

# Effiziente Antriebstechniken in einer modernen Getreidemühle

Müllereitagung Salzburg, 06.09.24

Daniel Fischer, Projektleiter R&D; [daniel.fischer@buhlergroup.com](mailto:daniel.fischer@buhlergroup.com)  
Remo Friedrich, Projektleiter R&D; [remo.friedrich@buhlergroup.com](mailto:remo.friedrich@buhlergroup.com)

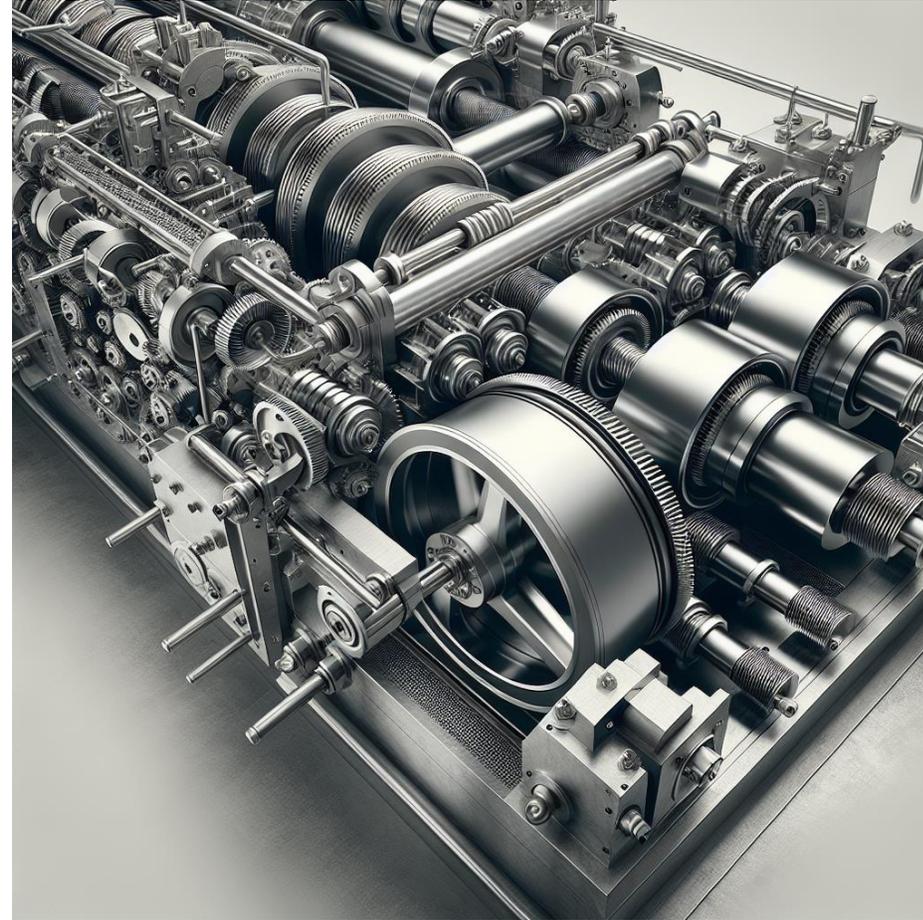


**BÜHLER**

# Was meint AI?



«eff. Antriebmechanismus eines Plansichters»



«eff. Antriebmechanismus eines Walzenstuhls»

# Anforderungen der Antriebe Walzenstuhl / Sichter

- Energieeffizienz
- Ex Zertifizierung
- lokale Verfügbarkeit
- kurze Lieferzeiten

n: 300-600 min-1  
P: 5.5-37 kW



n: 220-280 min-1  
P: 3-15 kW



# Von der elektrischen zur mechanischen Energie



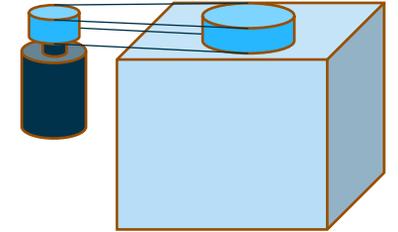
## Input

Elektrische Leistung  
bei einer definierten  
Frequenz



## Output

Mechanische Leistung  
bei einer definierten  
Drehzahl



## FU / Steuerung



- Ansteuerung Motor
- kann Frequenz ändern
- Signalumwandlung

## Motor



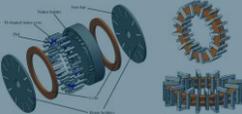
- erzeugt Leistung
- Drehzahl oft zu hoch

## Übertrieb



- Drehzahlübersetzung
- Distanz
- Dämpfung
- Toleranzausgleich

# Motorenübersicht

Motorentyp / typische Bereiche		Vor/Nachteile	Effizienz [%] 15kW / 37kW	Ex & Verfügbarkeit
<b>Asynchronmotor</b> 750 - 3'000 [min <sup>-1</sup> ] 50 - 200 [Nm]		+ Verfügbarkeit, Direktstart, Ex + Preis, sämtliche Zertifizierungen - Effizienz (min. IE3), Achtung cos φ	92 / 95	sehr gut
<b>Synchron – Reluktanzmotor</b> 1'000 - 3'000 [min <sup>-1</sup> ] 50 - 150 [Nm]		+ Effizienz, keine seltenen Erden + Preis - nicht alle Ex Zertifikate - Steuerung notwendig	95 / 97	mittel
<b>PM Synchronmotor - Torque radialer <math>\Phi_m</math> Fluss</b> 50 - 600 [min <sup>-1</sup> ] 0 – 200 [kW], 0 – 20'000 [Nm]		+ hohe Energiedichte bei tiefer Drehzahl + Effizienz, Direktantrieb, spezifizierbar - Ex Zertifizierung, Preis - Steuerung notwendig, seltene Erden	95 / 97	schlecht
<b>Switched – Reluktanzmotor</b> <10 [kW], 50-3'000 [min <sup>-1</sup> ], <1'000 [Nm]		- Verfügbarkeit	-	sehr schlecht
<b>PM Synchronmotor (Pancake) axialer <math>\Phi_m</math> Fluss</b> >50 [kW], >1'200 [min <sup>-1</sup> ], <1'000 [Nm]		- Ex Zertifikate	-	sehr schlecht
<b>PM Synchronmotor transversaler <math>\Phi_m</math> Fluss</b>		- Verfügbarkeit	-	sehr schlecht

# Die Kandidaten: Antriebssysteme

Asynchronsystem



Synchron –  
Reluktanzsystem



Permanentmagnet  
Torquesystem



«Direktantrieb»

# Übertriebe

Typ	Vor/Nachteile	Eff. [%]	Safety & Verfügbarkeit
<b>Keilriemen</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Preis &amp; Verfügbarkeit</li> <li>- Grosser Bauraum 110mm</li> <li>- Effizienz</li> </ul>	95.0	Top Leitfähige Riemen Universal verfügbar
<b>Poly-V Riemen</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Preis &amp; Verfügbarkeit</li> <li>- Grosser Bauraum 90mm</li> <li>- Effizienz</li> <li>- Quietschen</li> </ul>	96.5	Schlecht Leitfähige Riemen Universal verfügbar Quietschen
<b>Zahnriemen</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Leistungsdichte 50mm</li> <li>+ Effizienz</li> <li>+ Wenig Abrieb</li> </ul>	97.5	Top Leitfähige Riemen Universal verfügbar
<b>Getriebe</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Effizienz</li> <li>+ Kein Abrieb</li> <li>- Varianten für 50/60Hz</li> <li>- Formfaktor &amp; Öl-handling</li> </ul>	98.0	Ok Gr. Platzbedarf, Kupplung Einige Hersteller, z.T kein Ex

# Die Kandidaten: Antriebssysteme Sichter

Asynchronsystem



+



Synchron – Reluktanzsystem



+



+



Permanentmagnet Torquesystem



+

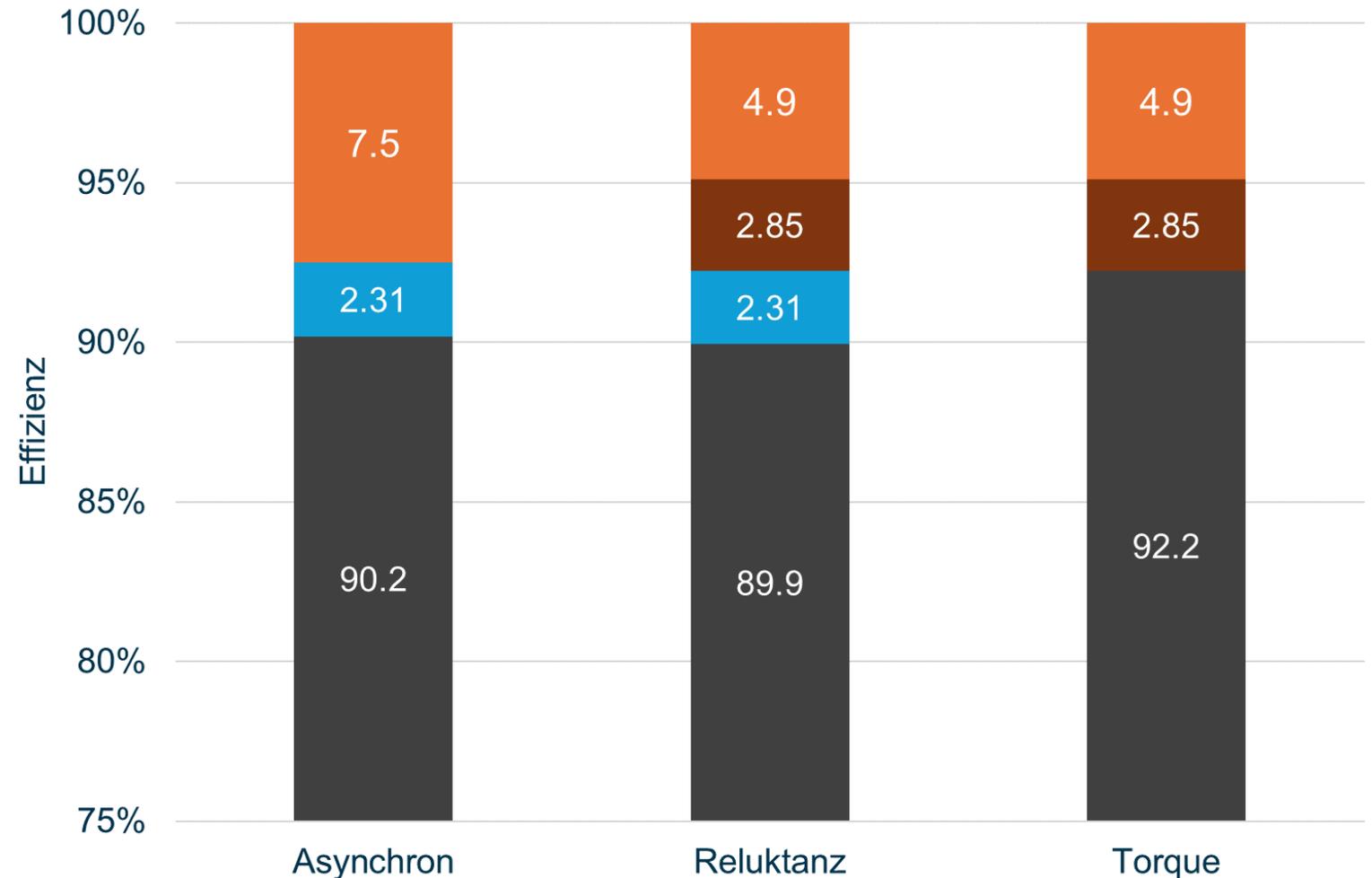


# Sichter

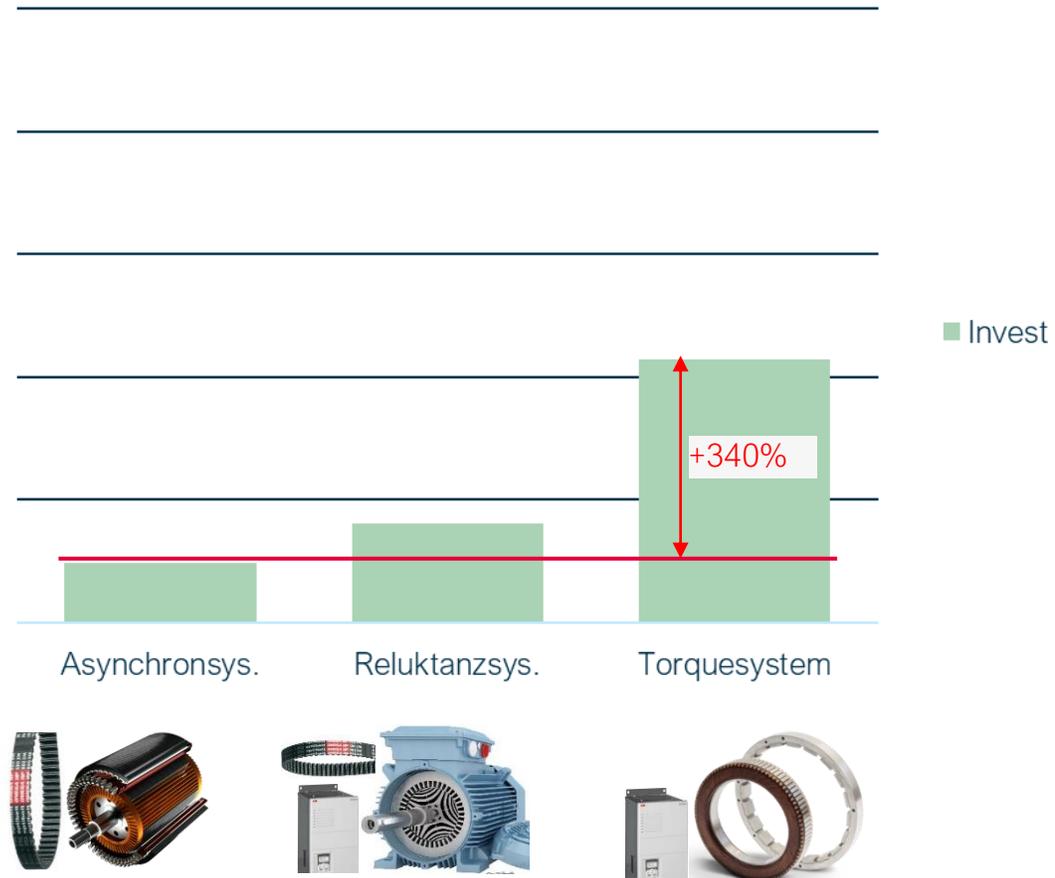
## theoretische Effizienz/Verluste



Effizienz $\eta$	[%]
Motor	92.5 / 95.1
Frequenzumformer	97
Übertrieb Motor	95
Systemeffizienz	

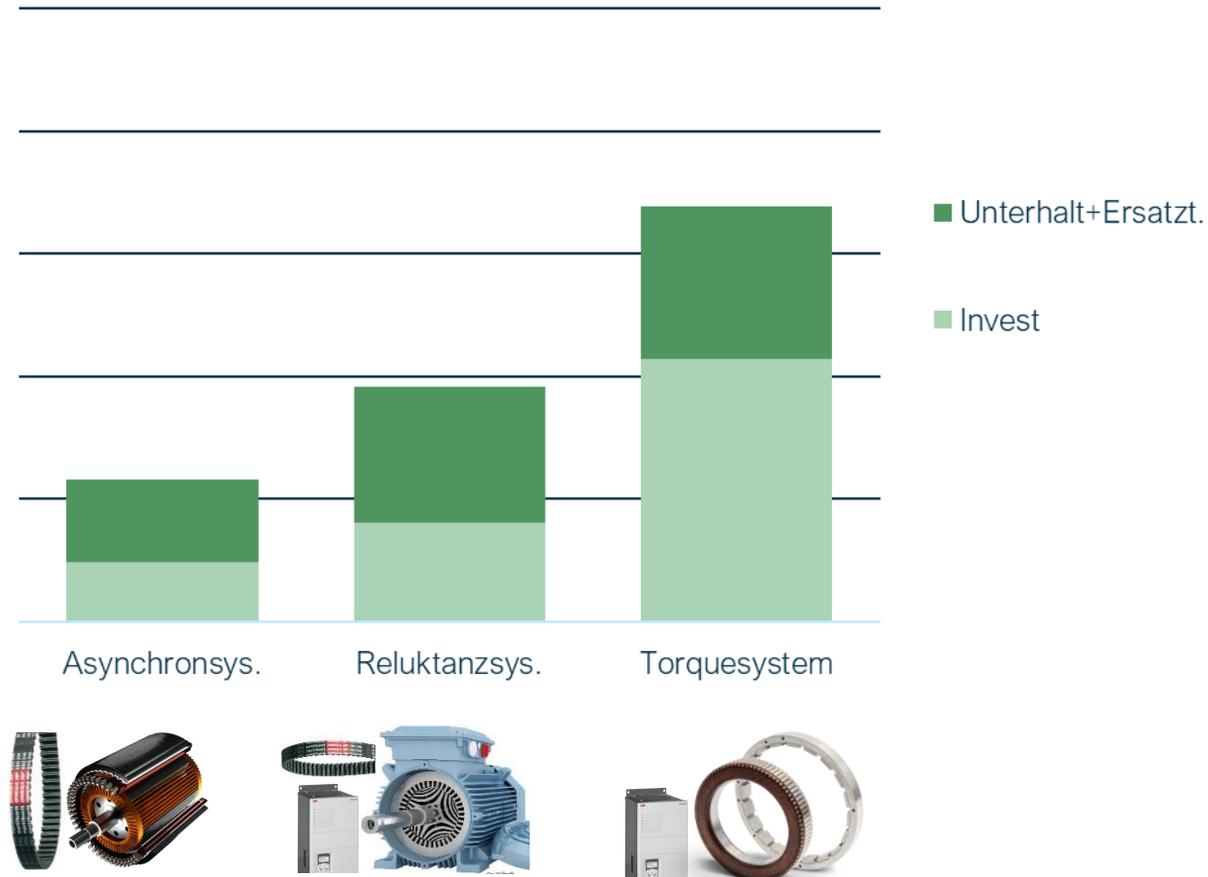


# Verursachte Kosten



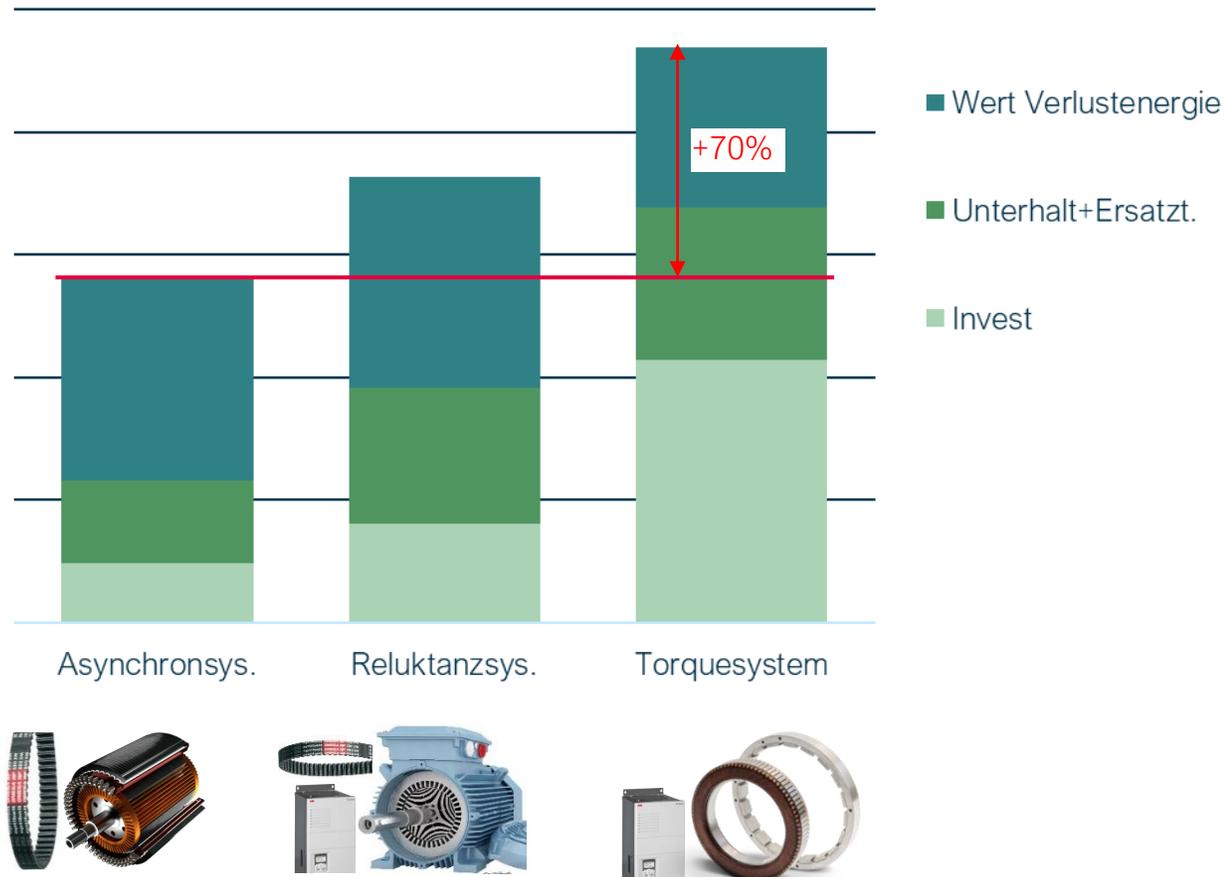
*Berechnet bei Energiekosten von 0.2 €/kWh; 8000 Betriebsstunden pro Jahr (91% uptime); Für Investitionsentscheid discount rate compound over lifetime mit Zins 3%; Effizienzen der einzelnen Bauteile parallel statt seriell betrachtet (ergäbe eine leichte Differenz in der Verlustenergie von max 5%)*

# Verursachte Kosten

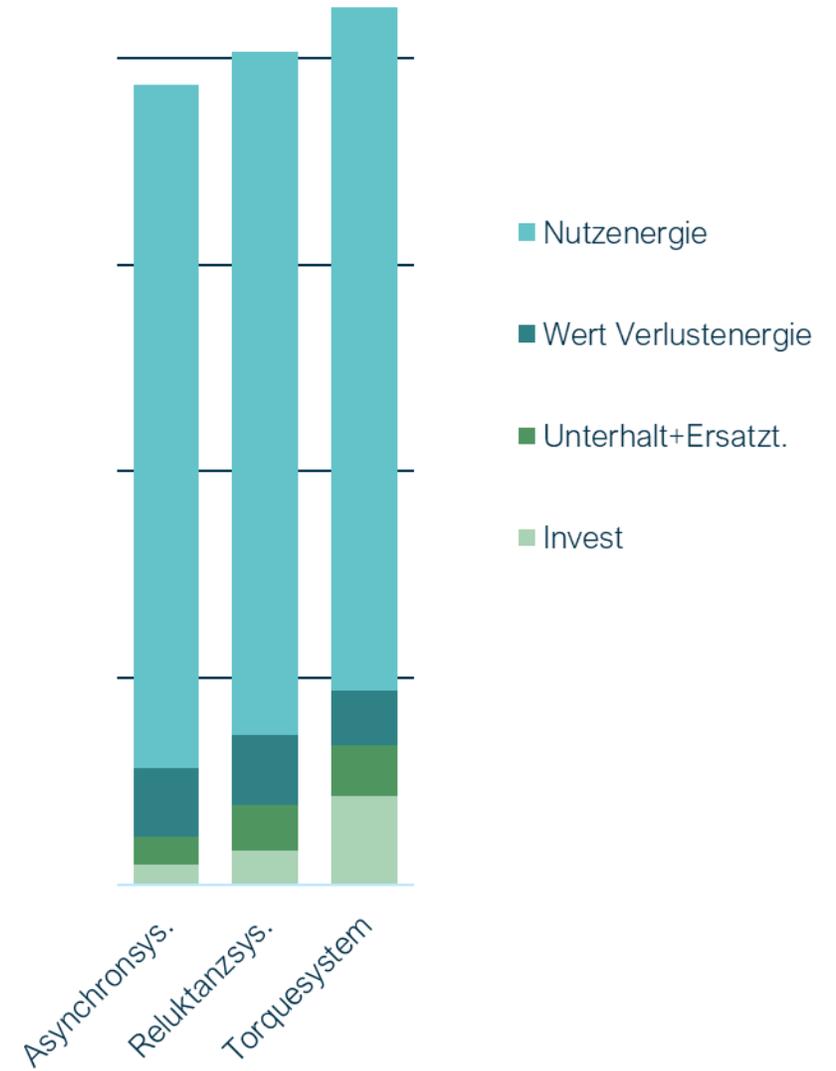


Berechnet bei Energiekosten von 0.2 €/kWh; 8000 Betriebsstunden pro Jahr (91% uptime); Für Investitionsentscheid discount rate compound over lifetime mit Zins 3%; Effizienzen der einzelnen Bauteile parallel statt seriell betrachtet (ergäbe eine leichte Differenz in der Verlustenergie von max 5%)

# Verursachte Kosten



## Inklusive Nutzenergie



Berechnet bei Energiekosten von 0.2 €/kWh; 8000 Betriebsstunden pro Jahr (91% uptime); Für Investitionsentscheid discount rate compound over lifetime mit Zins 3%; Effizienzen der einzelnen Bauteile parallel statt seriell betrachtet (ergäbe eine leichte Differenz in der Verlustenergie von max 5%)

# Antriebssysteme

## Vergleich



### Antriebssystem

### Asynchronsystem

### Synchron- Reluktanzsystem

### Permanentmagnet Torquesystem

### Komponenten



### Kostenfaktor [%] (Teile + Montage)

100

170

440

### Effizienz [%]

90.2

89.9

92.2

### Verursachte Kosten [%]

100

130

170

### Ex + Verfügbarkeit

sehr gut

mittel

schlecht

### Vor-/Nachteile

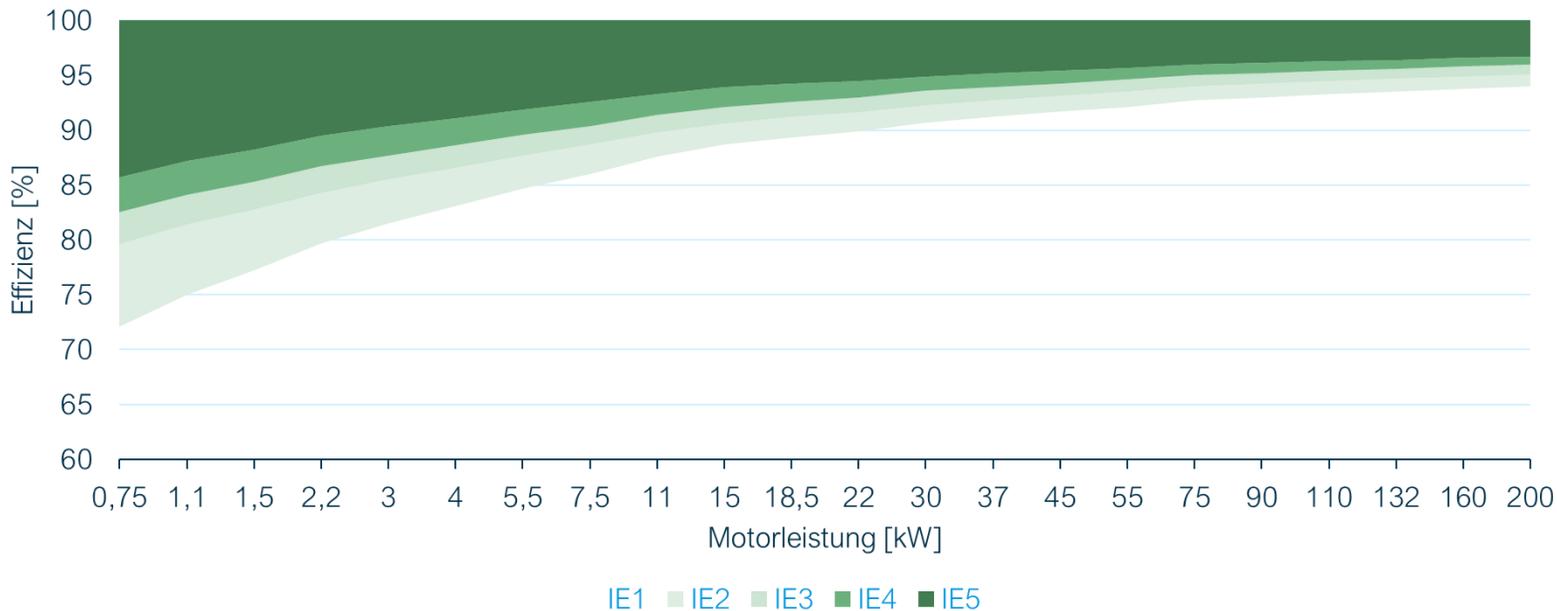
+ Kosten  
+ robust  
+ Verfügbarkeit / Ex

- 3 Komponenten Lösung  
- Verfügbarkeit

+ Effizienz  
+ Direktantrieb  
- Verfügbarkeit / Kosten

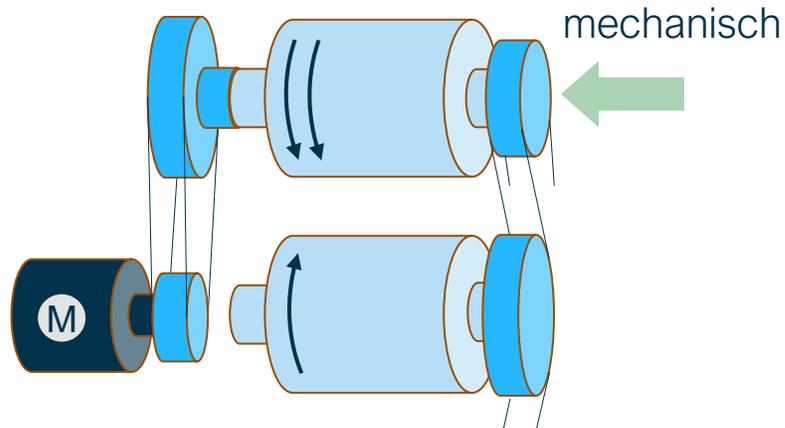
# Nachtrag: Gibt es noch Luft nach oben?

- Regelung seit 1. Juli 2023: IEC 60034-2-1
  - 2-6 polige Motoren (75-200kW) IE4
  - Geltungsbereich auch für Ex Motoren und Einphasenmotoren min IE3
- (Noch) schlechte Verfügbarkeit Ex zertifizierte Motoren mit IE4.

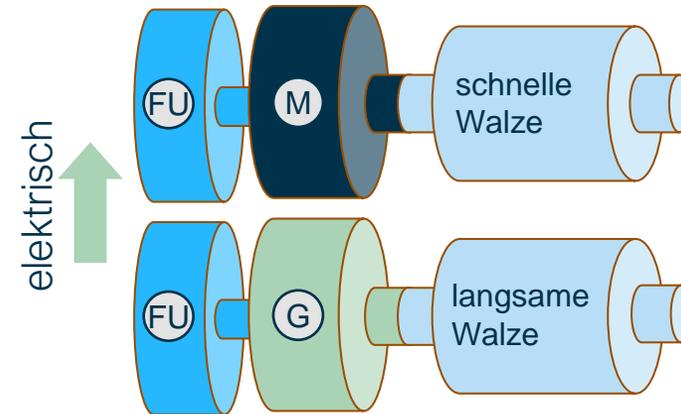


# Antriebssysteme Walzenstuhl

mechanische Energierückgewinnung

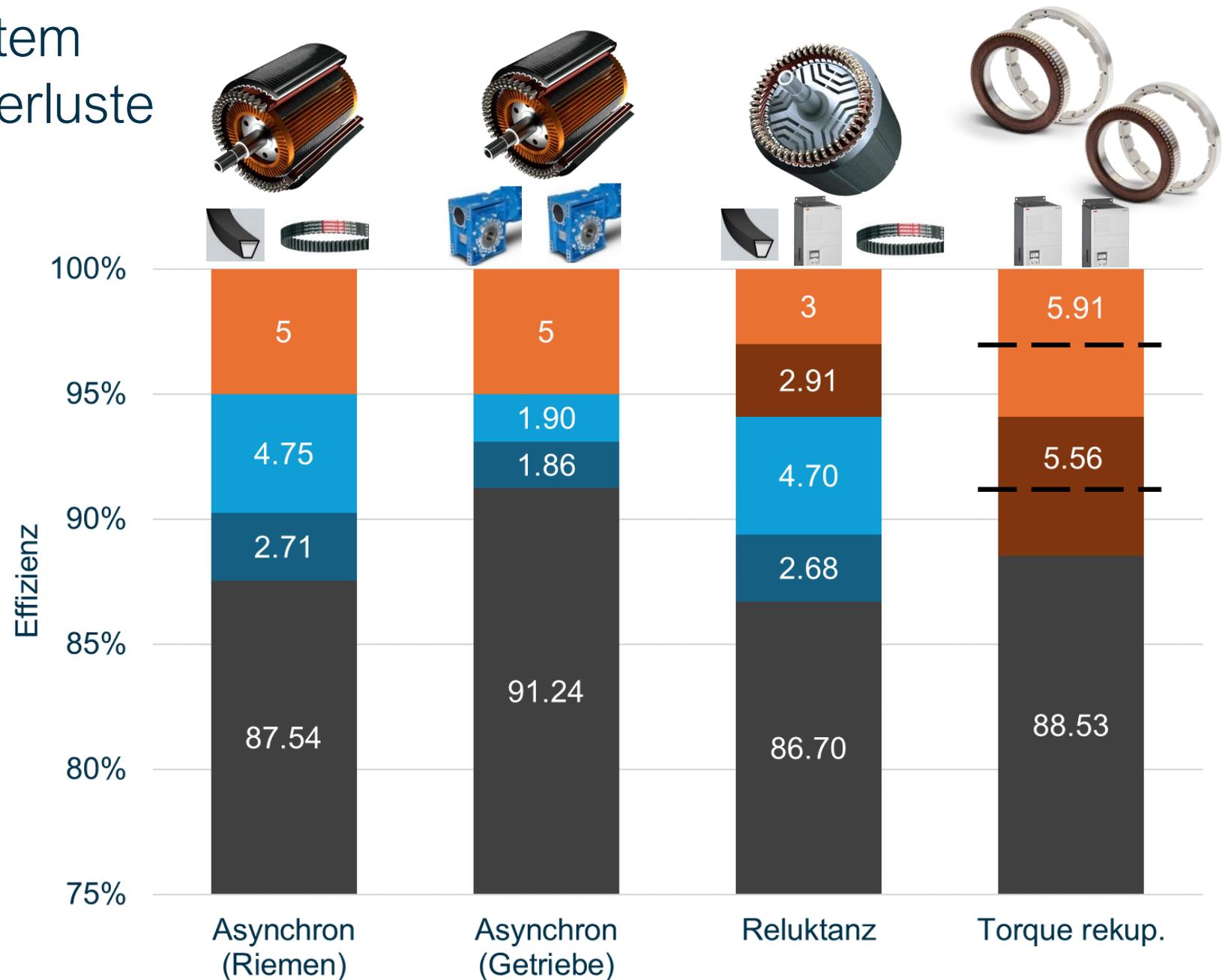


elektrische Energierückgewinnung  
(Direktantrieb)



# Walzenstuhl Antriebssystem theoretische Effizienz / Verluste

Effizienz $\eta$	[%]
Motor 37kW	95 / 97
Frequenzumformer	97
Übertrieb Motor	95 / 98
Übertrieb Walze	97 / 98
Systemeffizienz	



# Antriebssysteme

## Bewertung

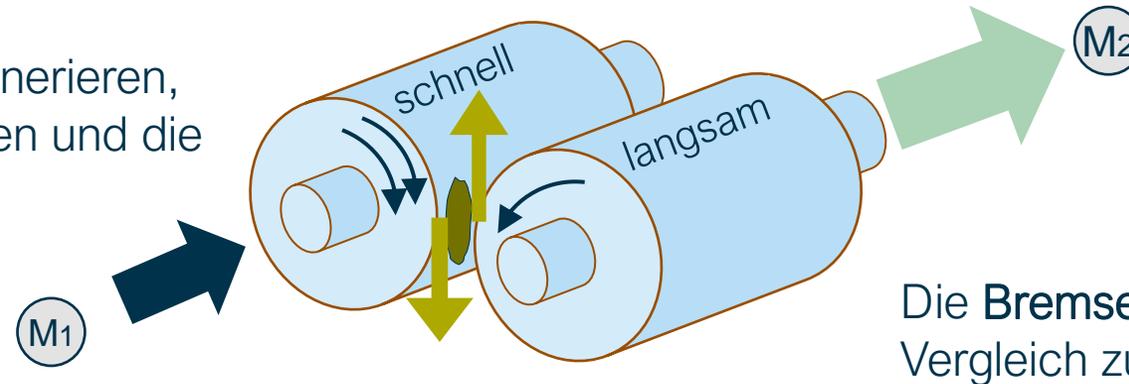


Antriebssystem	Asynchronmotor (Riemen)			Asynchronmotor (Getriebe)		Reluktanzmotor				Torquemotor	
Komponenten											
Kostenfaktor [%] (Teile + Montage)	100			170		150				1370	
Effizienz [%]	87.5			91.2		86.7				88.5	
Verursachte Kosten über 20 Jahre [%]	100			110		120				350	
Ex + Verfügbarkeit	sehr gut			Gut		Mittel				Schlecht	
Vor- und Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kosten</li> <li>+ robust</li> <li>+ Verfügbarkeit / Ex</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kosten</li> <li>+ Verfügbarkeit</li> <li>+ Effizienz Getriebe</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 Komponenten</li> <li>- Verfügbarkeit</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Effizienz</li> <li>+ Direktantrieb</li> <li>- Verfügbarkeit</li> <li>- Kosten</li> </ul>	

# Leistungsfluss - Model Mahlung

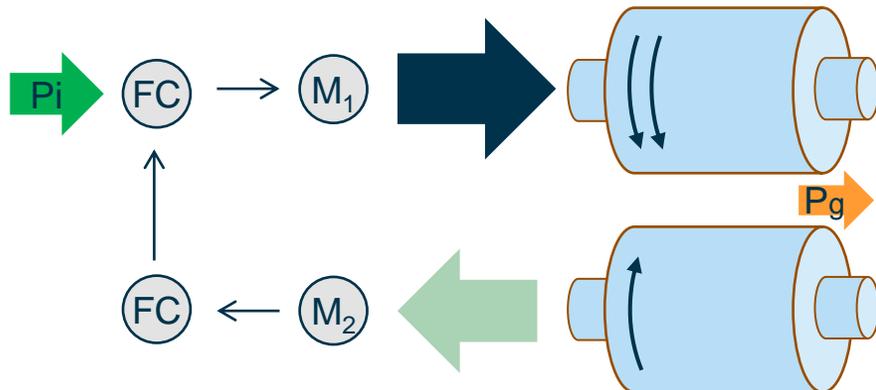
## Mahlprinzip:

Um Scherkräfte auf das Korn zu generieren, muss die schnelle Walze angetrieben und die langsame abgebremst werden!

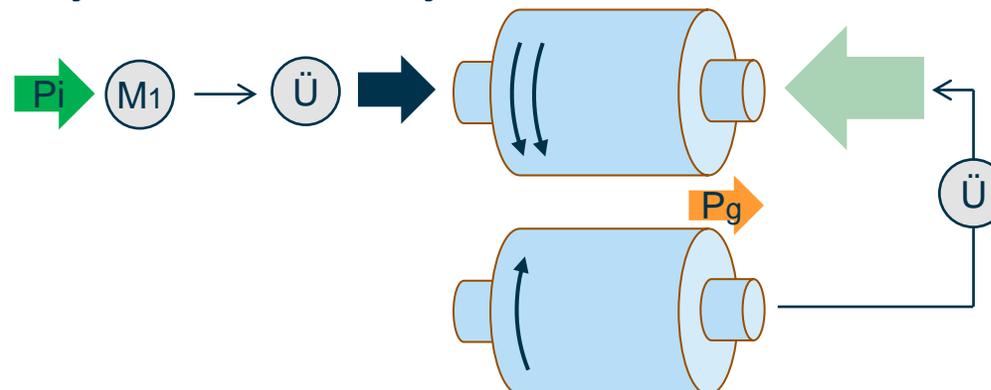


Die **Bremsenergie** ist sehr hoch im Vergleich zur effektiven Mahlenergie!

## 2 Motor Torqueantriebssystem



## Asynchronantriebssystem

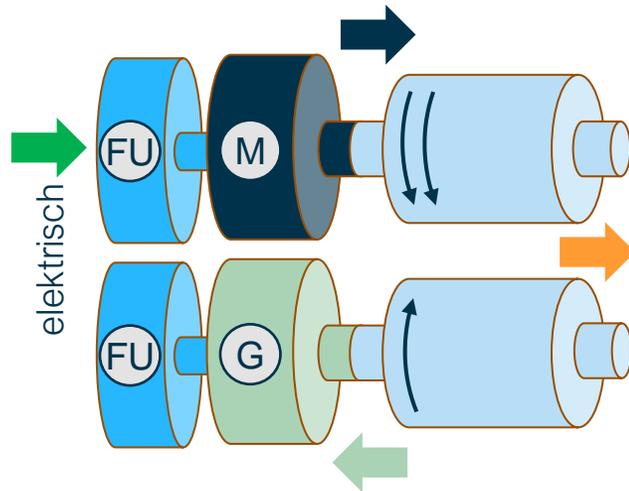


- Pi = Leistungsaufnahme
- Pg = Mahlleistung
- M<sub>1</sub> = Motor
- M<sub>2</sub> = Generator
- Ü = Übertrieb
- FU = Frequenzumformer

Hinweis: Die Flächen der Pfeile entsprechen den realen Kraftverläufen!

# Labormessung einer Mahlpassage

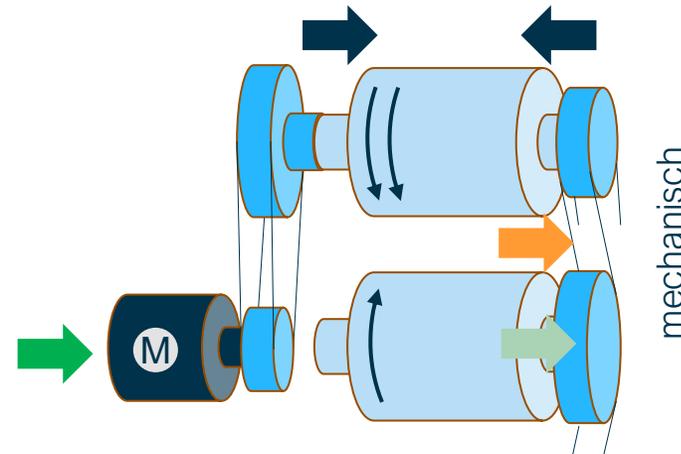
## 2 Motor Torqueantriebssystem



elektrische Leistung [kW]

■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	21.0
	P_installiert	64.0 & 43.0

## Asynchronantriebssystem



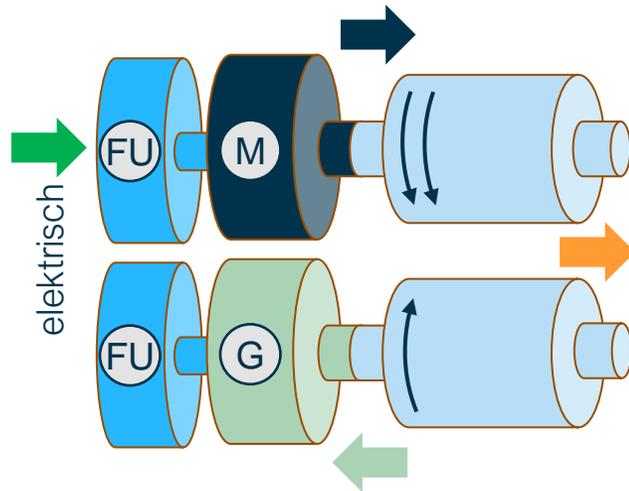
elektrische Leistung [kW]

■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	16.2
	P_installiert	16.2

identischer  
Leistungsfluss auf  
den Walzen

# Labormessung einer Mahlpassage

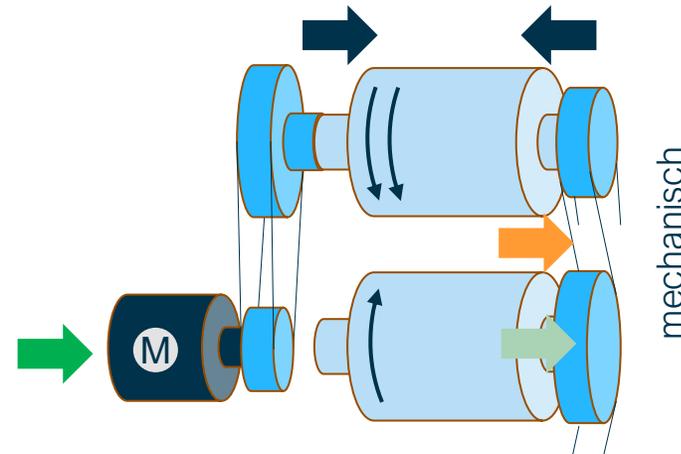
## 2 Motor Torqueantriebssystem



elektrische Leistung [kW]

■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	21.0
P_installiert		64.0 & 43.0

## Asynchronantriebssystem



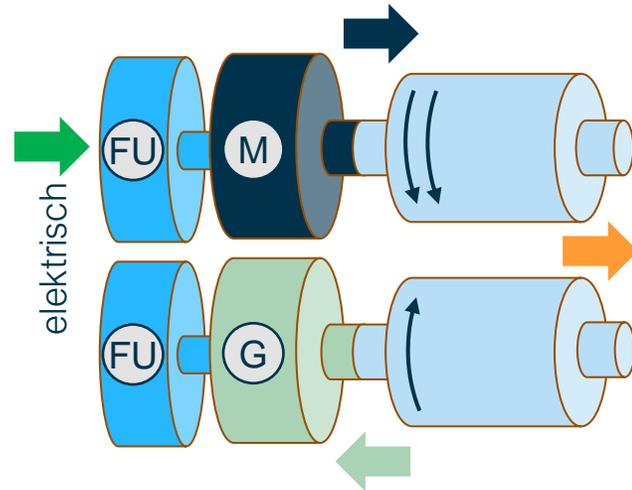
elektrische Leistung [kW]

■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	16.2
P_installiert		16.2

Unterschied  
Gesamtenergieeffizienz

# Labormessung einer Mahlpassage

## 2 Motor Torqueantriebssystem

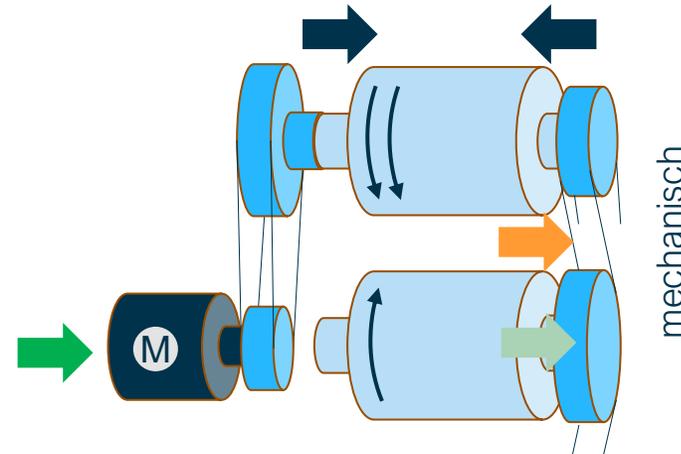


elektrische Leistung [kW]

■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	21.0

P\_installiert 64.0 & 43.0

## Asynchronantriebssystem



elektrische Leistung [kW]

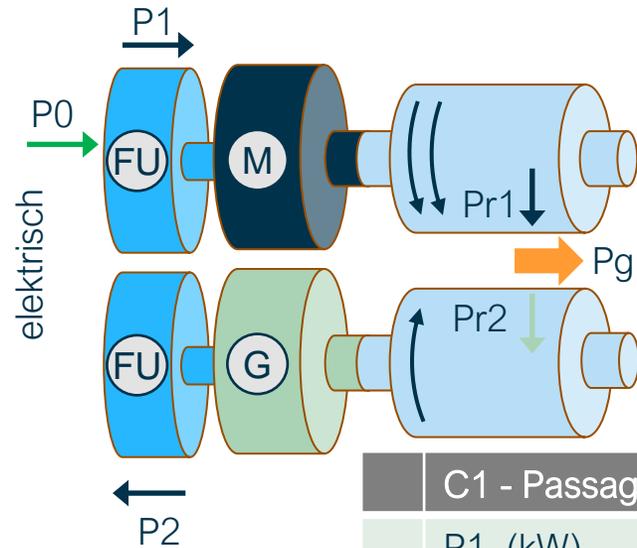
■	Pr1_schnelle_Walze	59.6
■	Pr2_langsame_Walze	-46.2
■	Pg_Mahlung	13.4
■	P0_in	16.2

P\_installiert 16.2

Unterschied in der installierten Leistung

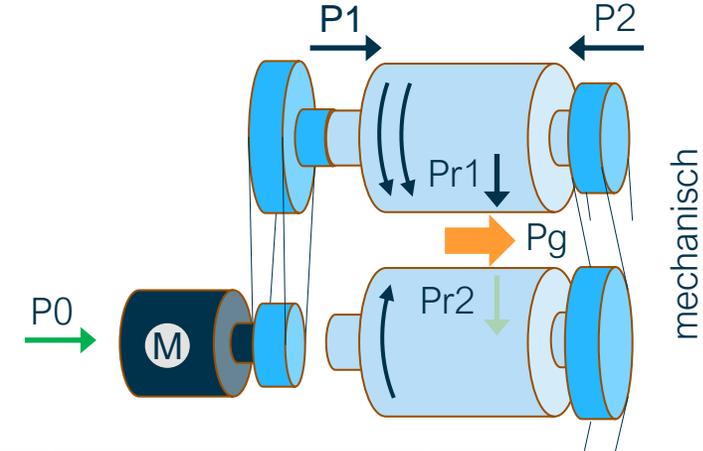
# Labormessung einer Mahlpassage

## 2 Motor Torqueantriebssystem



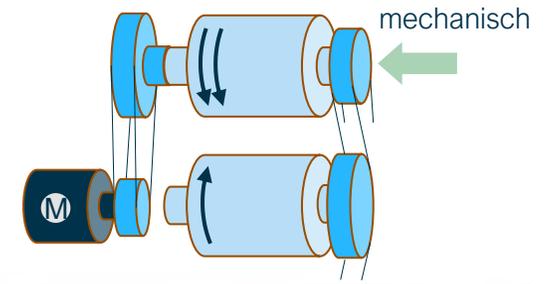
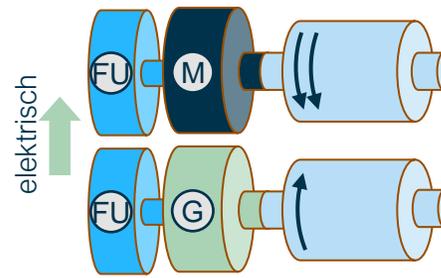
C1 - Passage		
P1 (kW)	64.0	
P2 (kW)	43.0	
Pr1 (kW)	59.6	
Pr2 (kW)	46.2	
Pg (kW)	13.4	
P0 (kW)	21.0	
$\eta_{\text{Prozess}} (P_g/P_0)$	0.64	
$\eta_{\text{Theorie}}$	0.88	

## Asynchronantriebssystem

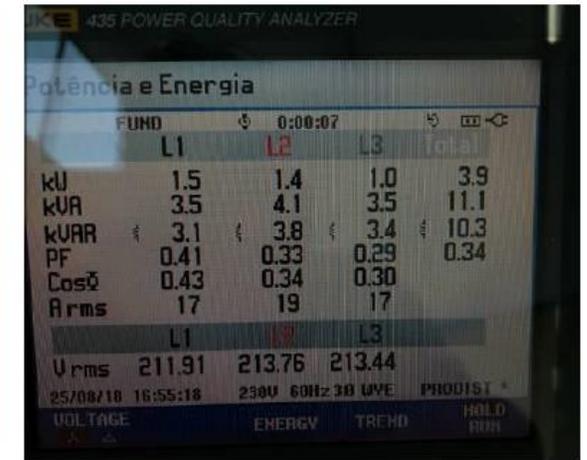


C1 - Passage		
P1 (kW)	14.8	
P2 (kW)	44.8	
Pr1 (kW)	59.6	
Pr2 (kW)	46.2	
Pg (kW)	13.4	
P0 (kW)	16.2	
$\eta_{\text{Prozess}} (P_g/P_0)$	0.83	
$\eta_{\text{Theorie}}$	0.87	

# Praktischer Mahlversuch



- Praktischer Mahlversuch bei möglichst **gleicher** Mahlarbeit
- Energieverbrauch des Asynchron-System ist um **16%** tiefer als das Torque-System
- Mehlausbeute liegt **5%** höher beim Asynchronmotorsystem



Passage C2A	Torquemotor (direkt)		Asynchron (Riemen)	
Leistung	5.3	[kW]	3.9	[kW]
Durchsatz	640.8	[kg/h]	562.8	[kg/h]
Energieverbrauch	8.27	[kWh/t]	6.93	[kWh/t]
Delta	100	[%]	83.7	[%]
> 180 [μm]	13	[%]	12	[%]
> 125 [μm]	30	[%]	26	[%]
Durchfall	57	[%]	62	[%]

# Vergleich

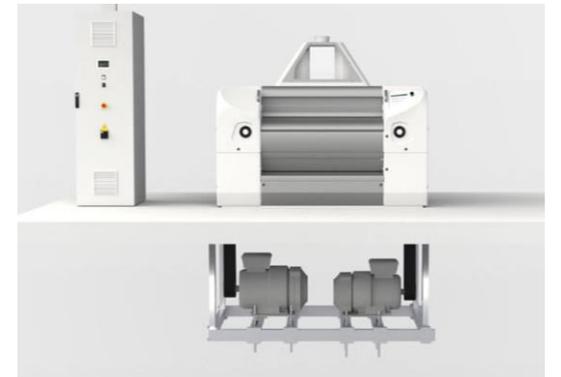
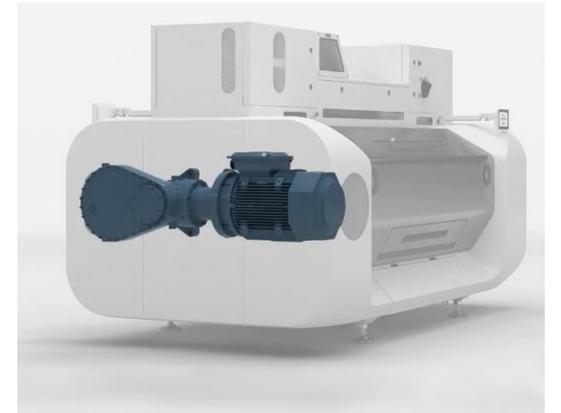
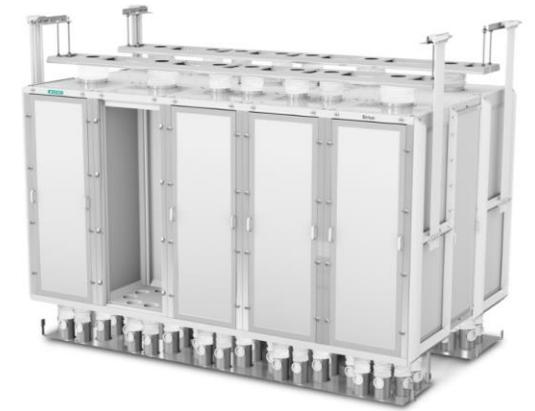


	Antriebssystem (Torque recup.) mit elektrischer Energierückgewinnung	Antriebssystem (Asynchron-Riemen) mit mechanischer Energierückgewinnung
<b>Motor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spezieller DC Motor nur mit Steuerung (FU)</li> <li>• höheres Antriebsmoment =&gt; grössere Motoren bez. installierter Leistung (kW)</li> <li>• 2x Motoren &amp; 2x FU's notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard AC Motor</li> <li>• Tieferes Antriebsmoment =&gt; kleinere Motore bez. installierter Leistung (kW)</li> <li>• 1x Motor</li> </ul>
<b>Übertrieb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direktantrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Getriebe oder Riemen</li> </ul>
<b>Flexibilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeitsänderung und Übertriebsverhältnis <b>möglich</b>, jedoch <b>limitiert</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeit und Übertriebsverhältnis sind <b>fix</b></li> </ul>
<b>Energieeffizienz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tiefere Energieeffizienz (4 Komponenten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe mechanische Energierückgewinnung</li> </ul>

# Zusammenfassung

- das Antriebssystem mit Asynchronmotor (Getriebe oder Riemen) ist die **wirtschaftlichste Variante** für Plansichter und Walzenstühle
- Walzenstühle: höchste **Flexibilität** mit **kostenintensiven Torqueantrieben**, aber bei elektrischer Energierückgewinnung ist der Verlust höher
- die Verfügbarkeit von IE4 Asynchronmotoren steigert die Systemeffizienz in Zukunft

*\*weiterführende Literatur:  
Whitepaper von Bühler und Swisca*





INNOVATIONS FOR A BETTER WORLD