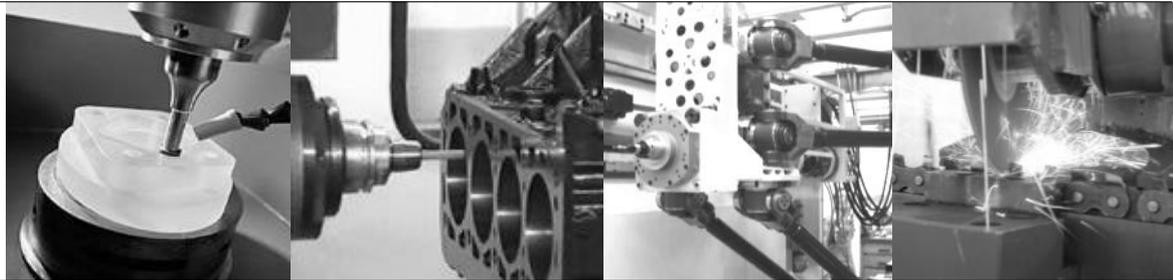


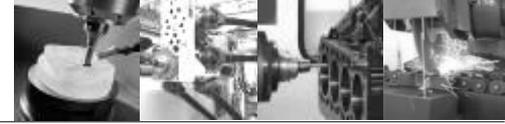
## Vergleich verschiedener Linearantriebstechnologien

Break-Even Analyse



Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher  
Dipl.-Ing. Fabian Dür  
Dipl.-Ing. Thomas Flatz  
Christian Salvatori, BSc

27.11. – 29.11.2012



- 1** Aufgabenstellung
- 2** Vorgehensweise
- 3** Messtechnik und Messaufbau
- 4** Darstellung der Messungen
- 5** LCC-Analyse



## Elektrisch EGC-80-1000-TB-KF-OH-GK

- Hub = 1000mm
- Elektromechanische Linearachse mit Zahnriemen
- Servomotor
- Planetengetriebe 5:1
- Max. Geschwindigkeit = 5 m/s
- Steuerung über Leistungselektronik

## Pneumatisch DGC-25-1000-KF-YSRW-A

- Hub = 1000mm
- Stoßdämpfer, weiche Kennlinie
- Kugelumlaufführung
- Kolben  $\varnothing = 25\text{mm}$
- Theoretische Kraft bei 6 bar = 295N
- Steuerung über Ventilinsel

## Servopneumatisch DGCI-25-1000-KF-QD

- Hub = 1000mm
- Wegmesssystem integriert
- Zwischenstopps möglich
- Kolben  $\varnothing = 25\text{mm}$
- Theoretische Kraft bei 6 bar = 295N
- Funktionsweise: doppelwirkender Zylinder
- Steuerung über Ventilinsel





- Messung der benötigten Leistung (elektrische Wirkleistung bzw. pneumatische Leistung)
  
- Ziel ist eine Life-Cycle-Cost Betrachtung der verschiedenen Technologien



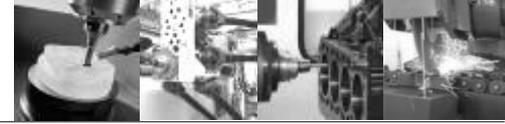
1 Aufgabenstellung

2 **Vorgehensweise**

3 Messtechnik und Messaufbau

4 Darstellung der Messungen

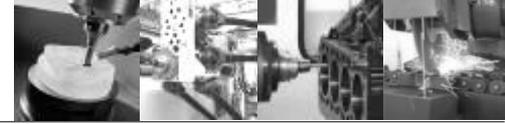
5 LCC-Analyse



- Folgende Versuchsfaktoren werden berücksichtigt

| 3 Antriebe   | 3 Massen   | 2 Richtungen  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• DGC</li><li>• EGC</li><li>• DGCI</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 10kg</li><li>• 15kg</li><li>• 20kg</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• horizontal</li><li>• vertikal</li></ul> |

- Messung alle 50ms von folgenden Größen
  - Elektrische Leistung in W
  - Druck in bar
  - Durchfluss in NI/min



1 Aufgabenstellung

2 Vorgehensweise

3 **Messtechnik und Messaufbau**

4 Darstellung der Messungen

5 LCC-Analyse



- Hochpräzise Aufzeichnung der Messwerte alle 50 Millisekunden mit dem LMG 500 der Firma ZES. Das IFT hat dieses Leistungsmessgerät auf Grund der hohen zeitlichen Auflösung sowie der großen Bandbreite gewählt
- Simultane Messungen der Ströme und Spannungen der 3 Phasen, Bestimmung der Wirkleistung sowie der Leistungsfaktoren und 4 Analogengänge für externe Sensoren (0-10V)
- Die Ströme der Einzelphasen werden mit Hilfe von Stromzangen erfasst. Mit deren Hilfe können Stromstärken bis 1000A gemessen werden
- Die Spannungen der 3 Phasen werden über magnetische Tastköpfe aufgenommen
- Dadurch ist es möglich das Messgerät ohne Unterbrechung der Stromzufuhr zur Maschine anzuschließen.

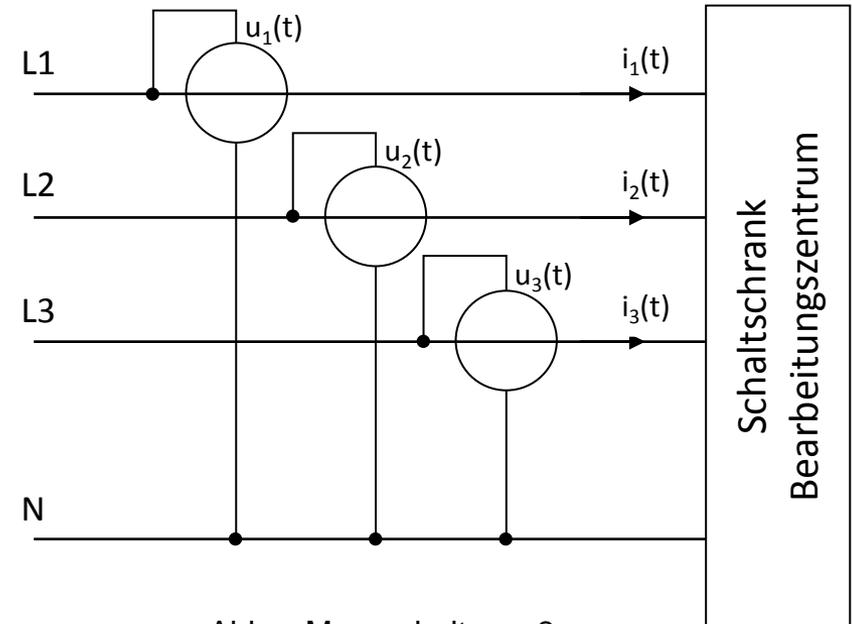
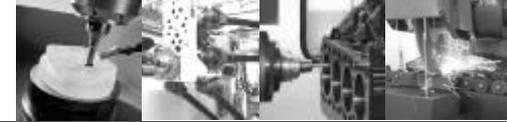
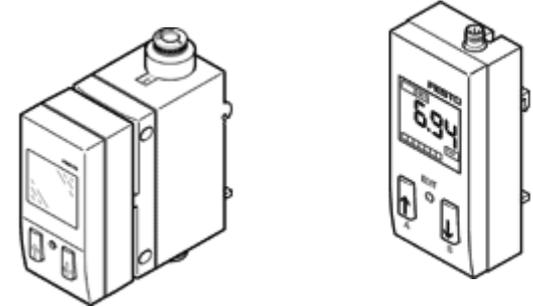


Abb.: LMG 500 von ZES

Abb.: Messschaltung, 3 Wattmeter-Methode

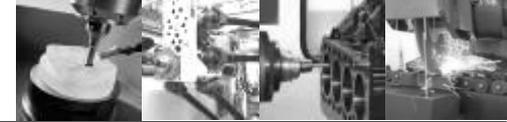


- Der Druckluftverbrauch bzw. Druck wird mittels **Durchfluss** bzw. **Drucksensoren von der Firma Festo** ermittelt
- Die Sensoren werden direkt mit den Analogeingängen des LMG verbunden
- Dadurch selbe Abtastwerte wie elektrische Messgrößen



- Bezeichnung Druckluftsensoren Festo:  
SFAB-(50U bzw. 1000U)-WQ10-2SV-M12-5S
- Spannungsversorgung:  
+/- 24V DC
- Messbereiche:  
0,5 - 50 bzw. 10 - 1000 l/min
- Messgröße:  
Durchfluss, Luftverbrauch
- Betriebsdruck:  
0 - 10 bar
- Analogausgang:  
0 - 10V
- Betriebsmedien:  
Luft nach Luftqualitätsklasse, Stickstoff

- Bezeichnung Drucksensor Festo:  
SDE1-D10-
- Spannungsversorgung:  
+/- 24V DC
- Messbereiche:  
-1 – 10 bar
- Messgröße:  
Durchfluss, Luftverbrauch
- Betriebsdruck:  
0 - 10 bar
- Analogausgang:  
0 - 10V
- Betriebsmedien:  
Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:4:4]



- Berechnung der technischen Arbeit aus Druck und Volumenstrom mit der reversiblen adiabatischen Verdichtungsarbeit  $w_{t,12}$

$$w_{t,12} = R_N * T_N * \frac{\kappa}{\kappa - 1} * \left[ \left( \frac{p_S}{p_N} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \quad \kappa = 1,4$$

$$\dot{m} = \dot{V}_S * \rho_N$$

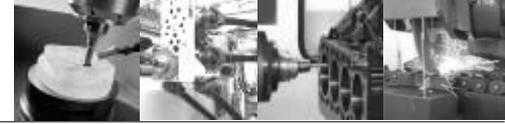
← Werte der Sensoren

$$P_{pneu} = w_{t,12} * \dot{m}$$

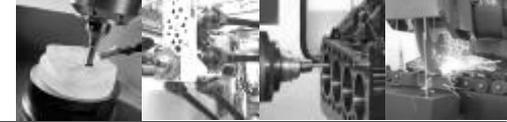
| Normbedingung      | Nach DIN 1343 Festo     |
|--------------------|-------------------------|
| Druck $p_N$        | 1,01325 bar (abs)       |
| Temperatur $T_N$   | 0 °C (273,15 K)         |
| Gaskonstante $R_N$ | 287,07 J/(kg*K)         |
| Dichte $\rho_N$    | 1,292 kg/m <sup>3</sup> |
| Luftfeuchte        | 0 %                     |

$$P_{el} = \frac{P_{pneu}}{\eta_{ges}}$$

$\eta_{ges} = 0,3$  Gesamtwirkungsgrad von Kompressor und Druckluftnetz



- 1 Aufgabenstellung
- 2 Vorgehensweise
- 3 Messtechnik und Messaufbau
- 4 **Darstellung der Messungen**
- 5 LCC-Analyse



## ■ Horizontal

### ■ DGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

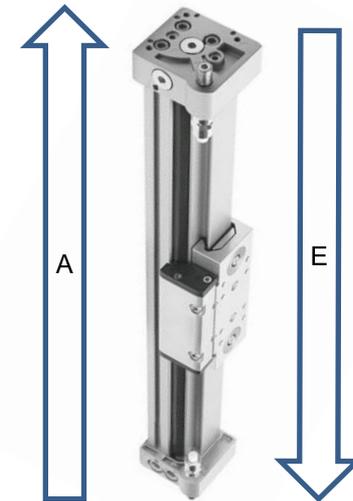
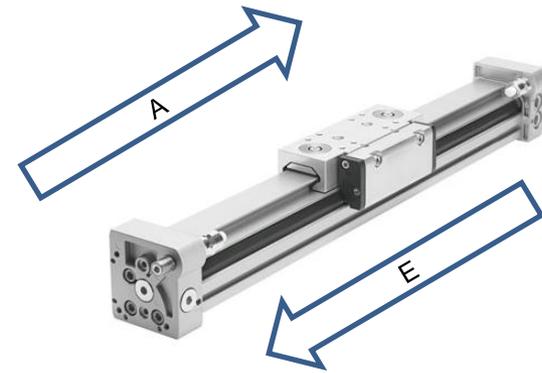
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

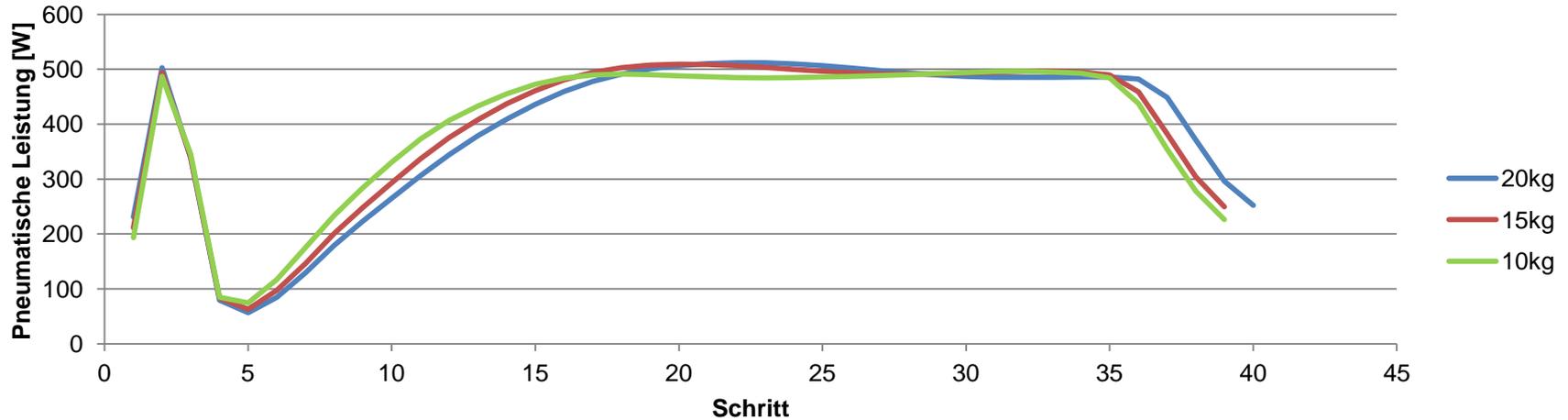
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

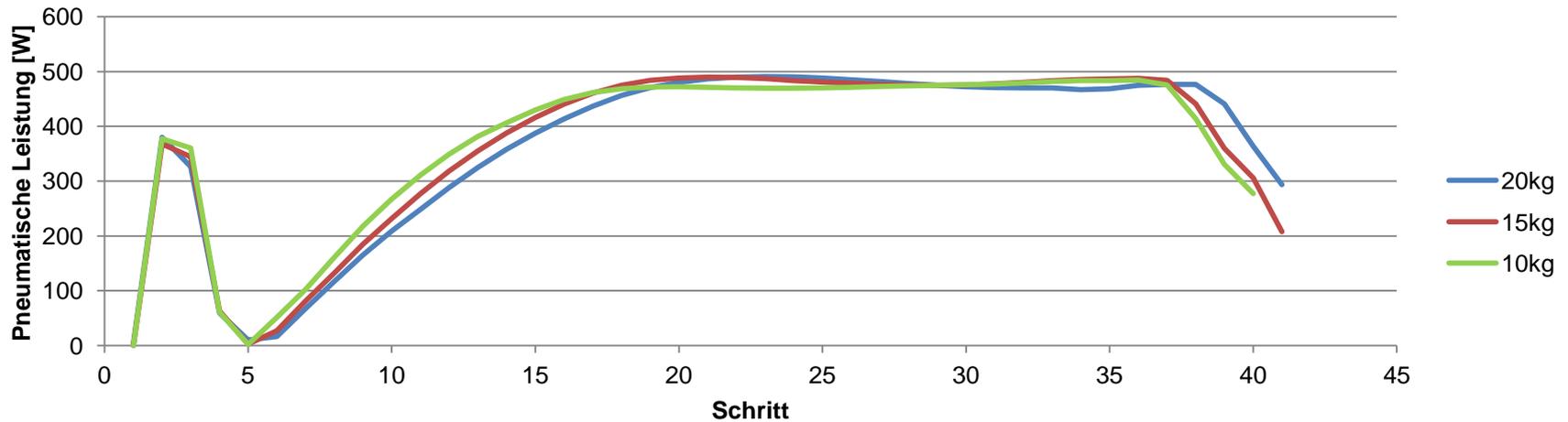




## Profil DGC horizontal Dauerlauf

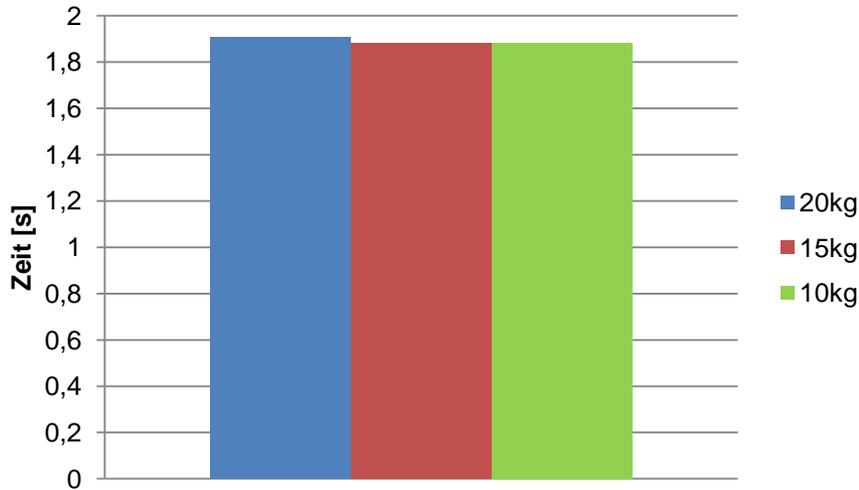


## Profil DGC horizontal Intervall

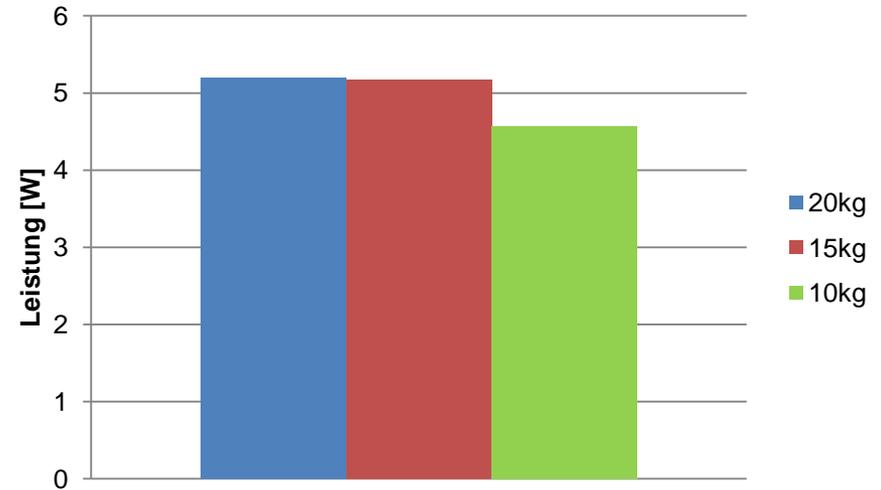




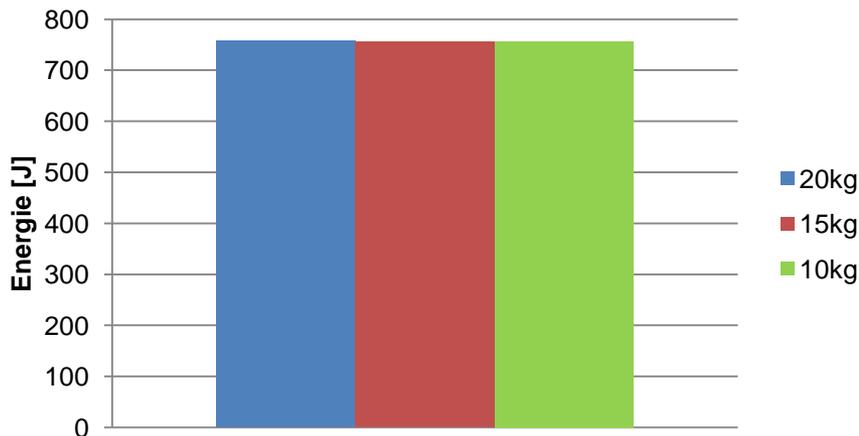
## Hubzeit DGC horizontal



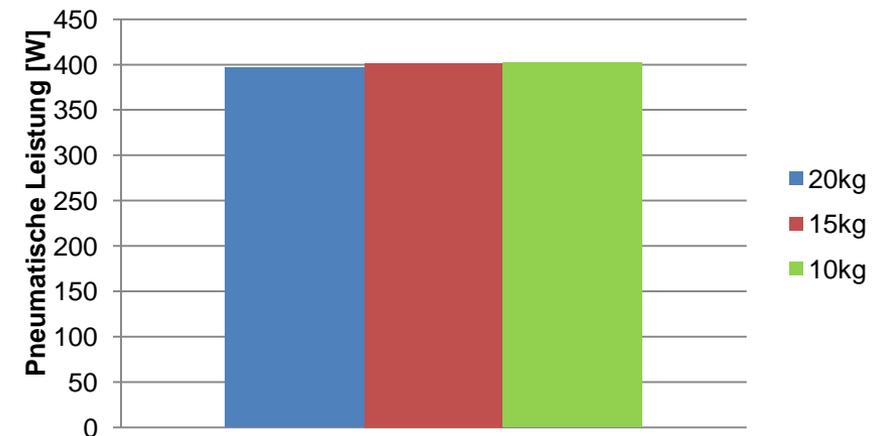
## Grundlast DGC horizontal



## Energie für Hub DGC horizontal



## Leistung über Hub DGC horizontal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

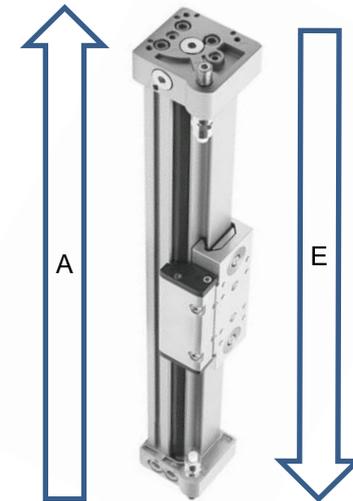
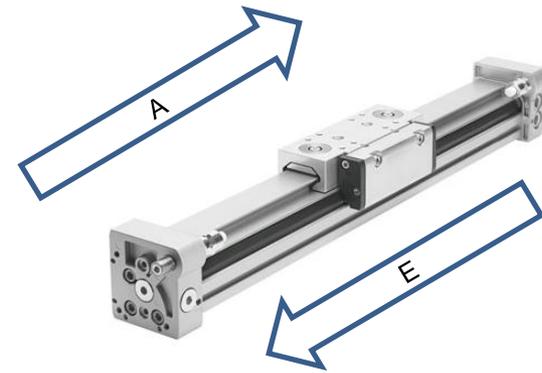
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

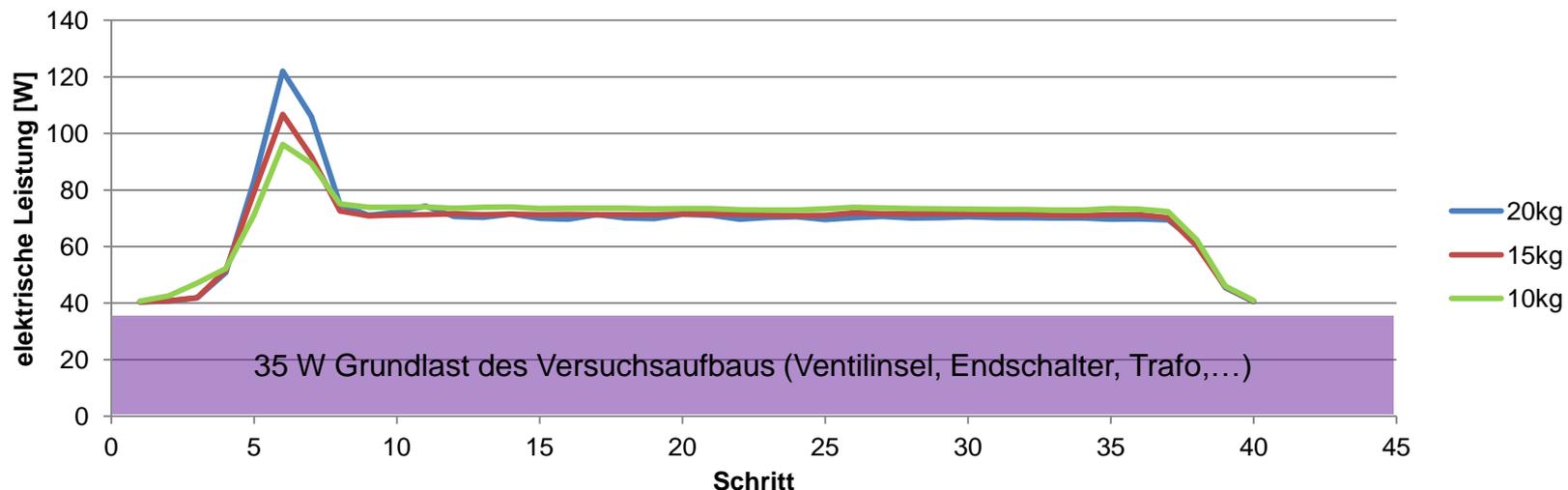
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

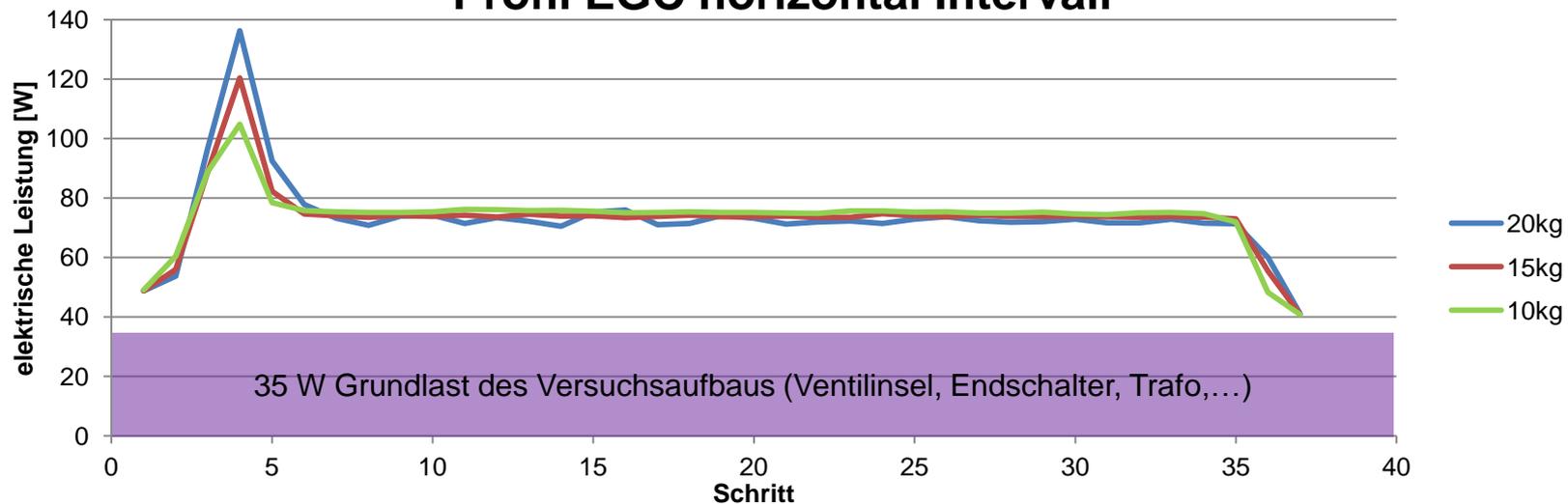




## Profil EGC horizontal Dauerlauf

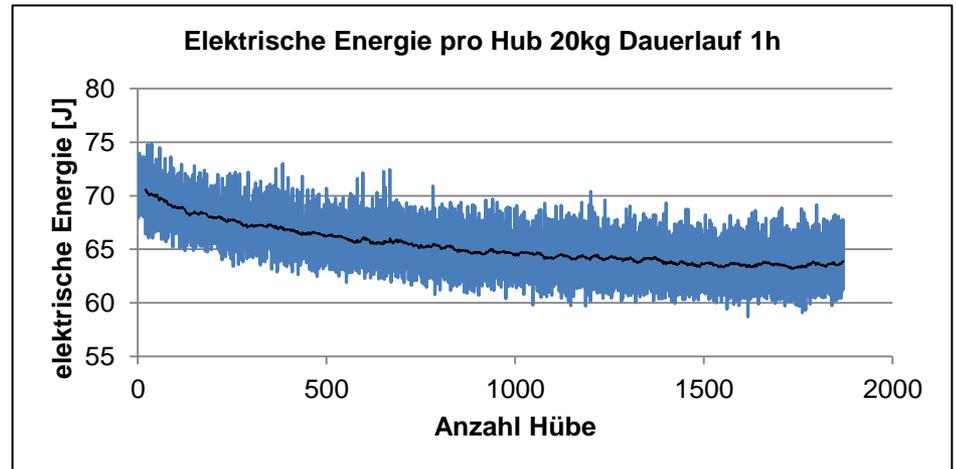
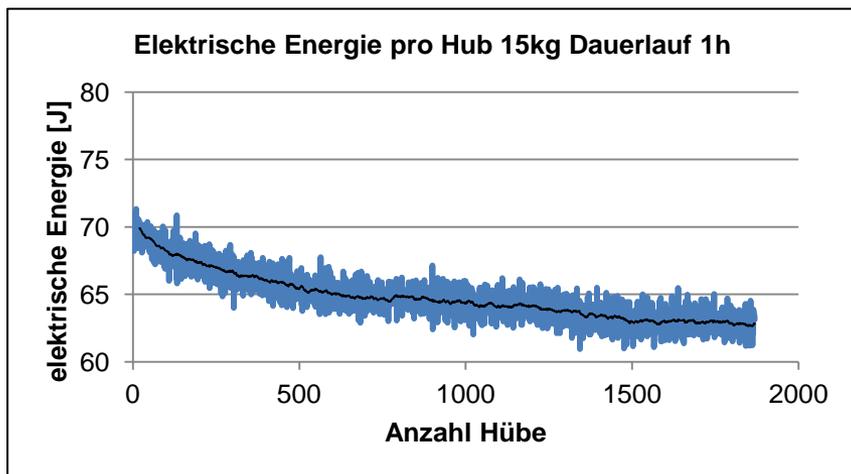
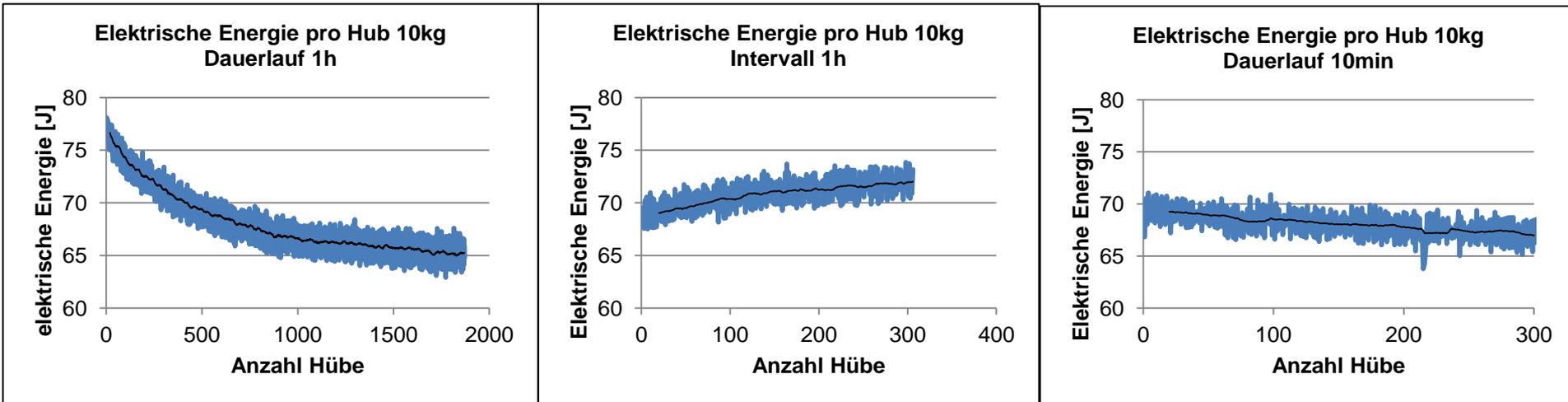


## Profil EGC horizontal Intervall



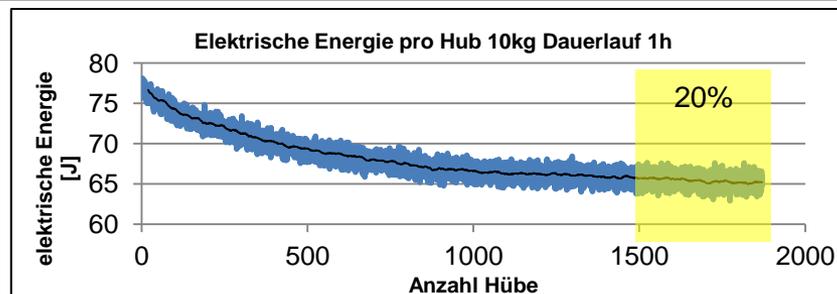


## ■ Interessanter Punkt, der bei der Auswertung auffiel

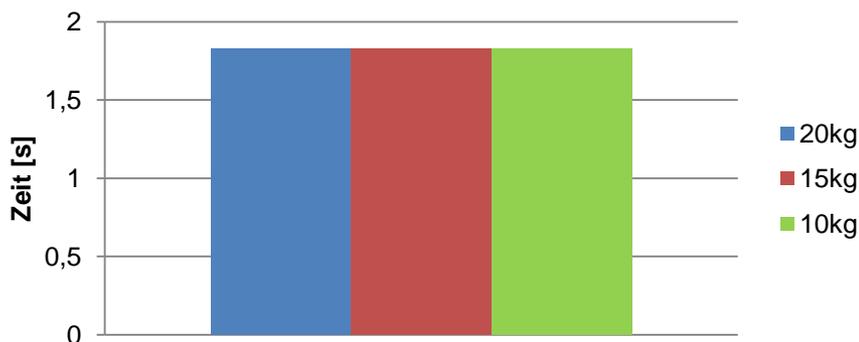




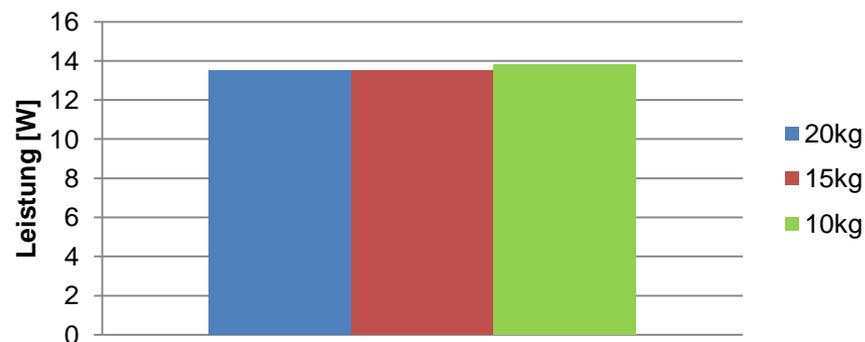
- Nur letzten 20% der Hübe bei Dauerlauf berücksichtigt



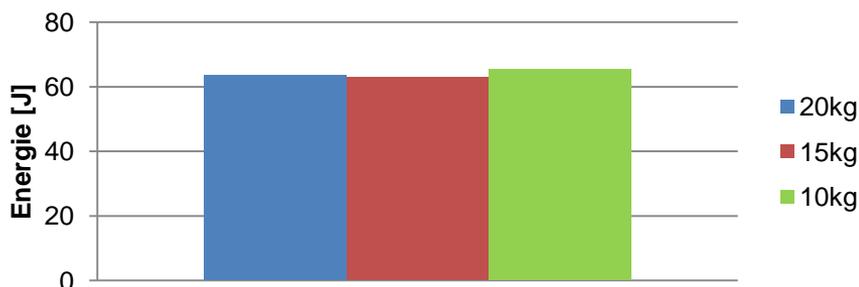
## Hubzeit EGC horizontal



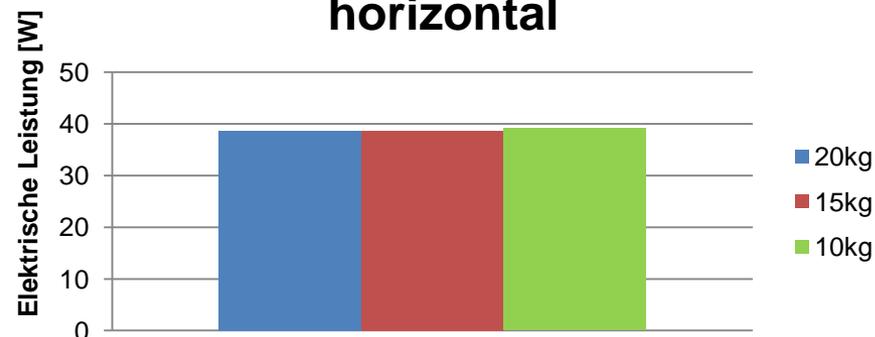
## Grundlast EGC horizontal



## Energie für Hub EGC horizontal



## Leistung über Hub EGC horizontal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

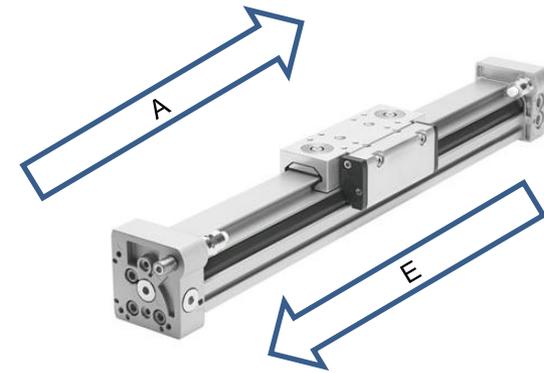
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg



## ■ Vertikal

### ■ DGC

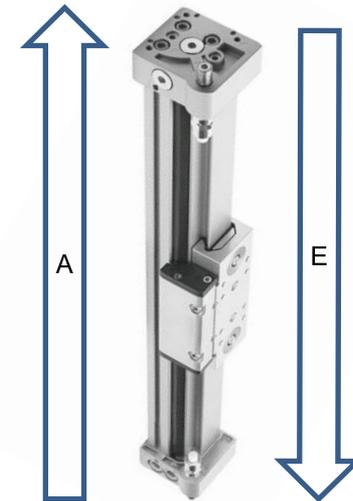
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

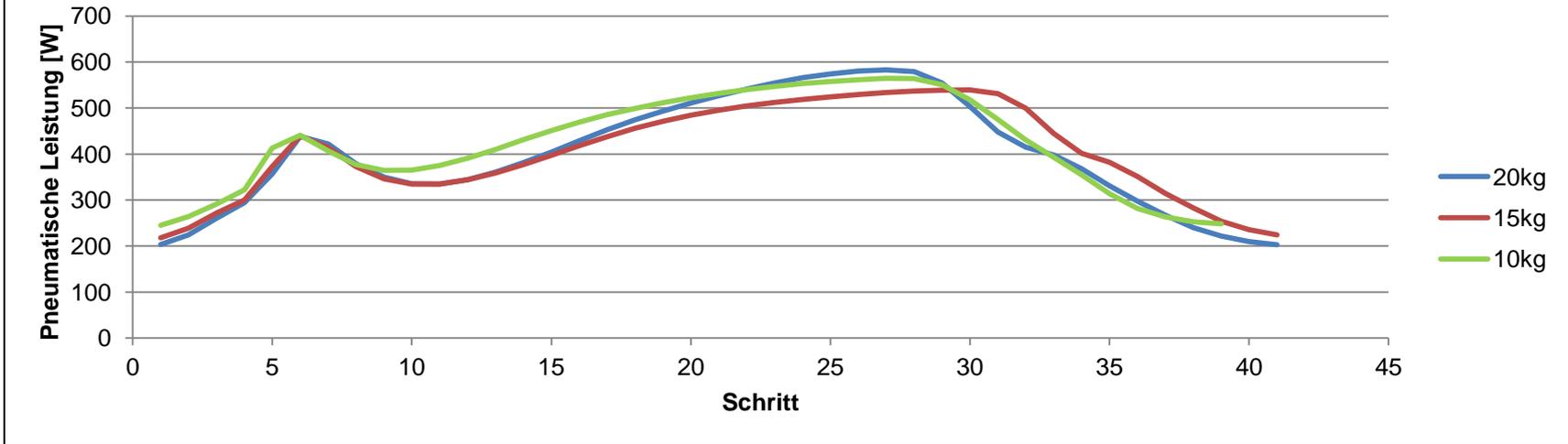
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

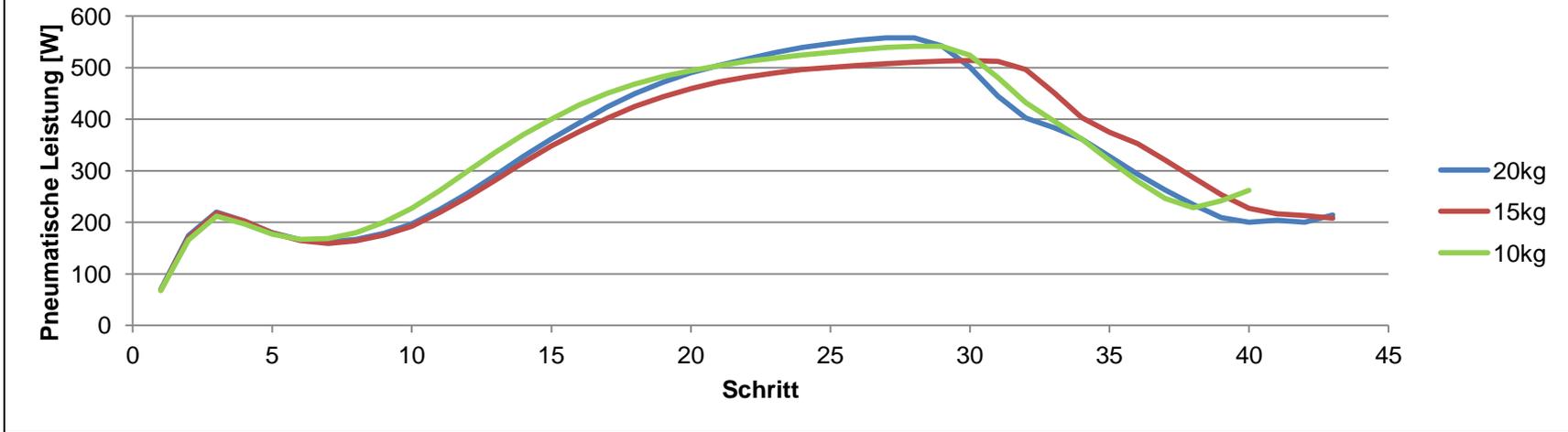




## Profil DGCI horizontal Dauerlauf

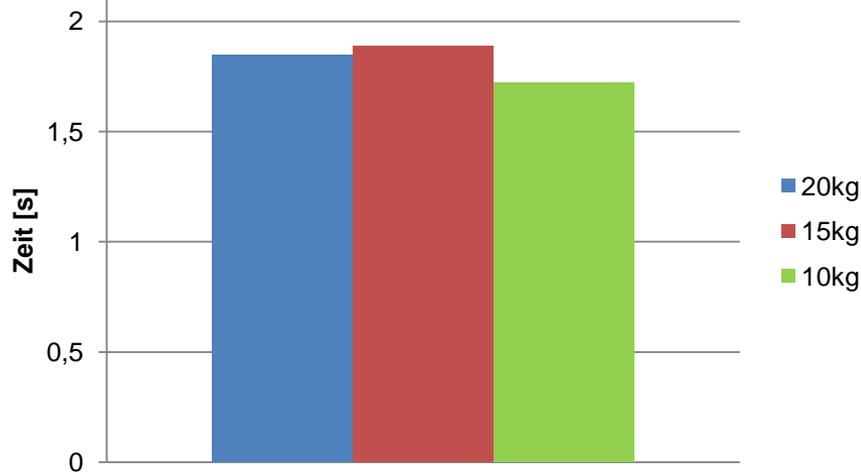


## Profil DGCI horizontal Intervall

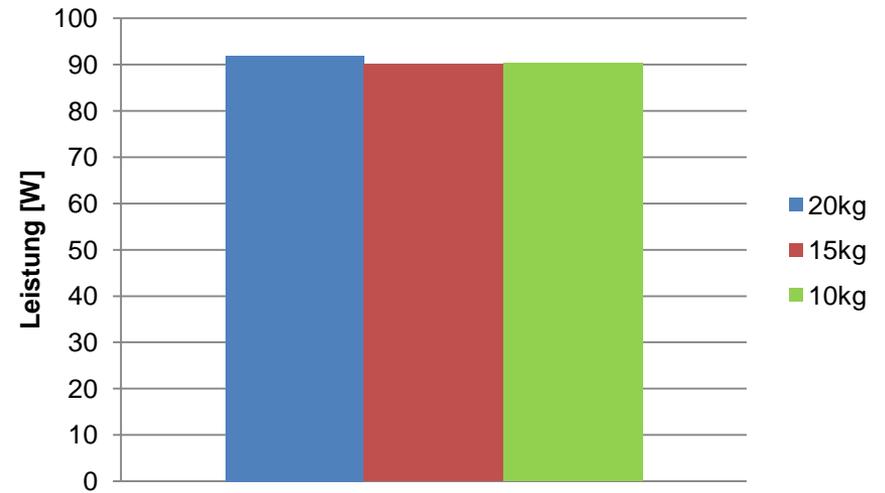




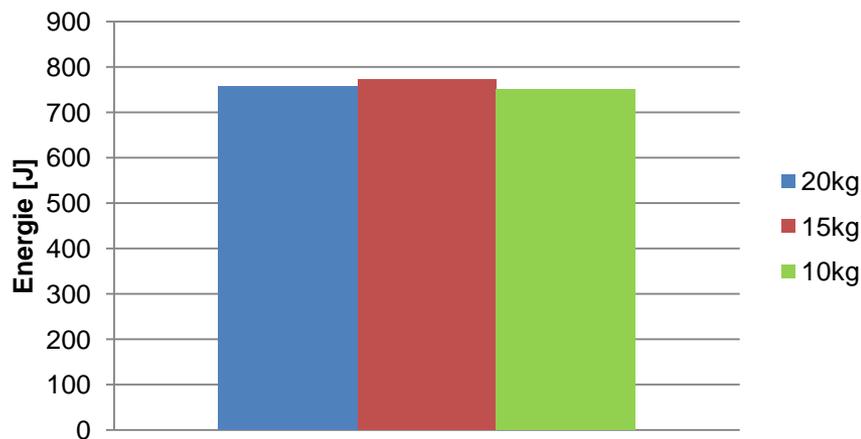
## Hubzeit DGCI horizontal



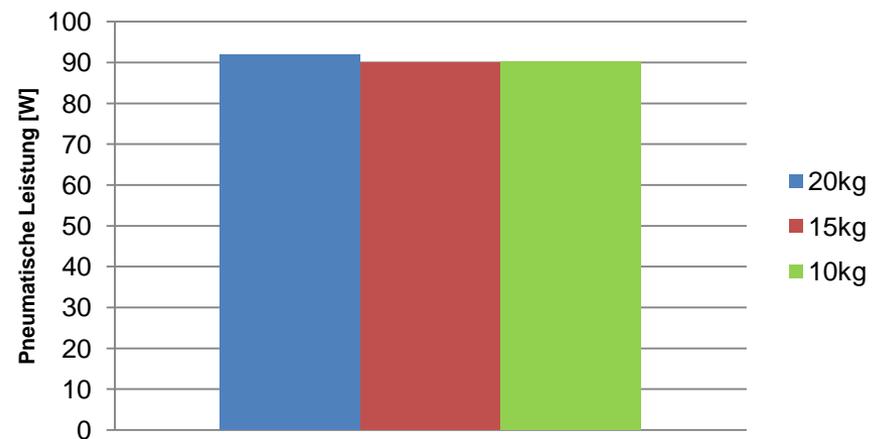
## Grundlast DGCI horizontal



## Energie für Hub DGCI horizontal



## Leistung über Hub DGCI horizontal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

■ 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

■ 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

■ 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

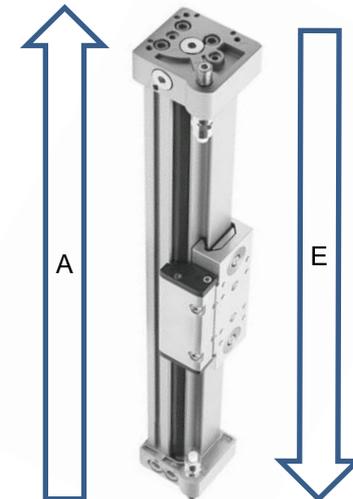
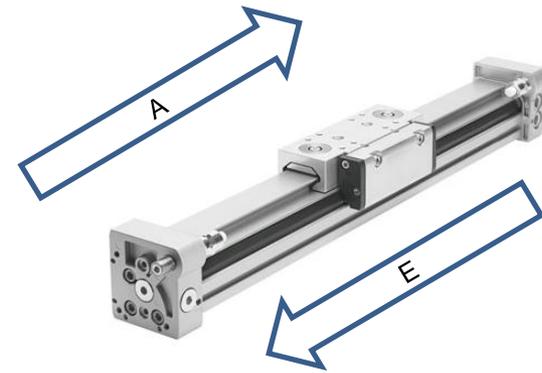
■ 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

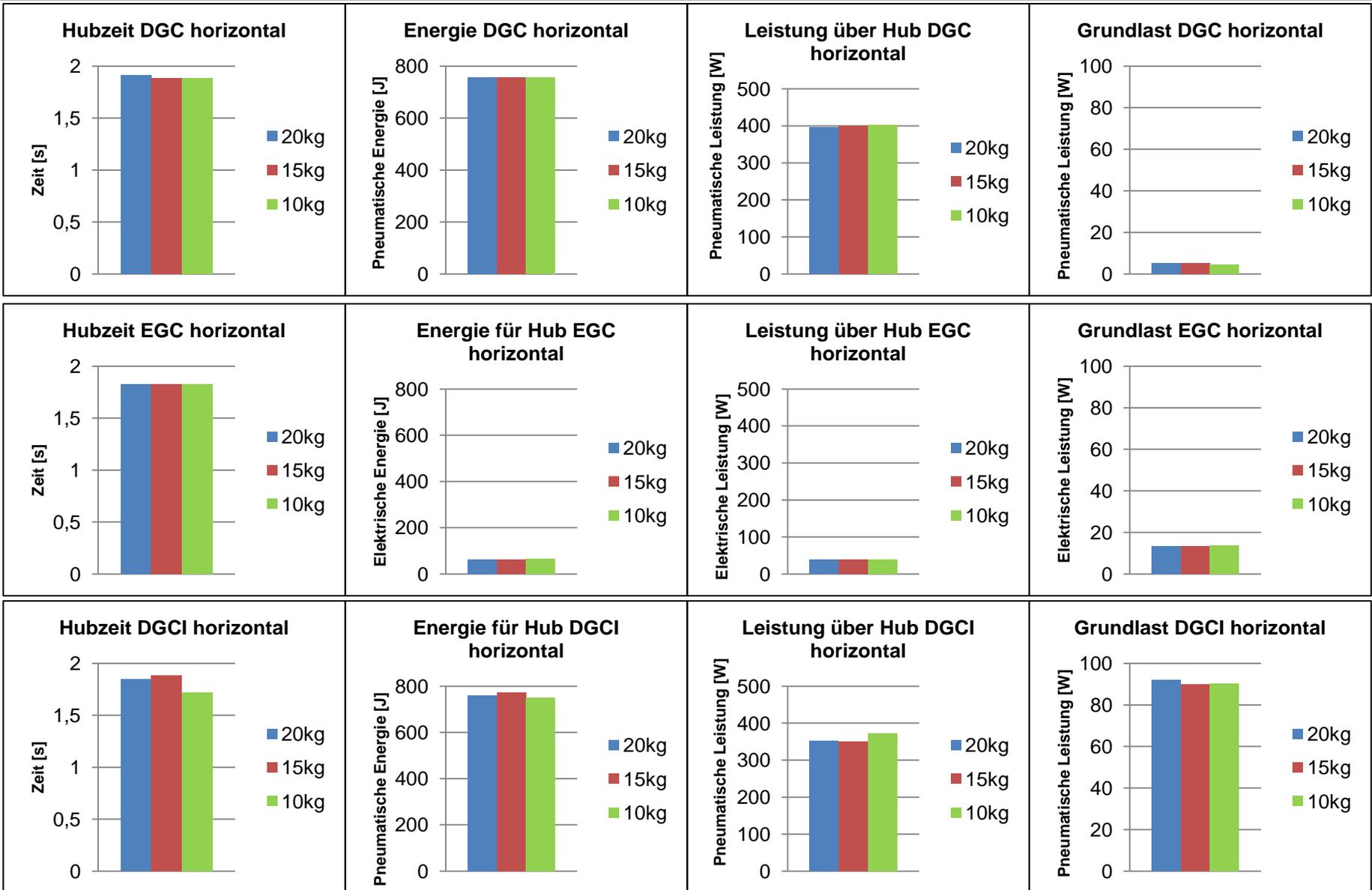
■ 10kg 15kg 20kg

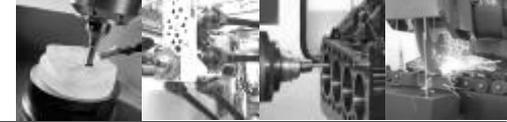
### ■ DGCI

■ 5kg 10kg



# Zusammenfassung horizontal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

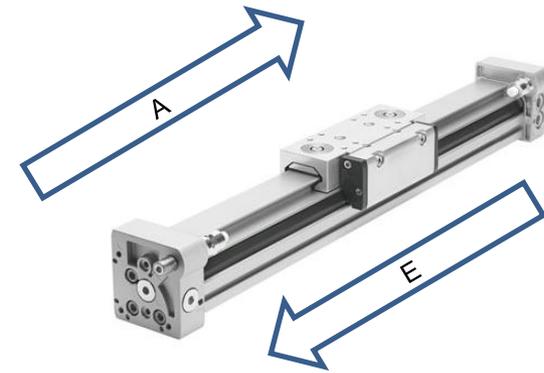
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg



## ■ Vertikal

### ■ DGC

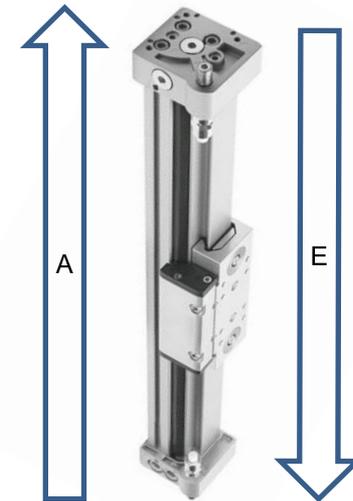
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

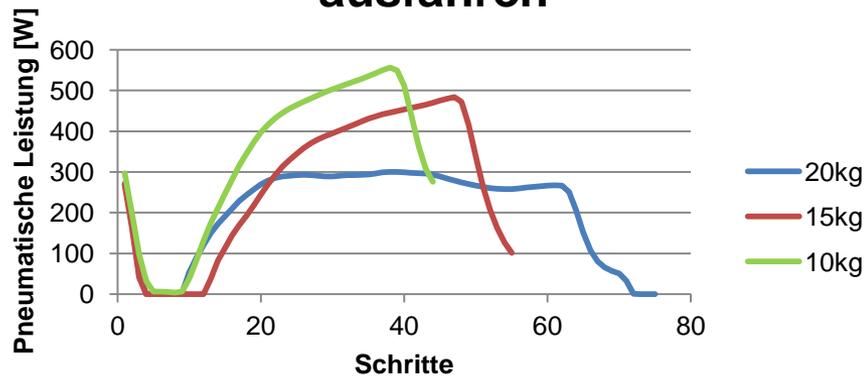
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

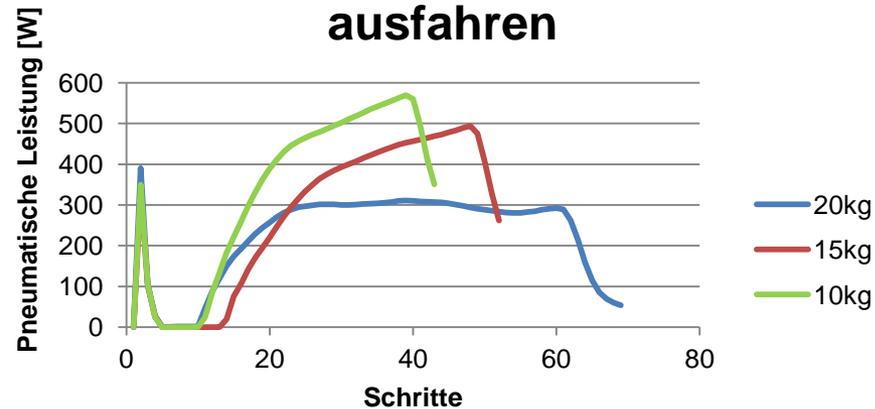




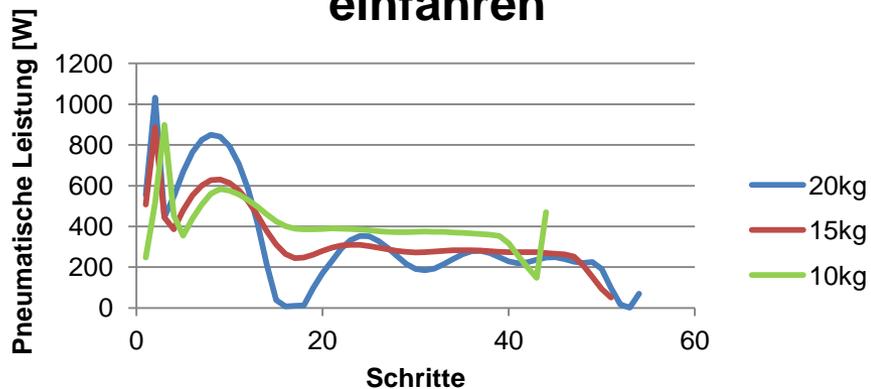
## Profil DGC vertikal Dauerlauf ausfahren



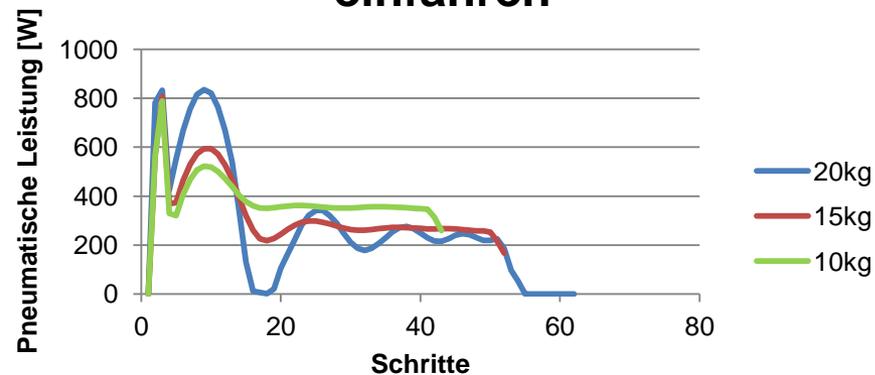
## Profil DGC vertikal Intervall ausfahren

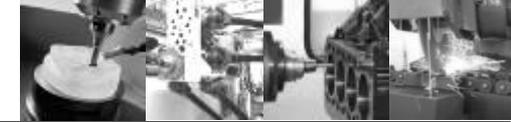


## Profil DGC vertikal Dauerlauf einfahren

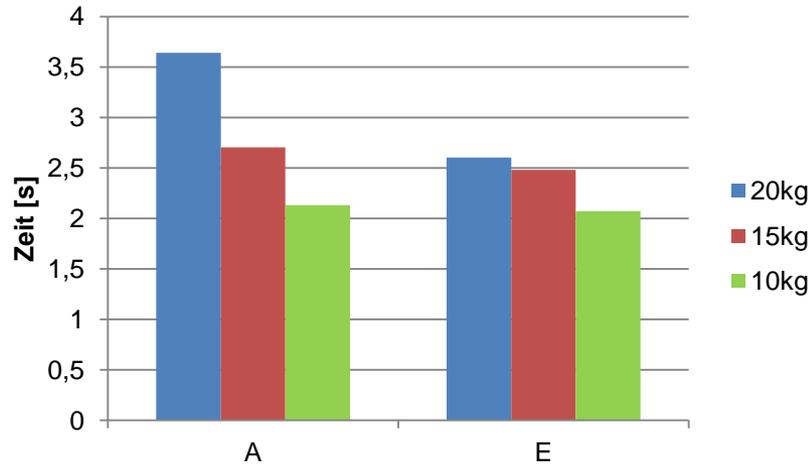


## Profil DGC vertikal Intervall einfahren

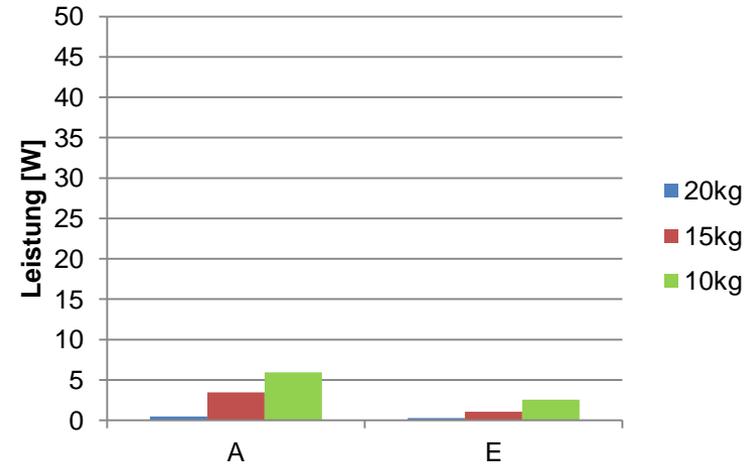




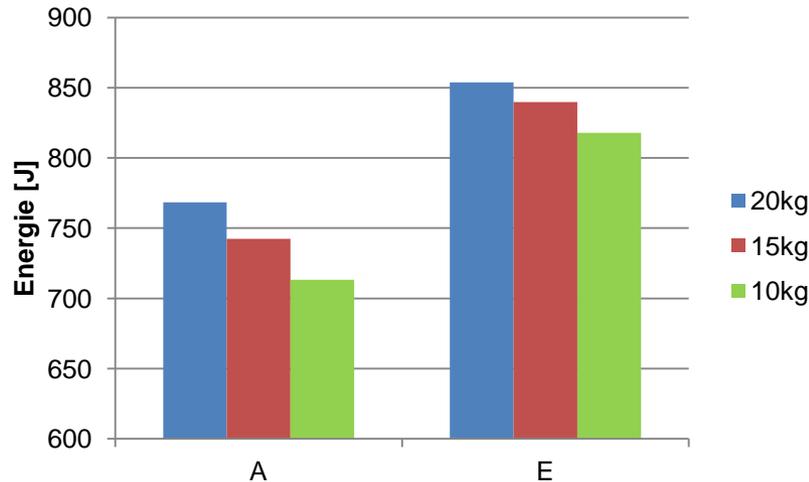
## Hubzeit DGC vertikal



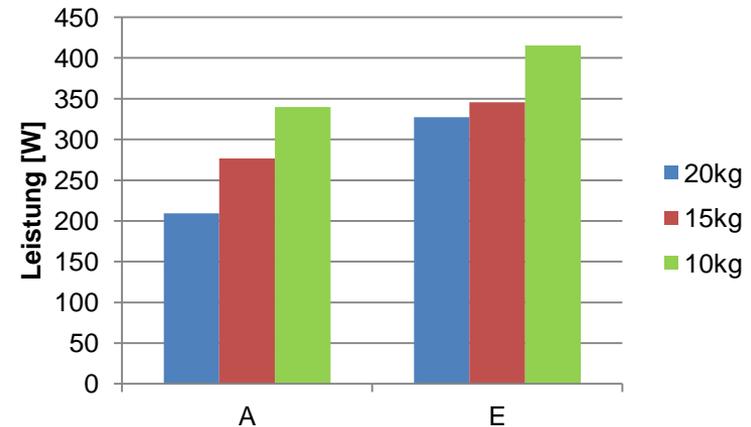
## Grundlast DGC vertikal



## Energie für Hub DGC vertikal



## Leistung über Hub DGC vertikal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

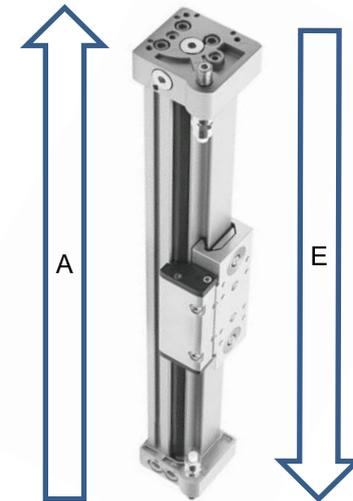
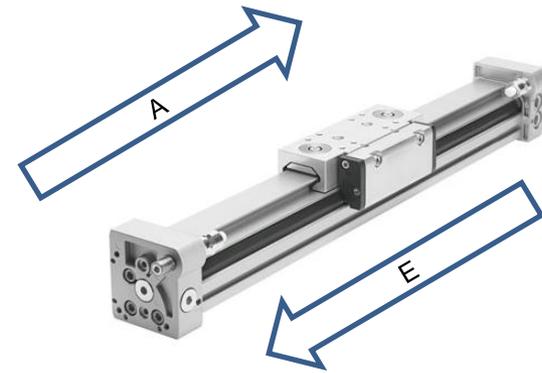
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

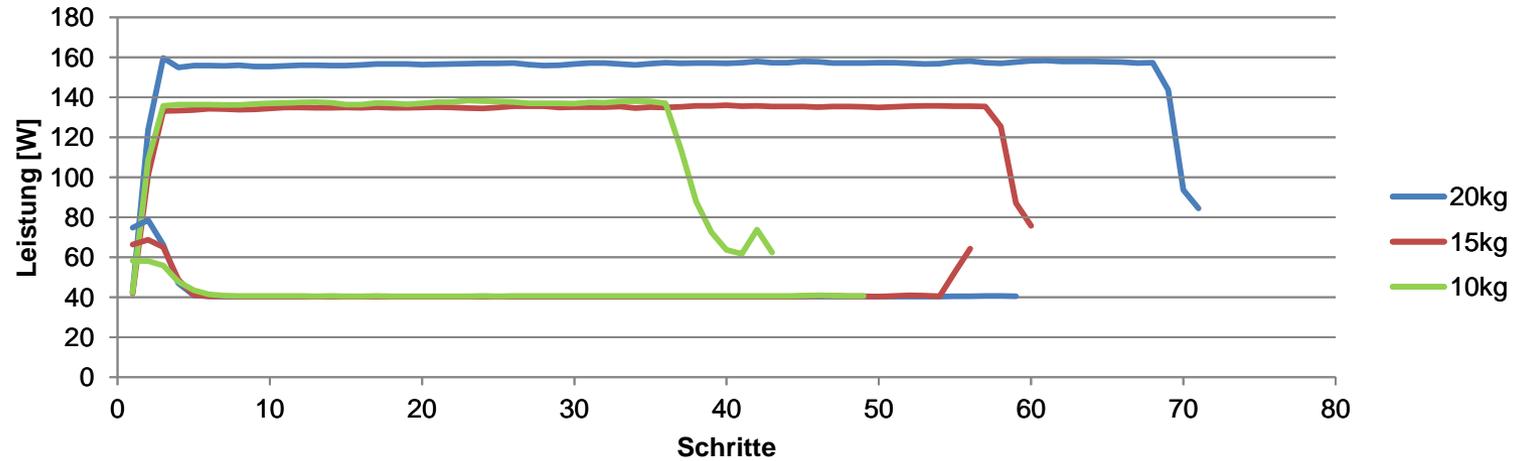
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

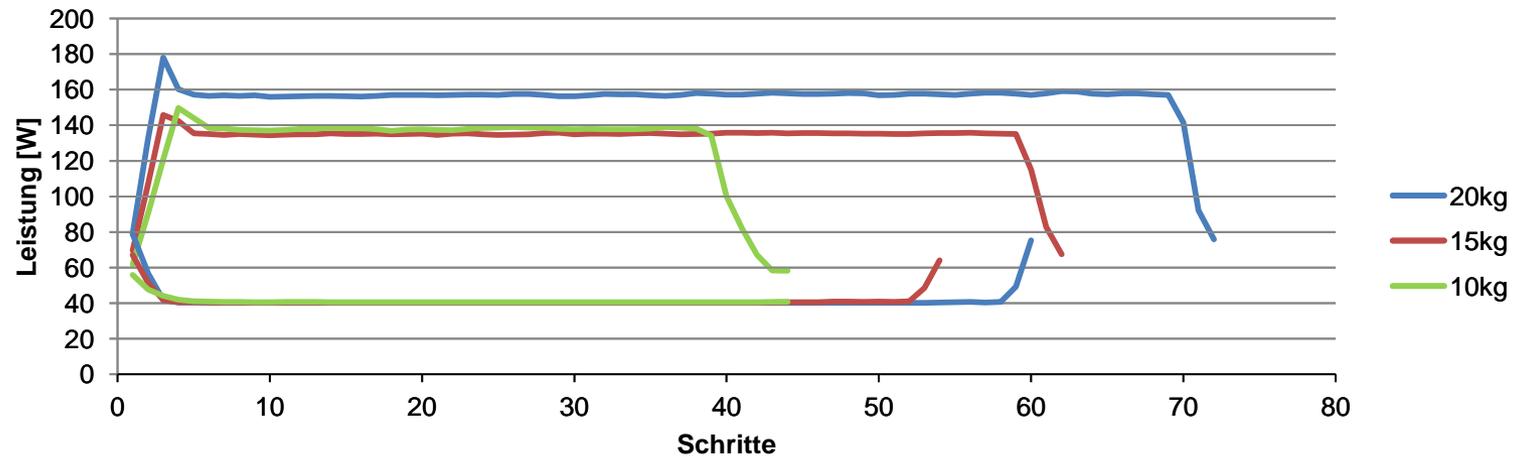




## Profil EGC vertikal Dauerlauf

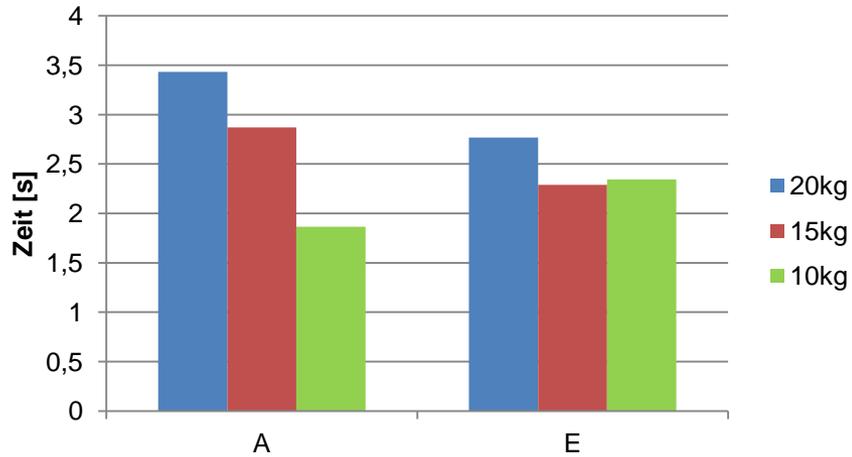


## Profil EGC vertikal Intervall

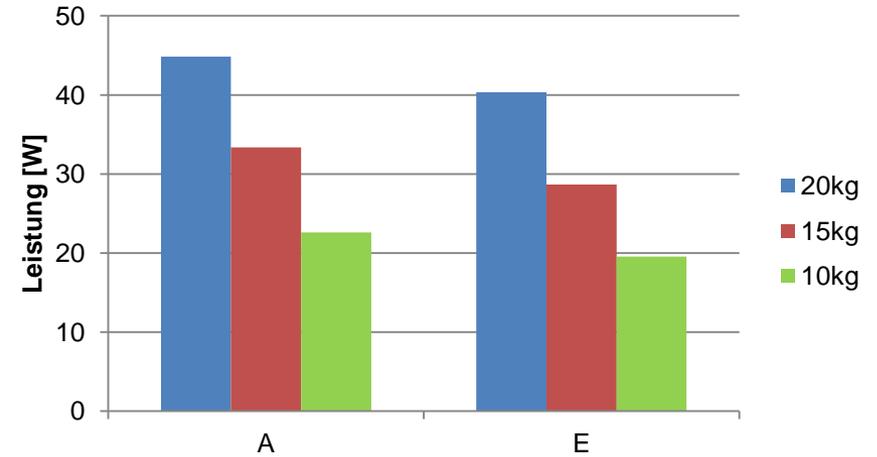




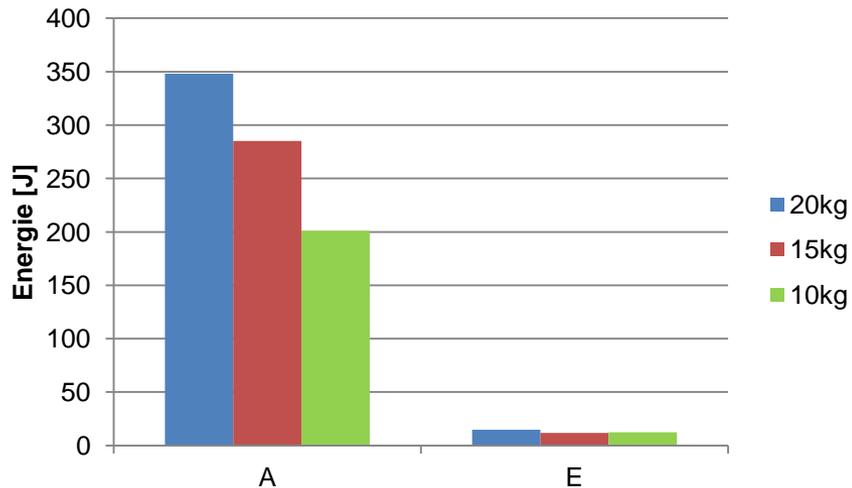
## Hubzeit EGC vertikal



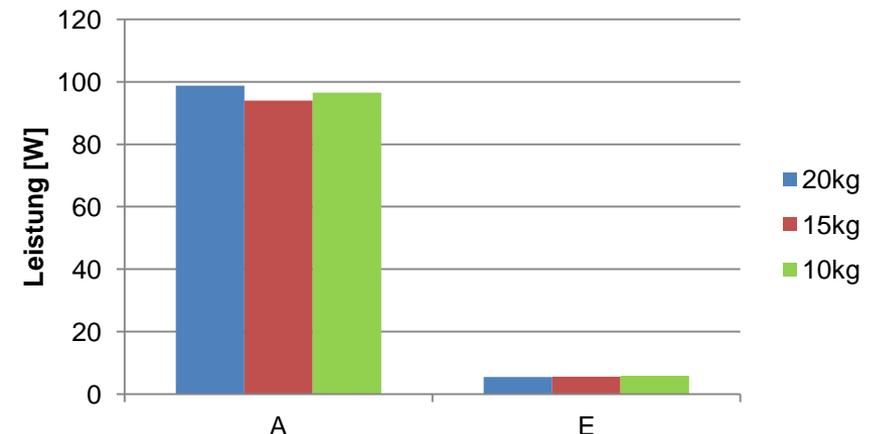
## Grundlast EGC vertikal



## Energie für Hub EGC vertikal



## Leistung über Hub EGC vertikal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

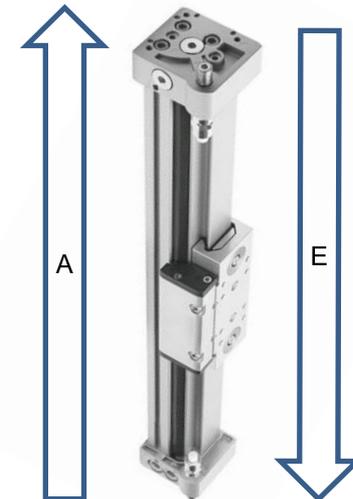
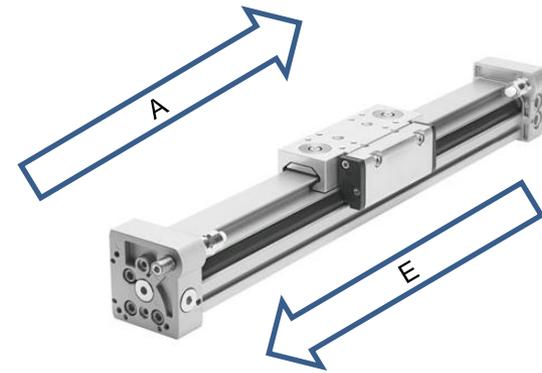
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

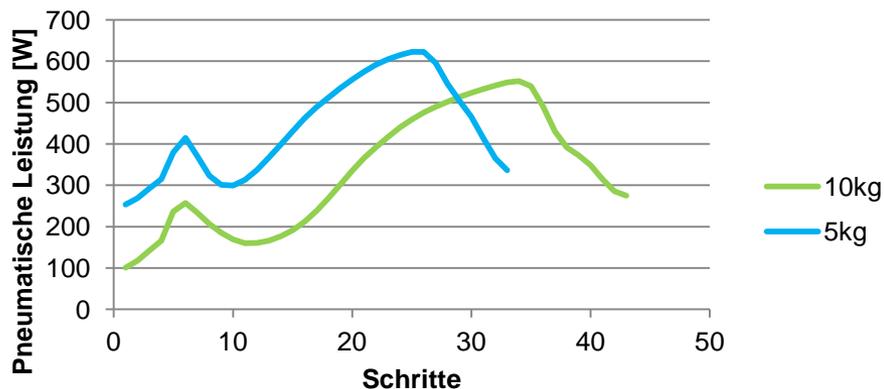
### ■ DGCI

- 5kg 10kg

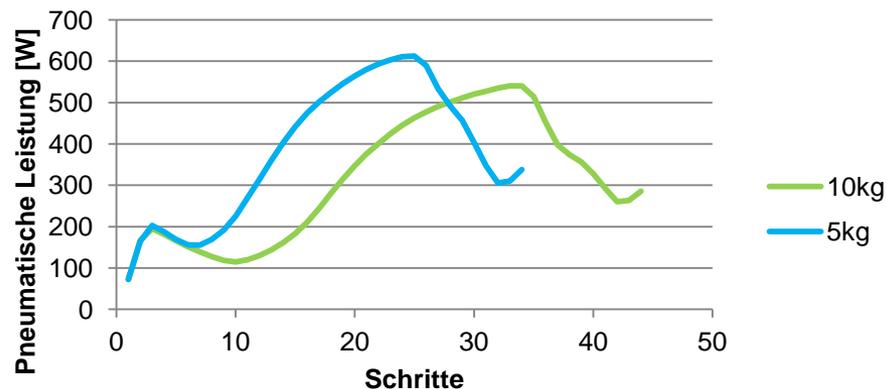




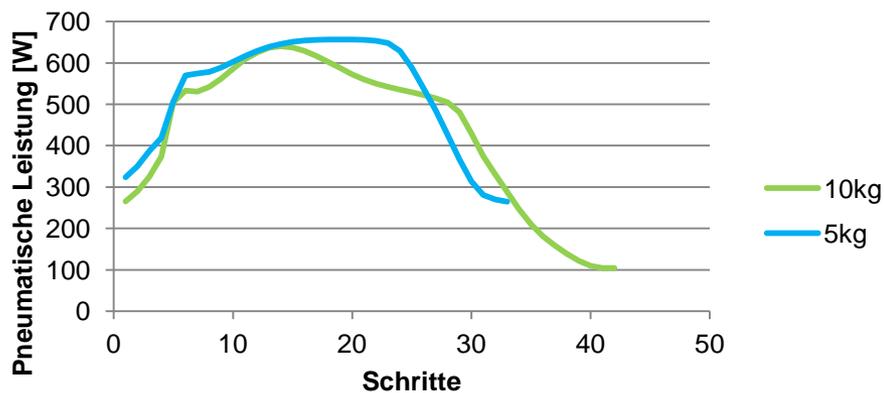
## Profil DGCI vertikal Dauerlauf ausfahren



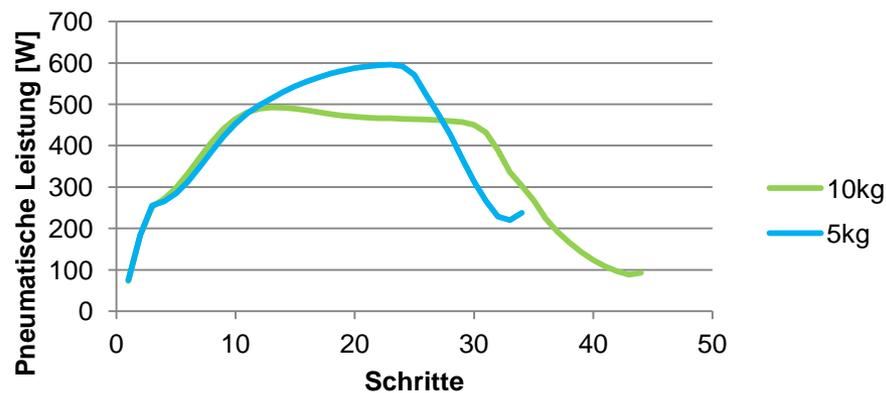
## Profil DGCI vertikal Intervall ausfahren

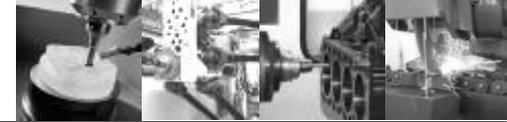


## Profil DGCI vertikal Dauerlauf einfahren

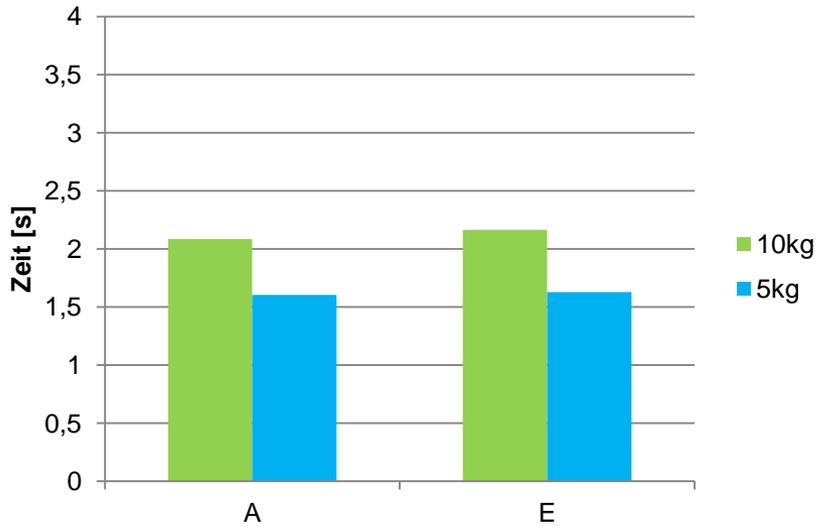


## Profil DGCI vertikal Intervall einfahren

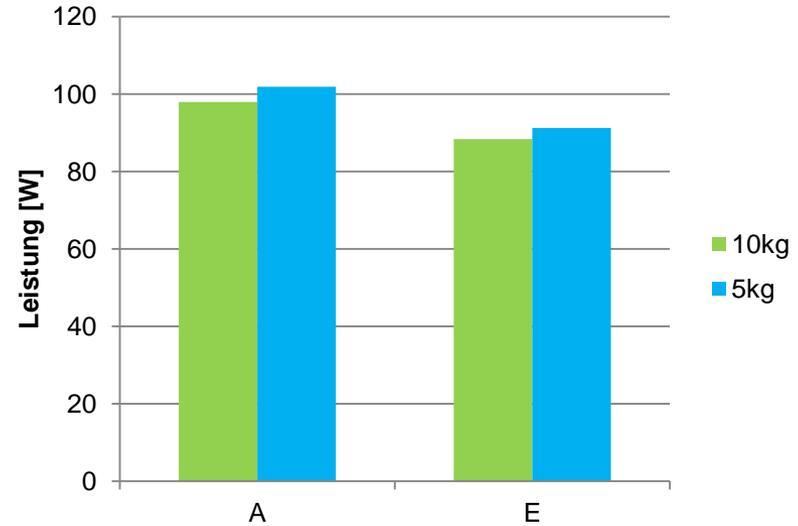




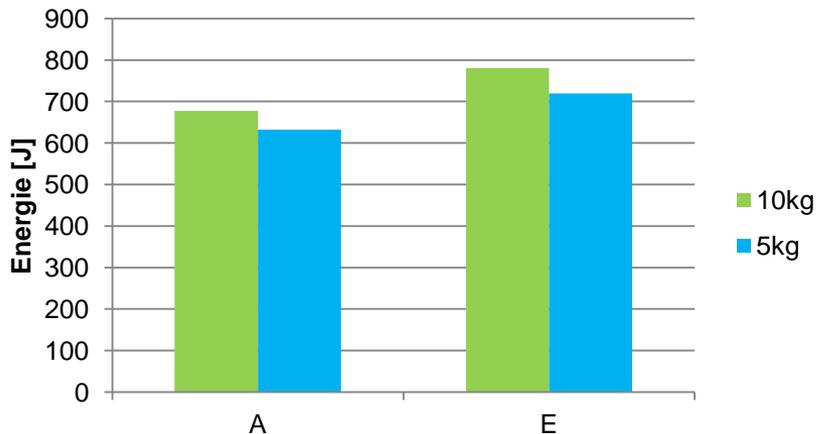
## Hubzeit DGCI vertikal



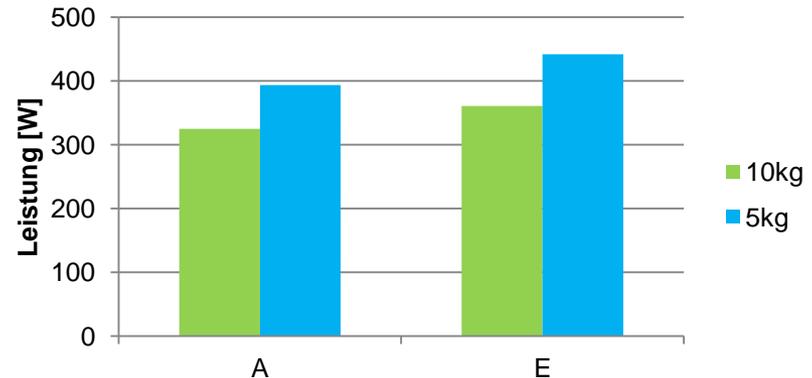
## Grundlast DGCI vertikal



## Energie für Hub DGCI vertikal



## Leistung über Hub DGCI vertikal





## ■ Horizontal

### ■ DGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 10kg 15kg 20kg

## ■ Vertikal

### ■ DGC

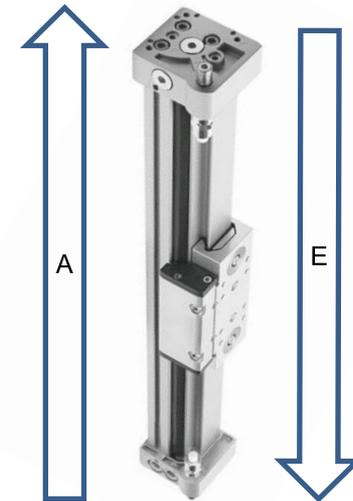
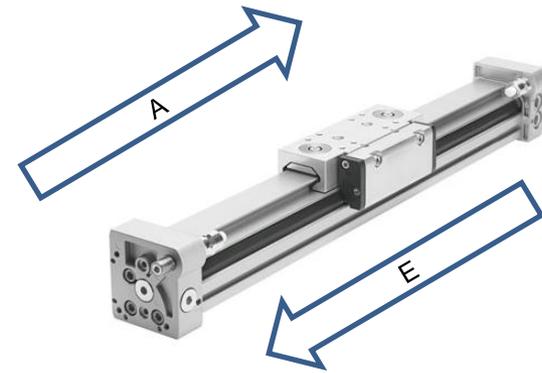
- 10kg 15kg 20kg

### ■ EGC

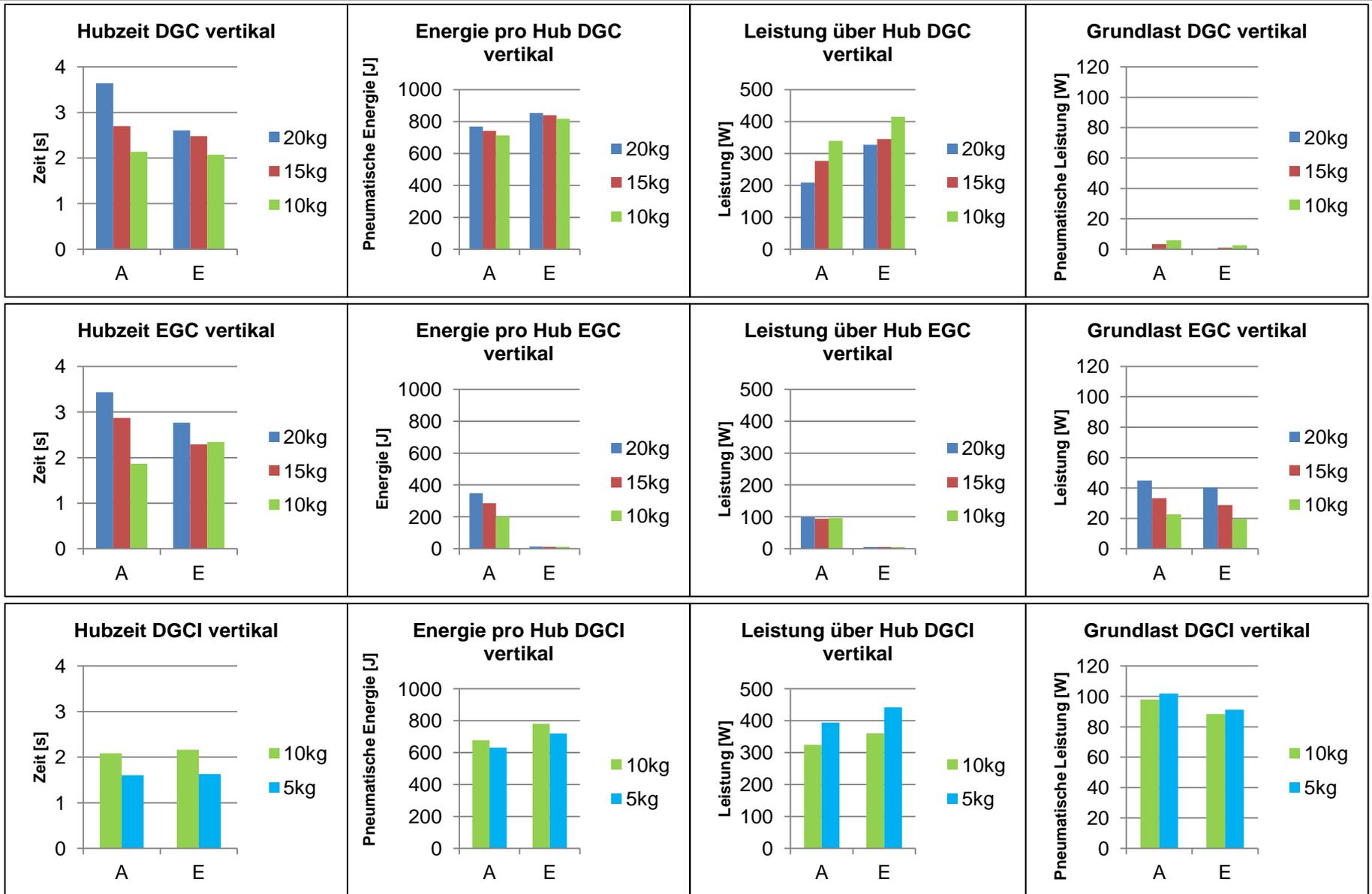
- 10kg 15kg 20kg

### ■ DGCI

- 5kg 10kg



# Zusammenfassung vertikal





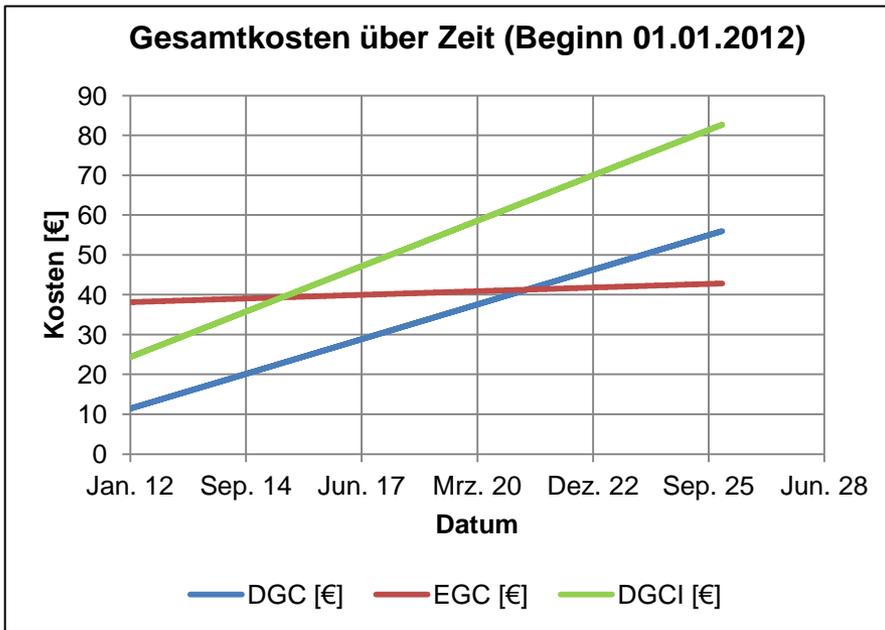
- 1 Aufgabenstellung
- 2 Vorgehensweise
- 3 Messtechnik und Messaufbau
- 4 Darstellung der Messungen
- 5 LCC-Analyse**



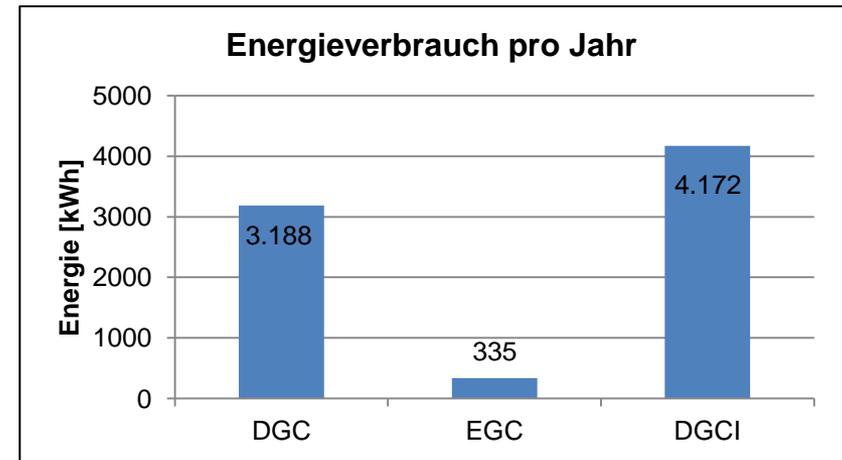
## ■ Aus den Ergebnissen der Messung wurde ein Excel-Tool entwickelt

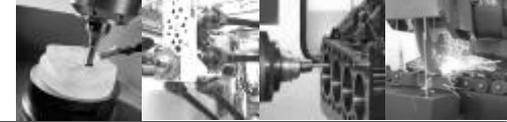
### ■ Beispiel

- Richtung                   vertikal
- Last                         10kg
- Anzahl Hübe           500 Hübe/Stunde
- Hubzeit                 4s
- 3-Schicht-Betrieb (keine Pausen)



| BREAK EVEN POINT      |            |                         |
|-----------------------|------------|-------------------------|
|                       | Hübe       | Tag (Beginn 01.01.2012) |
| Schnittpunkt DGC EGC  | 41.132.336 | 20.05.2021              |
| Schnittpunkt DGCI EGC | 15.751.411 | 05.08.2015              |





***Institut für Fertigungstechnik  
und Hochleistungslasertechnik***

Karlsplatz 13/311  
1040 Wien  
Austria



DI Thomas Flatz

Tel.: +43-(0)1-58801-31110

Fax: +43-(0)1-58801-131160

E-Mail: [flatz@ift.at](mailto:flatz@ift.at)

Homepage: <http://www.ift.at>