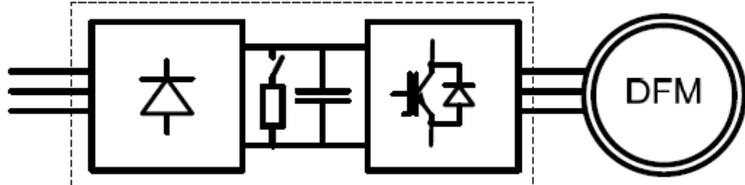
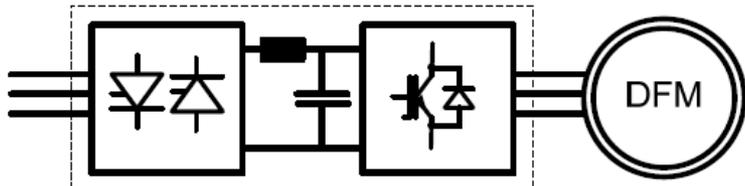
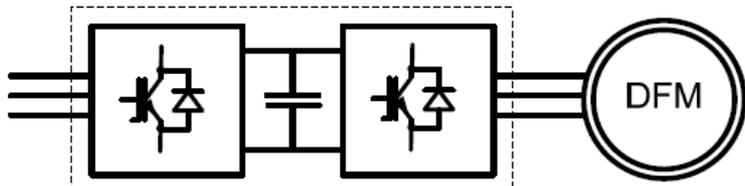
Rückspeisefähigkeit

Sinnvoll, wenn häufig grosse kinetische Energien gebremst werden. Z.B. bei:

- Aufzügen (Senken der Last)
- Zentrifugen, die schnell abgebremst werden
- Prüfständen
- Fahrzeugen
- Seilbahnen

Wird die Bremsenergie ins Netz zurückgespeist, muss keine Wärme abgeführt werden.

Bauarten

FU mit	Elektrisches Bremsen	$\cos\phi$	Harmonische im Netzstrom
<p>Diodengleichrichter</p> 	Nein	Sehr gut	Alle Ungeraden Dreiphasige fehlen die Vielfachen von drei
<p>Diodengleichrichter mit Brems-Chopper</p> 	Ja, Bremsenergie wird im Bremswiderstand des Brems-Choppers verheizt	Sehr gut	Wie oben
<p>Umkehrgleichrichter</p> 	Ja, mit Rückspeisen der Bremsenergie ins Netz	Gut	Ähnlich wie oben. Bedingt durch die Glättungsinduktivität im ZK etwas kleiner
<p>Aktiver Netzseite mit Wechselrichter</p> 	Ja, mit Rückspeisen der Bremsenergie ins Netz	Sehr gut, einstellbar, sogar Kompensation möglich	Je höher die Taktfrequenz, desto kleiner

Alternativen zum FU

Betrieb direkt am Netz

- eine feste Drehzahl
- brüskes Anlaufen
- sehr guter Wirkungsgrad im Nennarbeitspunkt

Sanftanlasser

- Anlauf effizient und schonend
- im Betrieb eine feste Drehzahl
- ev. mit Regler: Energieeinsparung bei kleinem Drehmoment möglich

Getriebe, Transmission

- eine feste, nicht der Netzfrequenz entsprechende Drehzahl

Entscheidungsweg

Ist ein FU sinnvoll?

- Alternativen? Regelkriterium?

Neuer oder bestehender **Motor**?

Welcher **FU** ist am besten geeignet?

- Elektrisches Bremsen, Rückspeisen, Regelung.....

Richtiges Dimensionieren

- Häufigster Betrieb bei gutem Wirkungsgrad
- Erfüllt die Bedingungen, hohe Lebensdauer

Umgebungsbedingungen. Wo steht der FU?

- Temperatur, Schutzklasse, Erschütterungen
- Unterhalt, Lebenserwartung

Berechnungsbeispiel

Eine 5.5 kW-Pumpe mit geschlossenem Kreislauf wird während einem Drittel der Zeit mit vollem Volumenstrom, d.h. mit voller Leistung, und während einem Drittel der Zeit mit 70 % des Volumenstromes betrieben. Die restliche Zeit ist die Anlage ausgeschaltet.

Verglichen werden sollen eine Drosselung und eine Drehzahlreduktion mit FU.

Wie lange dauert es, bis durch die Energieeinsparung der Anschaffungspreis des FU amortisiert ist?

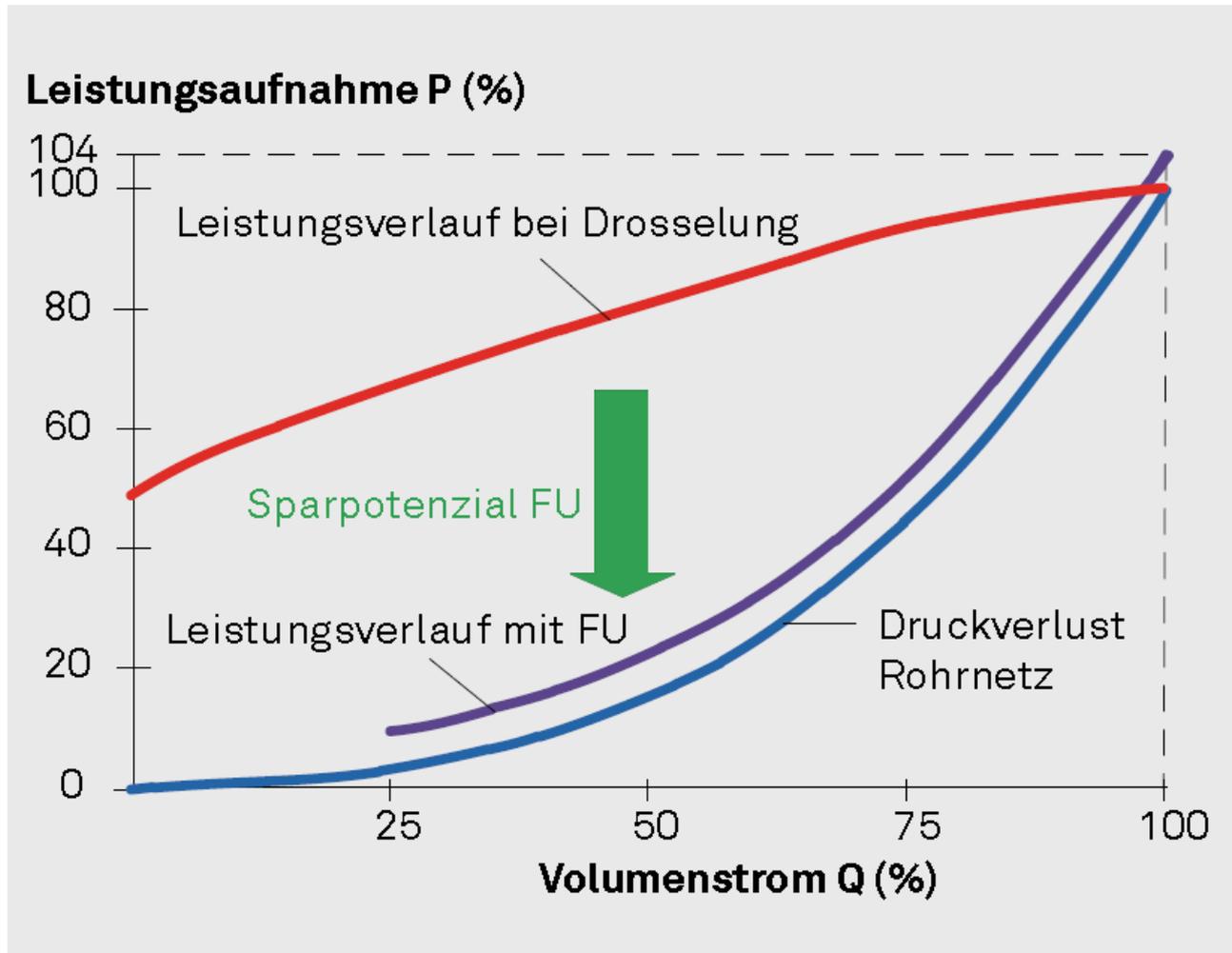
1 Jahr?

2 Jahre?

3 Jahre?

4 Jahre?

Vergleich Drosselung / FU



Volumenstrom:
 $Q \sim n$

Drehmoment:
 $M \sim n^2$

Leistung:
 $P \sim n^3$

Pumpe mit geschlossenem Kreislauf, Quelle: Topmotors, Merkblatt Pumpen, 2012

Betrieb mit Drosselung

Mit Drosselung geht bei 70 % Volumenstrom die Leistungsaufnahme auf etwa 90 % zurück.

Nennbetrieb (100 % Volumenstrom) ohne FU:

P_mech kW	η Motor	P_el Motor Input kW
5.50	0.86	6.40

Drosselung auf 70 % Volumenstrom:

P_mech kW	η Motor	P_el Motor Input kW
4.95	0.86	5.76

Betrieb mit FU

Reduktion des Volumenstromes Q mit FU:

$$Q \sim n$$

$$M \sim n^2$$

$$P \sim n^3$$

$$n = 0.7 n_{nenn}$$

$$M = 0.49 M_{nenn}$$

$$P = 0.34 P_{nenn}$$

Nennbetrieb (100 % Volumenstrom) mit FU:

P_mech kW	η Motor	P_el Mot Input kW	η FU	P_el FU Input kW
5.50	0.86	6.40	0.97	6.59

Drehzahlreduktion auf 70 % Volumenstrom:

P_mech kW	η Motor	P_el Mot Input kW	η FU	P_el FU Input kW
1.89	0.82	2.30	0.94	2.45

Vergleich

Betrieb mit Drosselung:

Nennbetrieb kW	Teillast 70% kW	aus kW	Mittelwert kW	Dauer h	Energie kWh
6.40	5.76	0	4.05	8760	35'507

Betrieb mit FU:

Nennbetrieb kW	Teillast 70% kW	aus kW	Mittelwert kW	Dauer h	Energie kWh
6.59	2.45	0	3.01	8760	26'406

Differenz: 9'100 kWh pro Jahr.

Bei 16 Rappen pro kWh: CHF 1'456.

Der Kaufpreis des FU ist in weniger als einem Jahr amortisiert.

Fazit

- Der Einsatz eines FU ist da sinnvoll, wo durch einstellbare Drehzahl der Leistungsbezug verringert und die Bedürfnisse des Prozesses dennoch abgedeckt werden.
- Der verringerte Leistungsbezug muss die (kleinen) Verluste des FU (mehr als) kompensieren.
- Bei «alten» Motoren: Gefahr von Isolationsdefekten (ev. Filter, aber auch die machen Verluste). Oft macht sich ein neuer, energieeffizienter Motor bezahlt.
- Richtiges Dimensionieren
- Mehr dazu im Topmotors Merkblatt 25: «Frequenzumrichter»

TOPMOTORS WEBINAR



TOPMOTORS



iE **IMPACT
ENERGY**

ENERGIE
ZUKUNFT
SCHWEIZ

Frage- und Diskussionsrunde:

Stellen Sie jetzt Ihre Fragen an Adrian Omlin

Die nächsten Topmotors Events

- **Tomotors Webinar Nr. 03**

Dienstag, 27. März 2018:

«Instandhaltung als Chance für Energieeffizienz»

Michael Kummer, Küffer Elektro-Technik AG

Infos: www.topmotors.ch/de/inhalt/webinare



- **Motor Summit 2017
-Switzerland-**

21. November 2017, Zürich

www.motorsummit.ch



Vielen Dank!

Haben Sie Fragen oder Anregungen?

Organisation und Moderation

Carole Tornay
Energie Zukunft Schweiz
c.tornay@ezs.ch

Programmleitung

Rolf Tieben
Impact Energy AG
rolf.tieben@impact-energy.ch