



IEA Technology Collaboration Programme  
on Energy Efficient End-Use Equipment

klimaaktiv



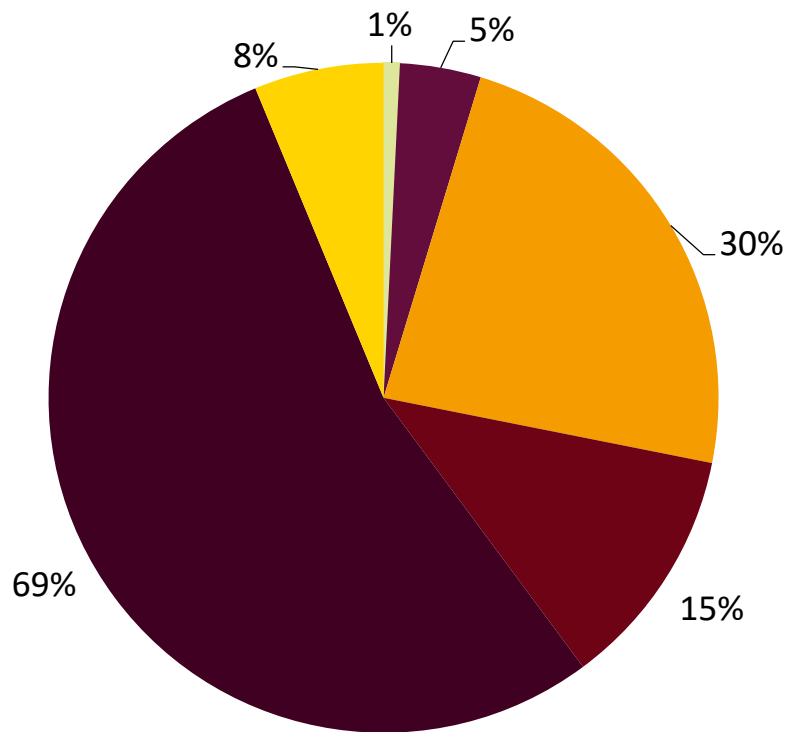
Electric Motor Systems  
EMSA

# Energieeffizienz & Industrie 4.0 in elektrischen Motorsystemen

Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur

- Allgemeine Einführung
- Kategorisierung von Industrie 4.0 Technologien
- Umfrage zu Digitalisierung, Energieeffizienz in elektrischen Motorsystemen
- Zwei Fallbeispiele

# Aufteilung Stromverbrauch Sachgüterindustrie

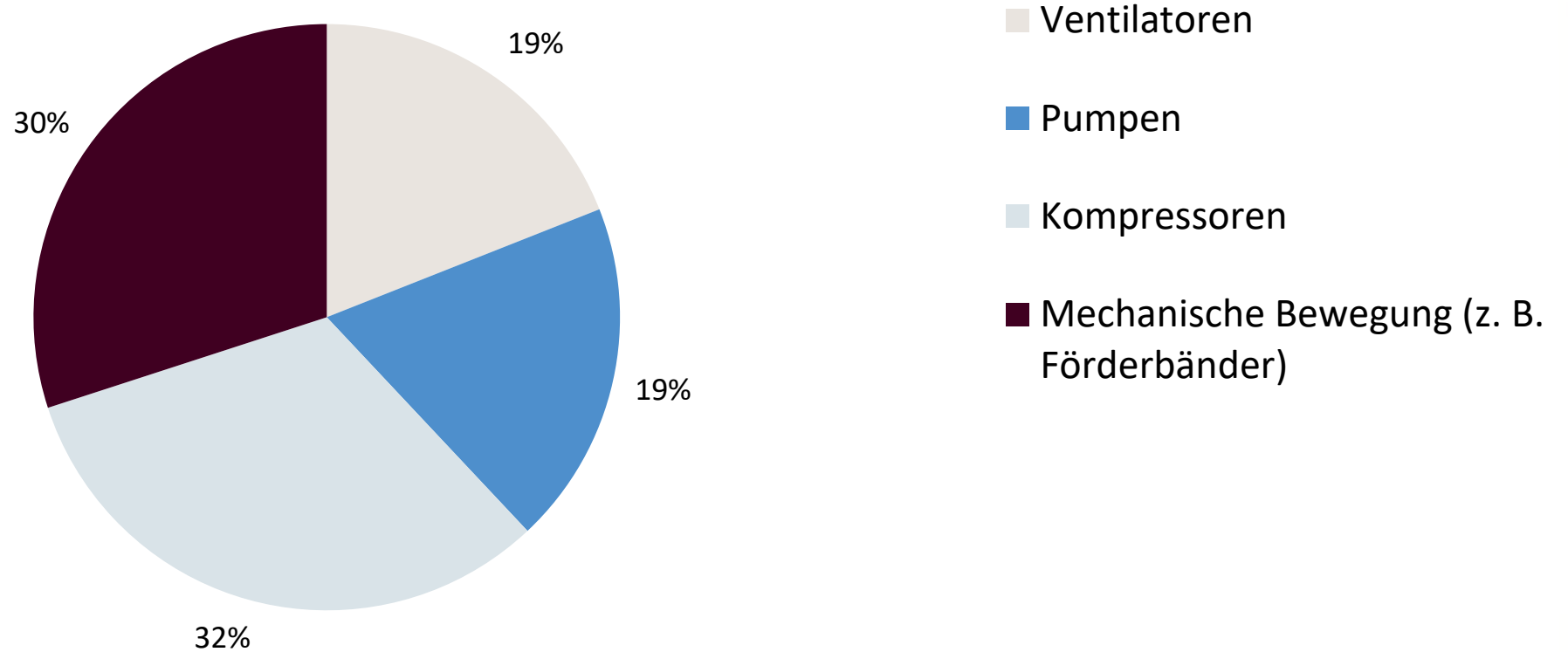


- Elektrochem. Zwecke
- Raumheizung und Klimaanlage
- Dampferzeugung
- Industrieöfen
- Standmotoren
- Beleuchtung und IT

Quelle: Nutzenergieanalyse für Österreich, Statistik Austria, 14.12.2018



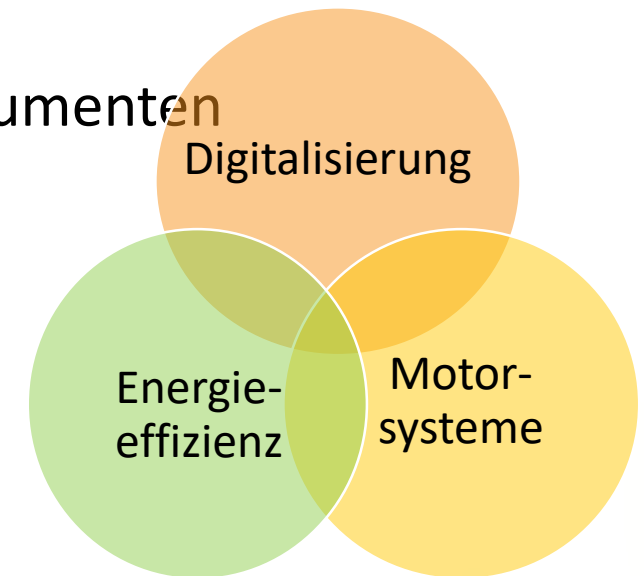
# Aufteilung Stromverbrauch nach Anwendung



Quelle: EuP Lot 30: Electric Motors and Drives, Task 2: Economic and Market Analysis, 3rd Draft, May 2013, Seite 6

# „New Industrial Developments“ – Leitung Österreich

- Kategorisierung von Technologien und Anwendungen- Effekte auf Energieverbrauch
- Sammlung von “Use Cases”
- Umfrage zu Vor-Nachteilen, Enablers, Barrieren
- Identifizierung von Empfehlungen zu politischen Instrumenten



# Digitale Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz im Motorsystem

## Communication between components

Sensors

Internet of Things

Intelligent control

## Analyse data & optimise operation

Data analytics (equipment level)

Data analytics (production line/company)

Real-Time Monitoring

## Technologies adding further advantages

Artificial Intelligence

Digital Twins

Cloud Based Services

Augmented Reality

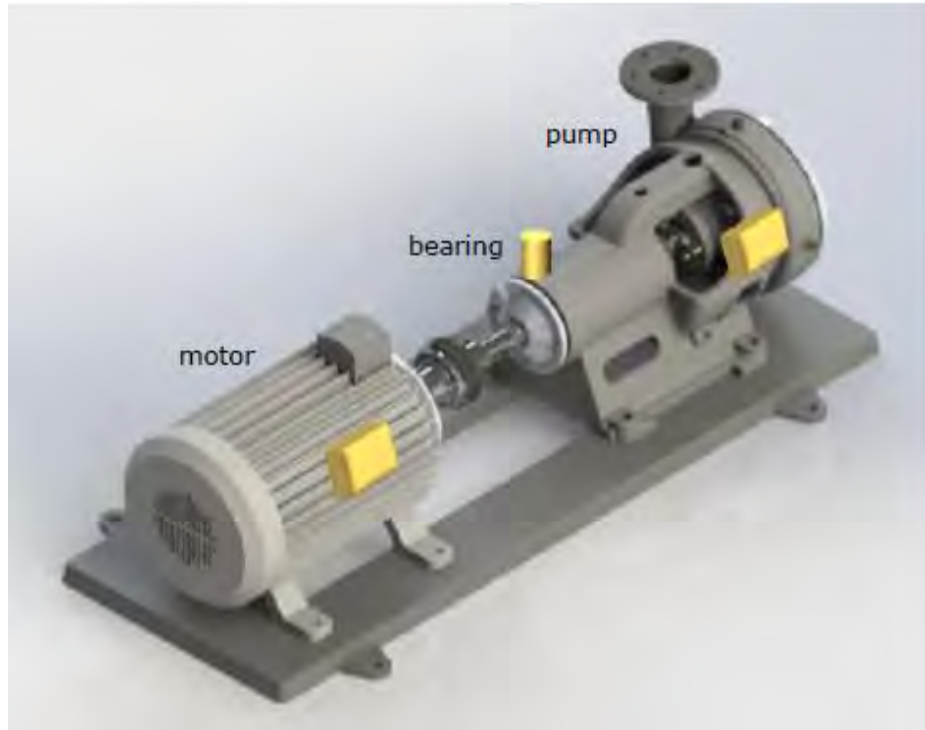
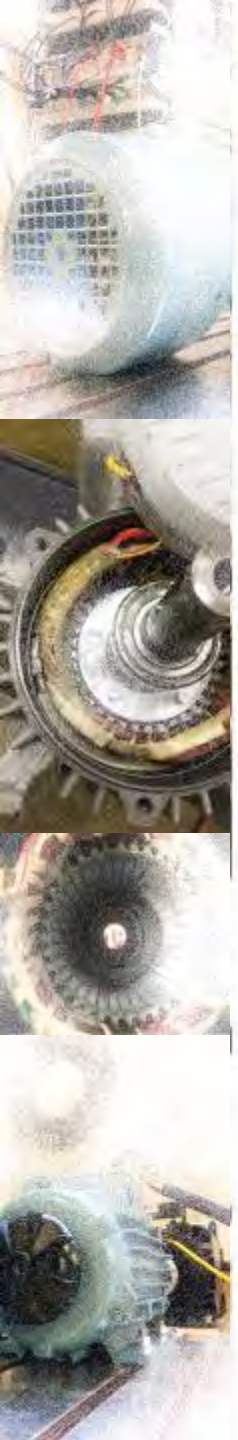
## Other relevant technologies

3D printing

Advanced Robotics

Drones

# Beispiele von Sensoren an Elektromotoren



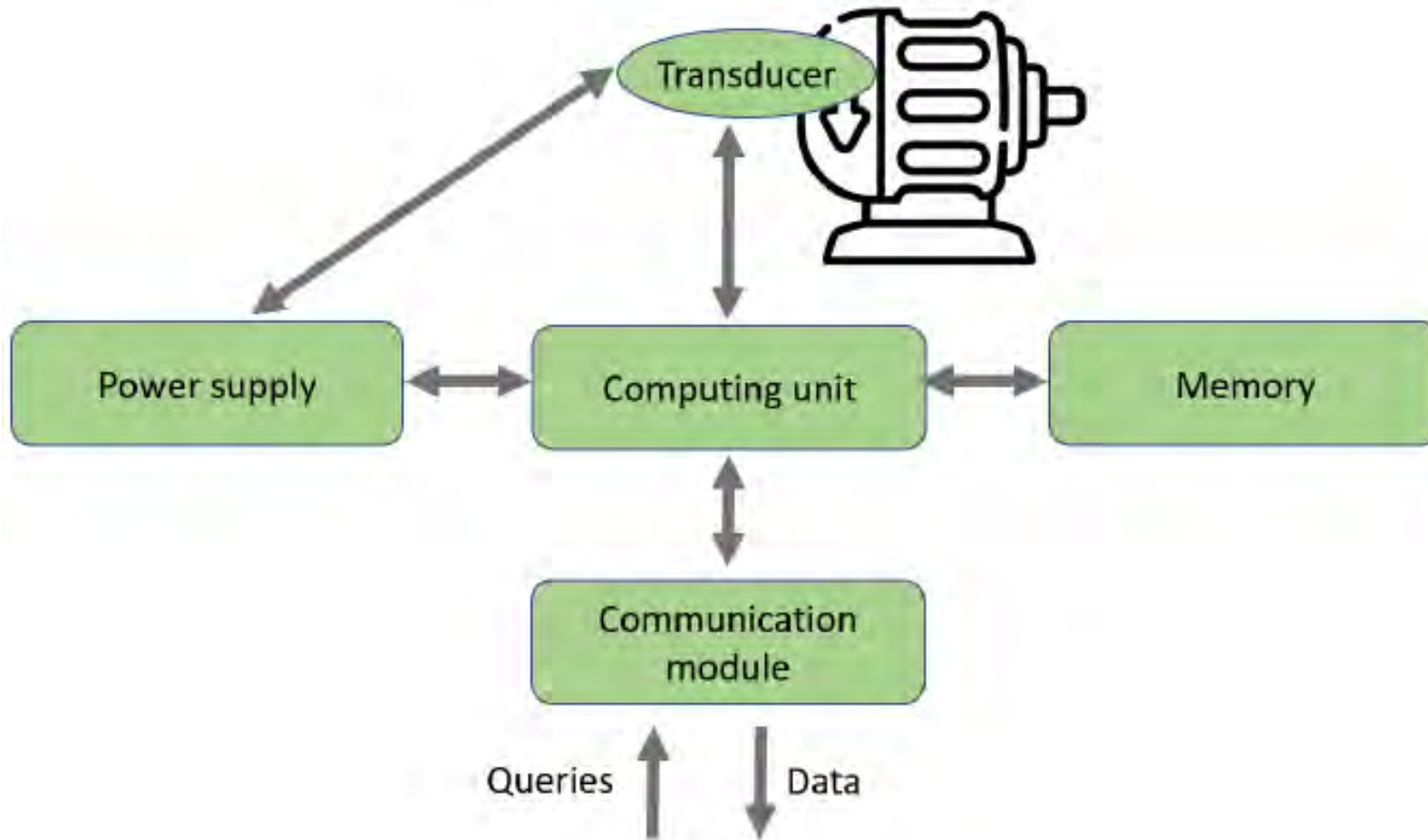
**Smart sensors auf Motor, Lager Pumpe**, in VHK and Viegand Maagøe, ICT Impact study, July 2020, p. 177  
Energieeffizienz & Industrie 4.0



**Triaxial Vibrationssensoren auf Ventilator, EBM – Pabst**, 2018 in VHK and Viegand Maagøe, ICT Impact study, July 2020, p. 177



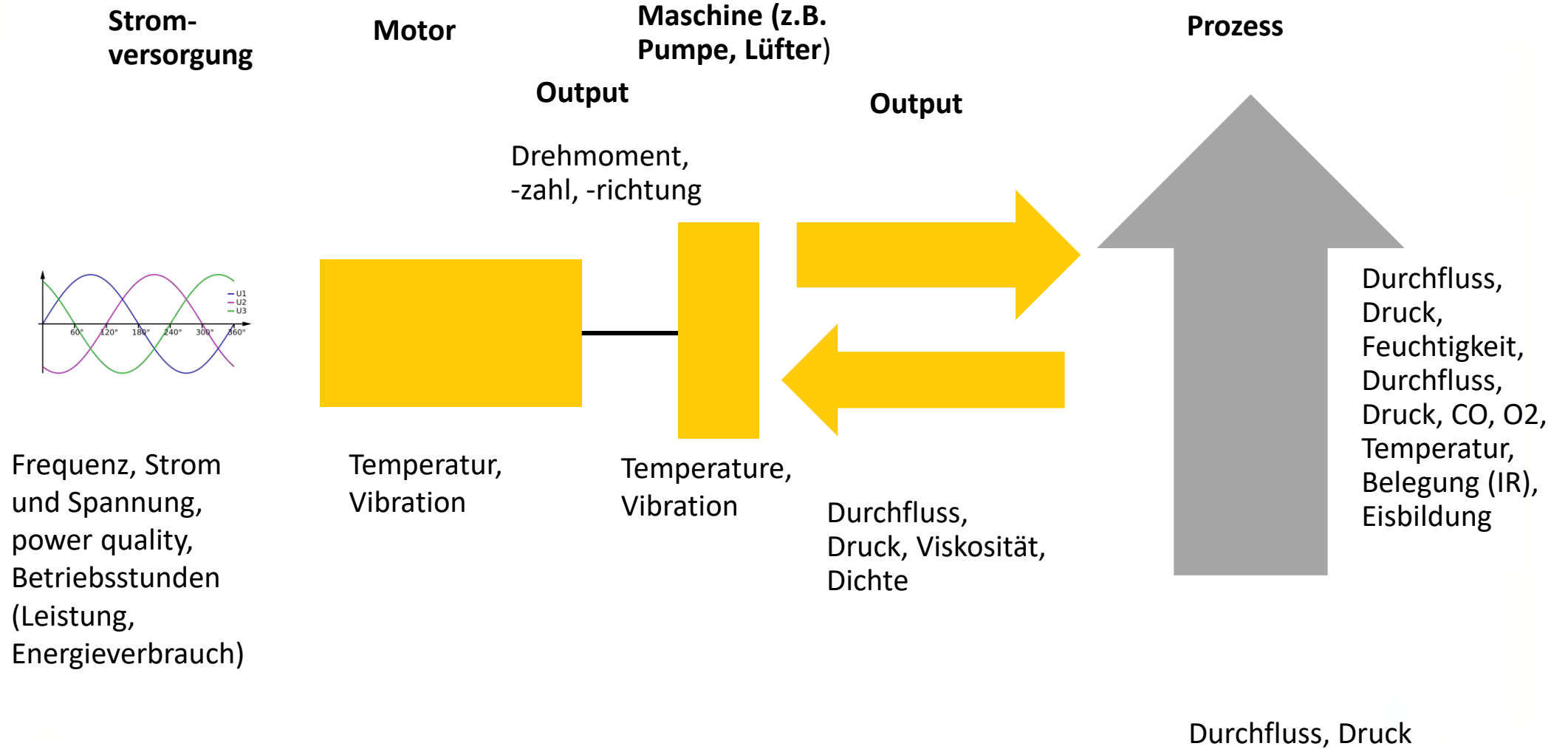
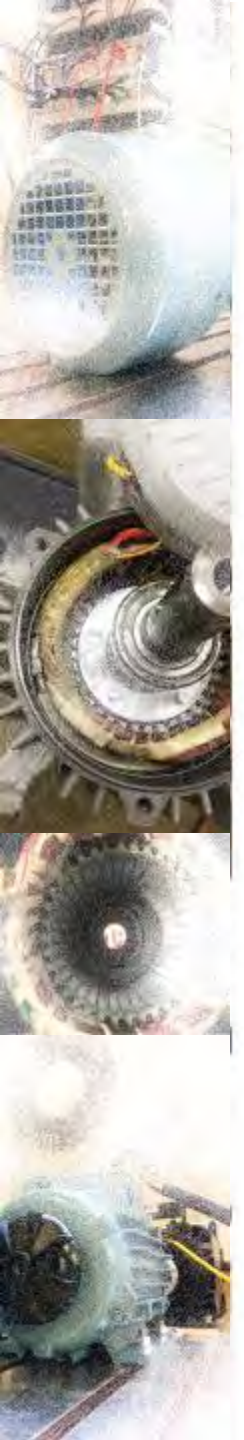
# Aufbau eines Sensors



Quelle: VHK and Viegand Maagøe, ICT Impact study, July 2020



# Beispiele für mögliche Sensoren und Zählern



# Energy savings by sensors (and AI) in other products – EU market

**Potential energy savings** of 50-100 TWh/year in EU industrial market, i.e. 5-10% of the electricity use for electric motors, pumps, fans, compressors in industry

Further savings on maintenance cost, production cost and production improvement

	Electric motors mln	Energy use TWh/yr	Savings		
			by sensors + functionalities implemented		
			%	TWh/yr	PJ/year
EU industrial motor stock	420-444	1294	5-10%	65-130	
Market for sensors *)	200				
25% already on the market	50			15-30	
75% market potential	150			50-100	380-760
<b>Savings potential -&gt;20% new inst.</b>			<b>5-10%</b>	<b>10-20</b>	<b>76-152</b>

\*) i.e. electric motors, pumps, fans, air compressors and bearings

Source: VHK and Viegand Maagoe, 2021

- **Definition:** Datenanalyse befasst sich im Allgemeinen damit, das Volumen, die Vielfalt, die Geschwindigkeit und die Richtigkeit von Daten in Aktionen und Erkenntnisse innerhalb eines Fertigungssystems umzuwandeln (Mittal et al., 2019)
- **Beschreibung:**
  - Unterschiedliche Quellen von Daten (Datenblatt, Typenschild, Steuerung, Instrumente an Maschine, auch Produktions-, Wetterdaten)
  - Datentransfer, Datenspeicherung, Datenanalyse, Data mining methods: (e.g. Clustering, Statistik, Künstliche Intelligenz Machine Learning- Algorithmen)



- **Anwendungen in Motorsystemen:**

- Analyse von Effizienzinformationen und Lastcharakteristika durch Messung elektrischer Verbrauch/Inputdaten
- Vorhersage zukünftiger Bedingungen basierend auf historischen Arbeitsmustern (da Silva et al., 2016)
- Verarbeitung, Analyse und Anzeige von gemessenen Pumpendaten, Gegenüberstellung mit der bekannten Pumpenkennlinie (Gomaa H., Mentel L., 2018)

- **Beispiele:**

- Condition monitoring: Analyse gemessener Daten von Strom und Spannung aus dem Motorschaltschrank
- Fehlererkennung durch selbstlernende Künstliche Intelligenz-Algorithmen, sobald sie entstehen

- **Effekte:** Erhöhung der Betriebszeit, Energieeffizienz und des OEE (overall equipment effectiveness). (Semioticlabs)

- **Anwendungen**

- Subzähler auf Maschinenebene
- Permanente Überwachung
- Automatisierte Bewertung der Energieeffizienz (KPIs)
- Intelligentes Break management (ZVEI, 2018)

- **Beispiele**

- Durch Simulation des Energiebedarfs einzelner Betriebszustände von Maschinen können Lastspitzen und Stand-By Verbrauch vermieden werden
- Anzeige von Energiedaten, z.B. für Druckluftkompressoren auf der 3. Ebene der Automatisierungspyramide. (z.B. Energieverbrauch, Abwärme durch Wärmerückgewinnung, Luftproduktion)

- **Definition:** Monitoring ist eine Aktivität, die manuell oder automatisch ausgeführt wird, um den tatsächlichen Betriebszustand einer Maschine zu beobachten/überwachen. (EN 13306) Echtzeit- oder Online-Überwachung beschreibt hauptsächlich die Online-Verarbeitung, Analyse und Visualisierung von Indikatoren zur Entscheidungsunterstützung, die aus dem Stromverbrauch einer Maschine abgeleitet werden (Emec, Krüger, Seliger, 2016)
- **Beschreibung:**
  - Kontinuierliche Analyse von Anlagen und Prozessen
  - Markierung, Anzeige, Meldung von Abweichungen
  - Vermeidung von falschen Einstellungen, fehlerhaftem Betrieb, hoher Energieverbrauch
  - Elektromotoren: Messung elektrischer Parameter, Ableitung weiterer Informationen



- **Anwendung in Motorsystemen:**
- **Trockenlaufschutz:** Überwachung des Pumpenstatus über Leistungsaufnahme Motor , Abschalten bei Unterschreitung festgelegten Werts
- **Pumpenreinigung:** Überwachung Motorstroms, Erkennen verschmutzter Pumpen, Selbstreinigung durch Drehrichtungsänderung (Siemens, 2019).
- Frequenzumrichter registrieren :Ungenügende Schmierung, Verstopfte Luftfilter, Fouling an Pumpen, und Rohren, abgenutzte Getriebe (Hanigovszki, 2018).
- Druckluftkompressoren: Überwachung Verdichtungsendtemperatur, Drucktaupunkt oder Differenzdrücke: Betrieb im optimalen Bereich (Kaeser, 2019).

# Artificial Intelligence – Künstliche Intelligenz

- “Künstliche Intelligenz versucht, eine menschenähnliche kognitive Intelligenz zu schaffen, die in der Lage ist, selbst zu lernen und Probleme zu lösen. “ (Hofmann et al.: White paper: Digitalization in Industry, p 9)
- Beispiel: Tiefe neuronale Netze -hoher Rechenaufwand, große Trainingsätze, +Lernen sehr abstrakter Beziehungen
- Anwendung: AI für bedarfsgerechte Optimierung von Wartungsintervallen.
  - Der Wartungszeitpunkt wird anhand des Verschleißes der Geräte bestimmt.
  - Die KI überwacht kontinuierlich Maschinen- und Prozessparameter und signalisiert Wartungsanforderungen entsprechend dem Zustand der einzelnen Komponenten.
  - Überwachte Parameter können auch mit Bildverarbeitungsanwendungen generiert werden



- Unterstützung der Arbeiter: Videobasierte Arbeits-, Wartungs- und Sicherheitsanweisungen, Visualisierung komplexer Arbeitsschritte und -anweisungen, Darstellung von Infrastrukturen wie z.B. Rohrleitungen, Scannen und Identifizieren fehlerhafter Komponenten, Fernanleitung von Nachwuchskräften vor Ort
- Weitere Anwendungen: Überwachung und Wartung, Anlagenplanung und Inbetriebnahme, Echtzeit-Analytik und Ergebnisdarstellung, Schulung

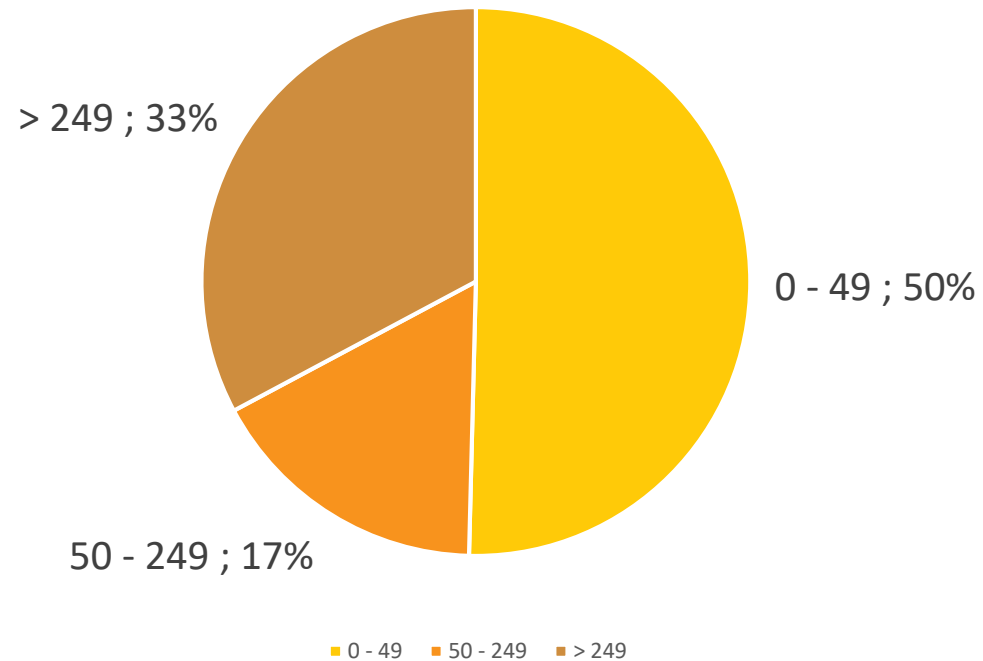


- Die KSB Service GmbH bietet Serviceunterstützung für Pumpen via Augmented Reality an.
- Zur Planung eines Druckluftverteilungssystems und eines angeschlossenen, effizienten Kompressorraums
- Virtuelle Begehungen/Energieaudits wurden bereits durchgeführt
- AR in Verbindung mit den relevanten Daten kann bei Energieaudits eingesetzt werden, um die relevantesten energieverbrauchenden Geräte und deren relevante technische Informationen zu scannen

# EMSA Umfrage zu Digitalisierung in elektrischen Motorsystemen

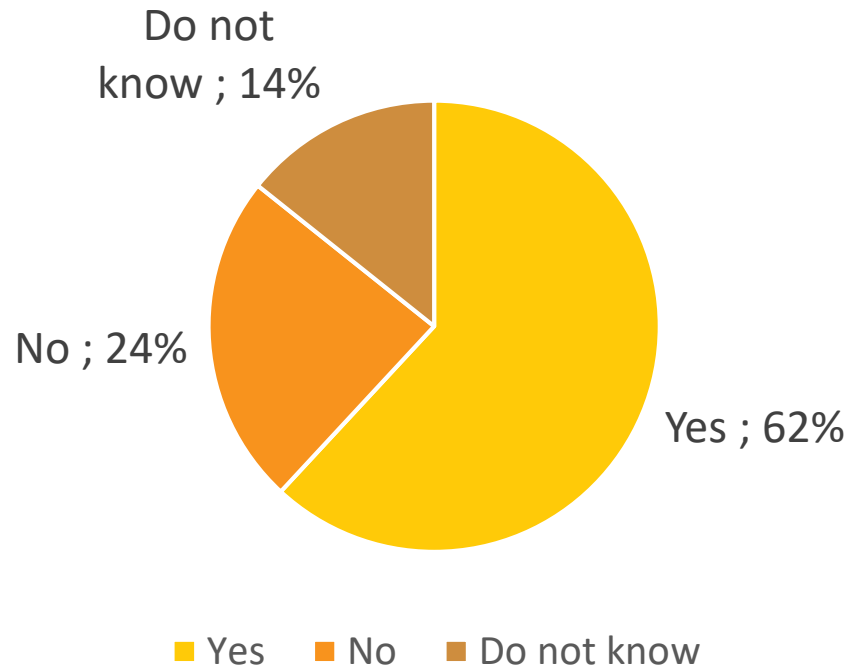
68 vollständig ausgefüllte Fragebögen (Juni-Oktober 2020), Austrian bias (35-40)

Size of companies (n = 125)

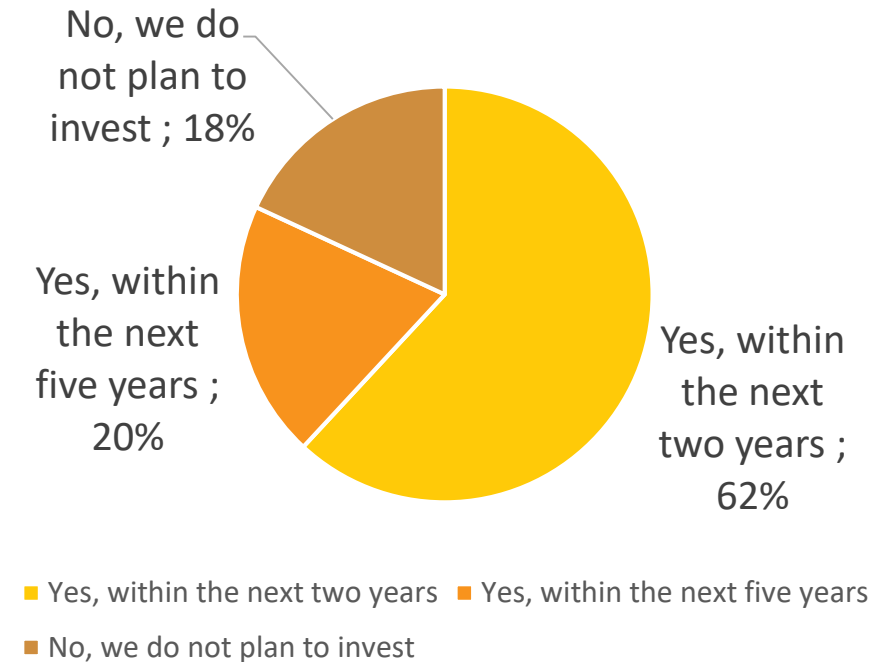


# Strategie und geplante Investitionen

Strategy to become more digitalised (n = 105)

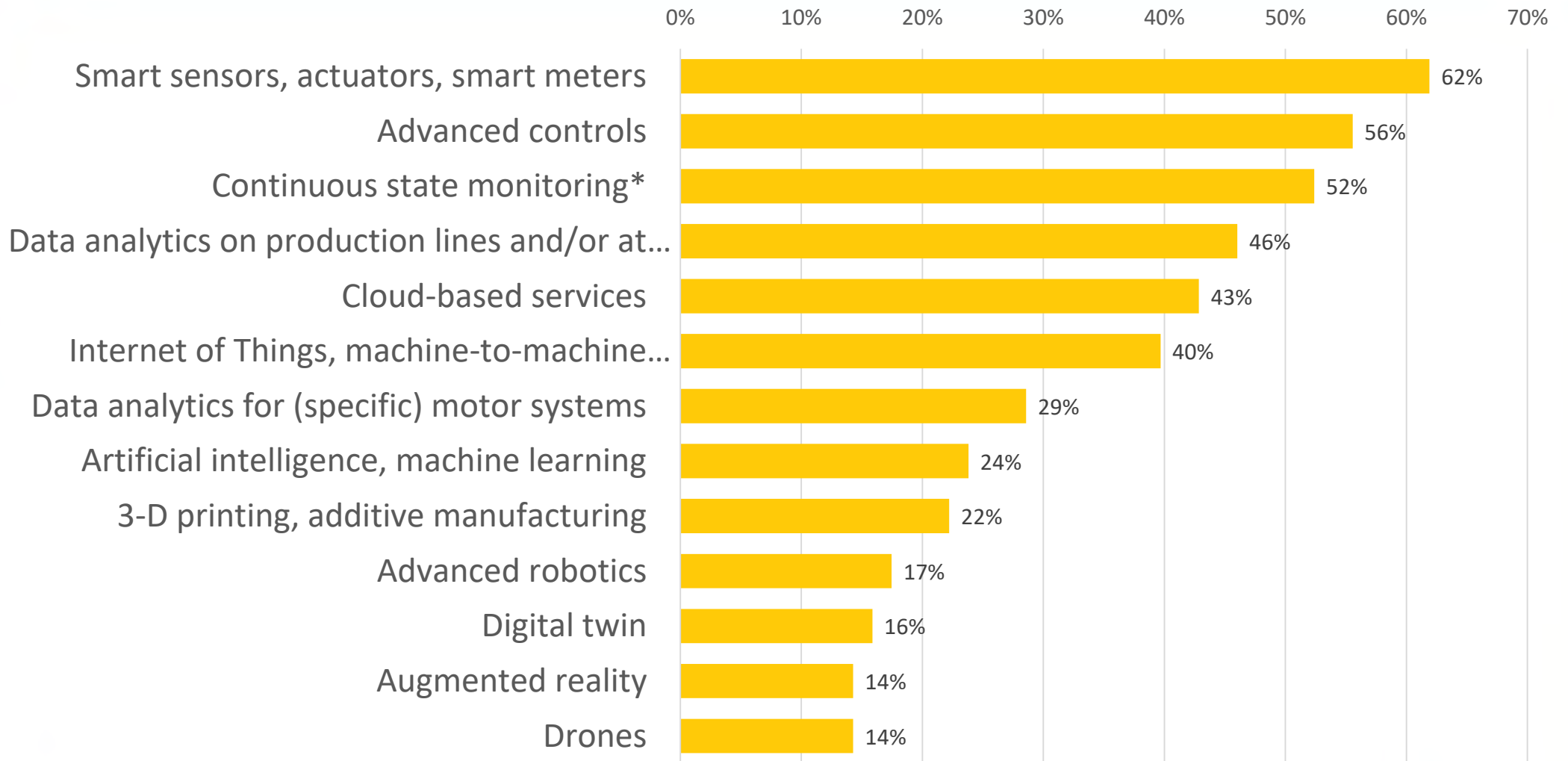


Plan to invest in digitalisation technologies (n = 105)

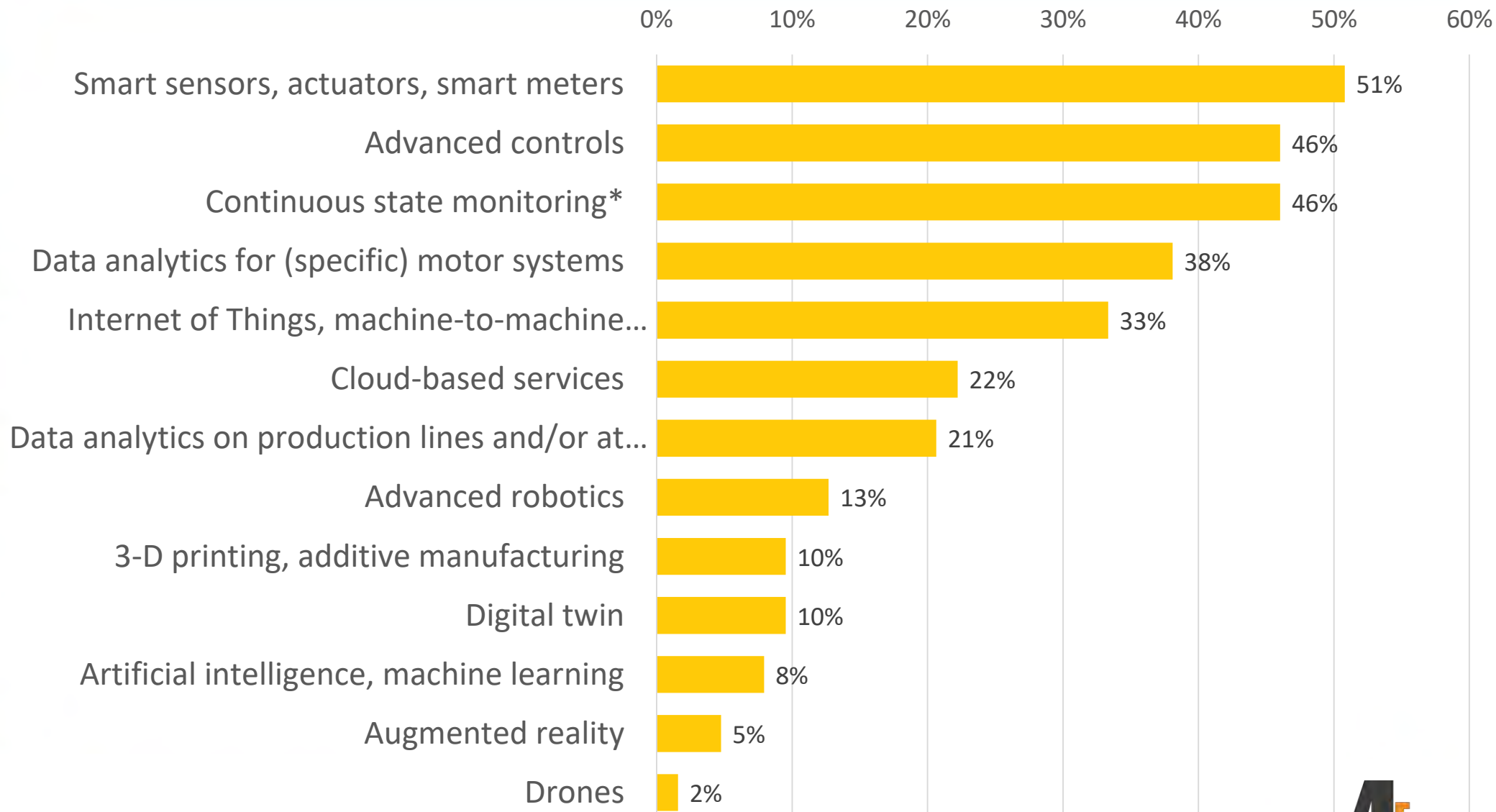




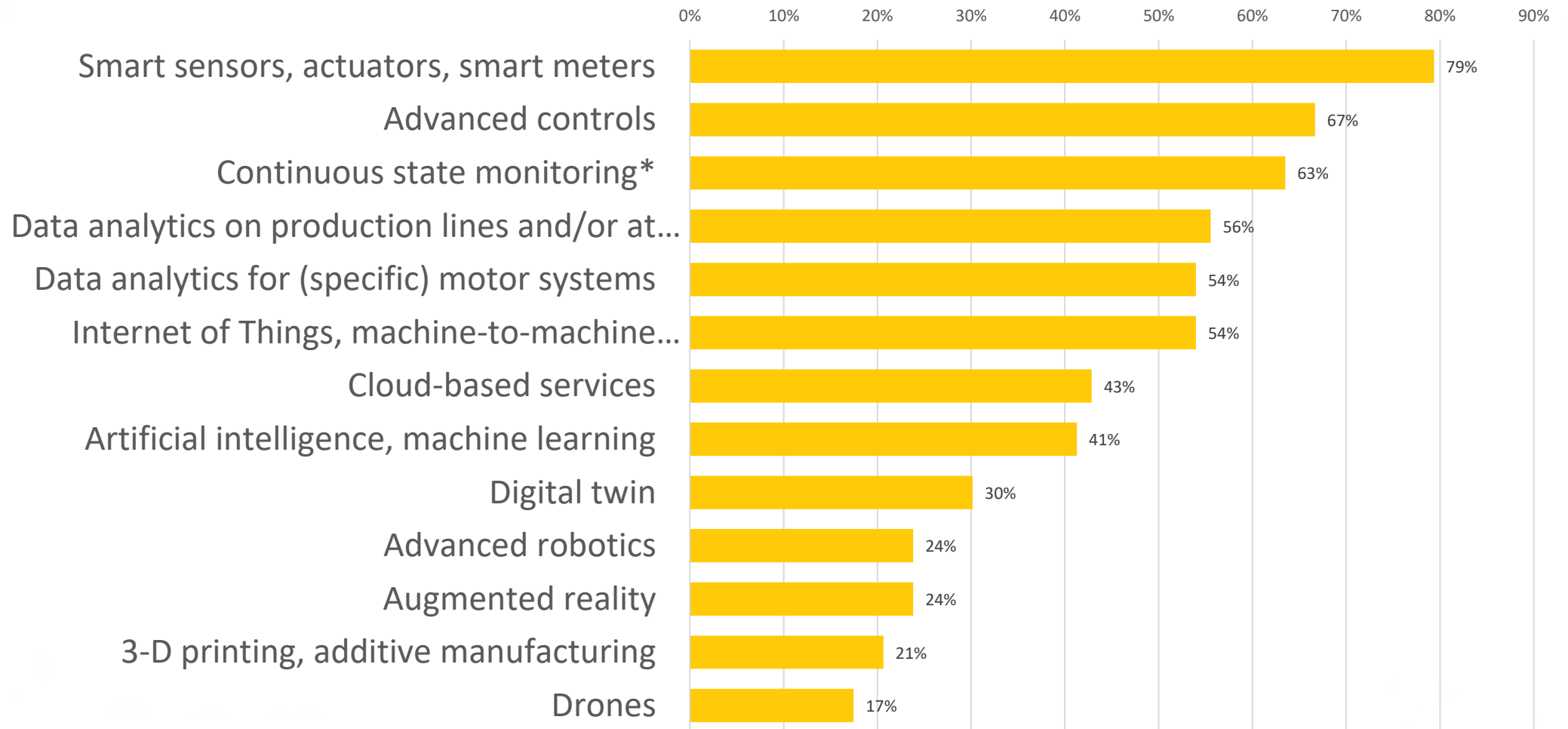
# Wenden Sie diese Technologie in Ihrer Organisationen oder Produkten an?



# Nutzen Sie diese Technologie in Zusammenhang mit Motorsystemen?

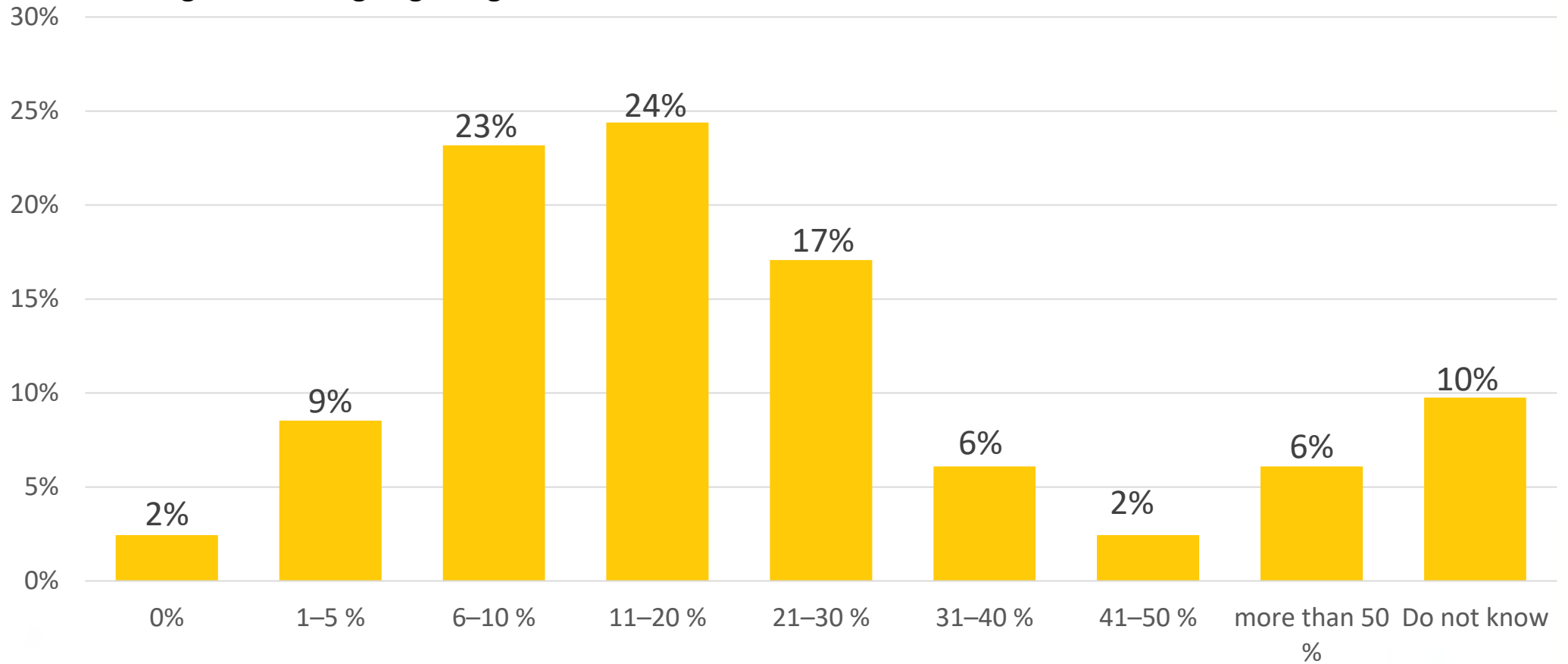


# Diese Technologie hilft, Energie zu sparen



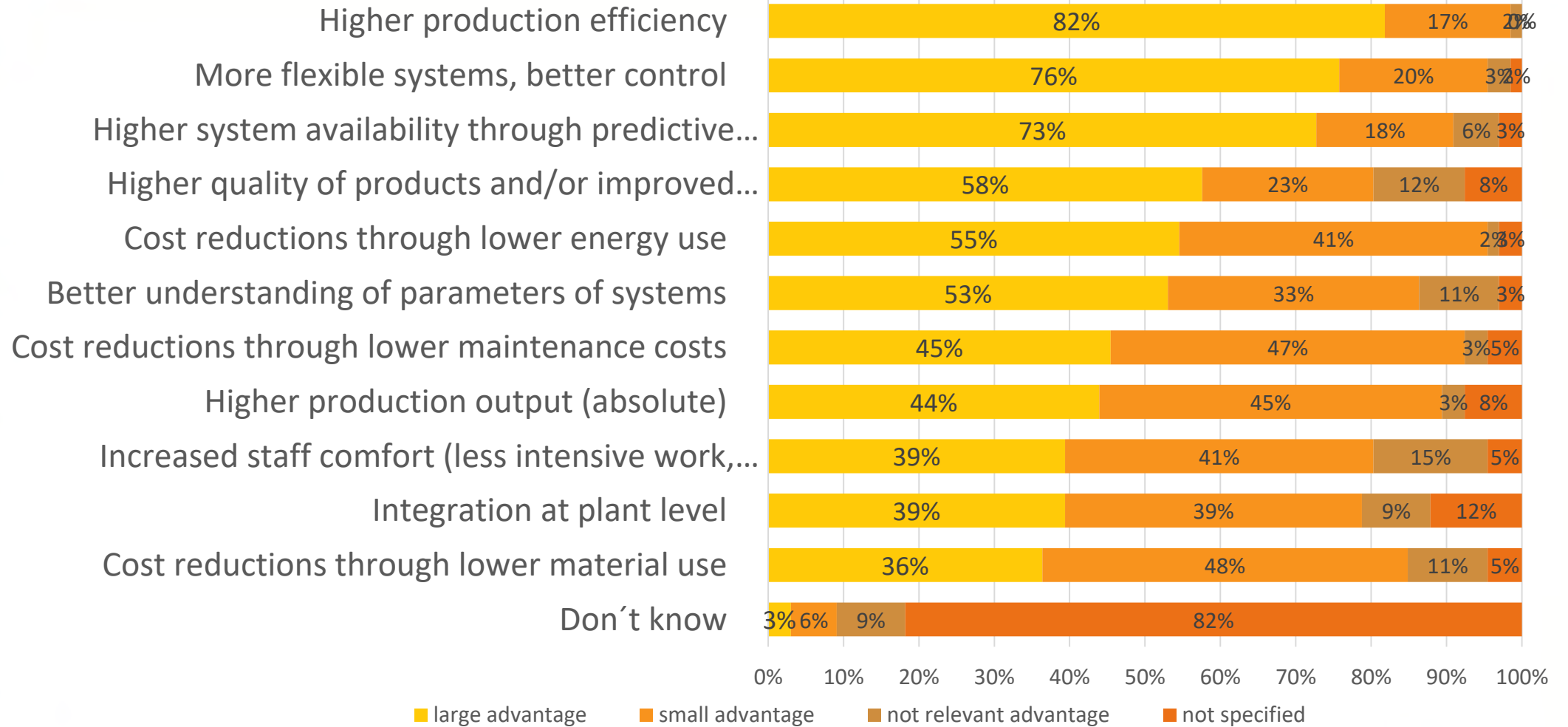
# Einsparpotenzial

Um wie viel kann Ihrer Meinung nach die Energieeffizienz von Elektromotorsysteme durch den Einsatz digitaler Lösungen gesteigert werden?

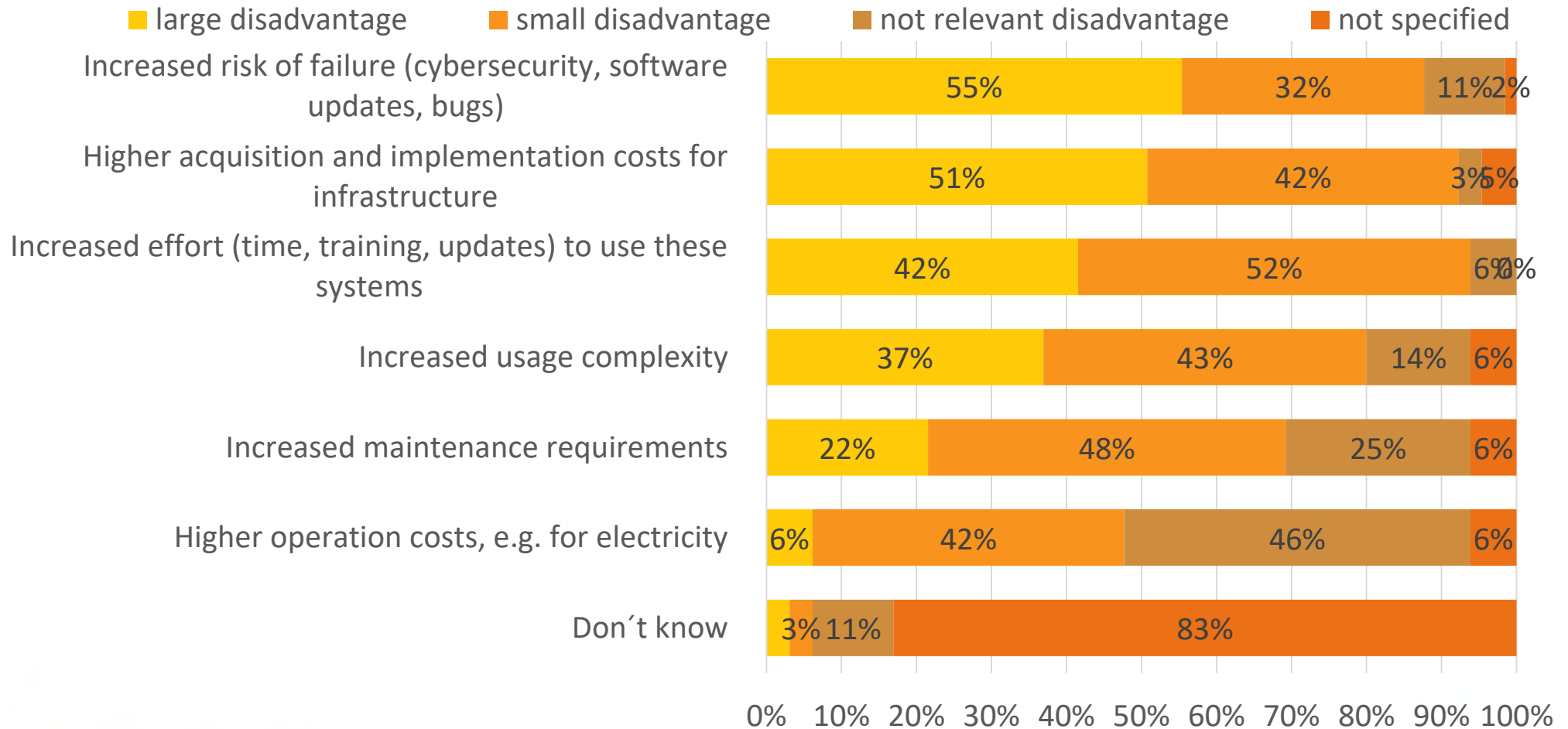




# Vorteile digitaler Technologien

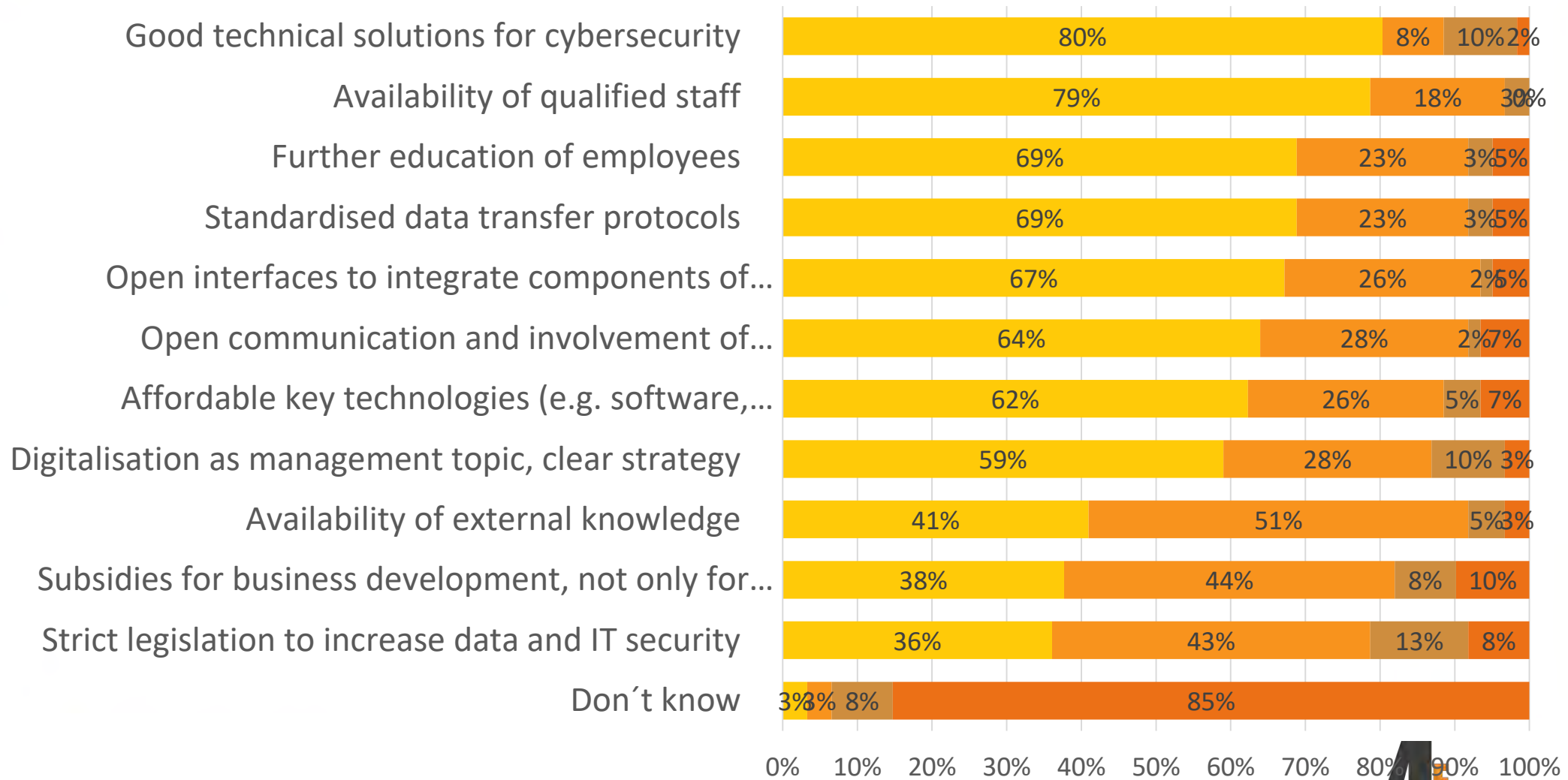


# Nachteile digitaler Technologien



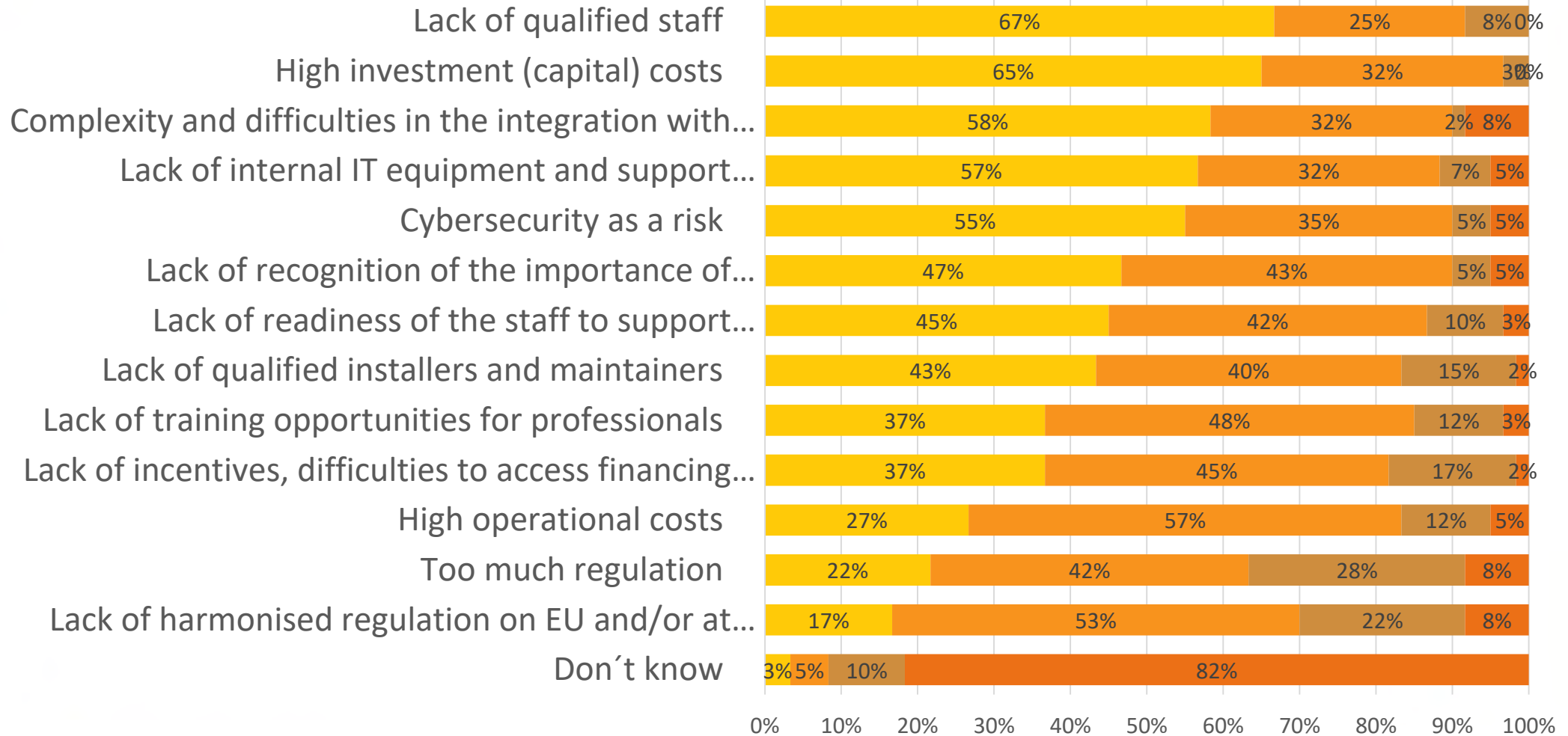
# Wichtigste Treiber zum verstärkten Einsatz digitaler Technologien

■ important enablers   
 ■ less important enablers   
 ■ not relevant enablers   
 ■ Dont know



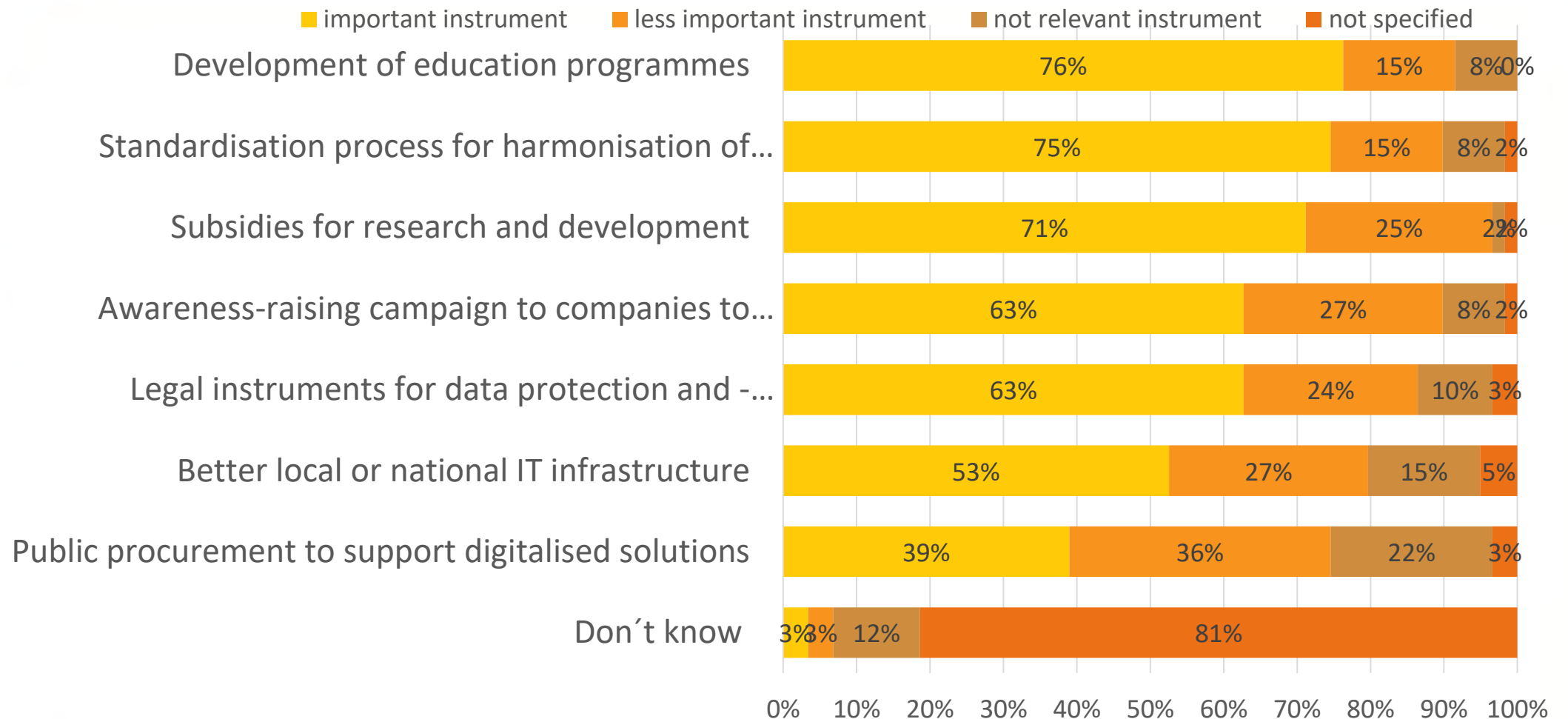
# Wesentliche Barrieren zur Anwendung digitaler Produktionstechnologien

■ important barriers   ■ less important barriers   ■ not relevant barriers   ■ Not specified



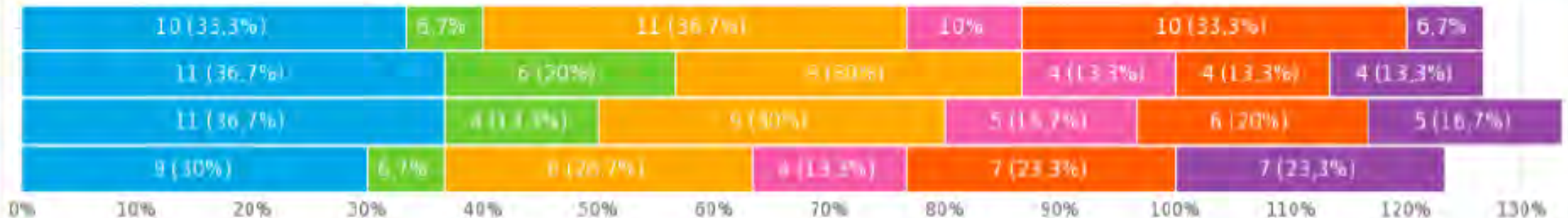


# Wichtigste Instrumente zur Überwindung der Barrieren



# Welche Technologien verwenden Sie zur Sammlung der Daten?

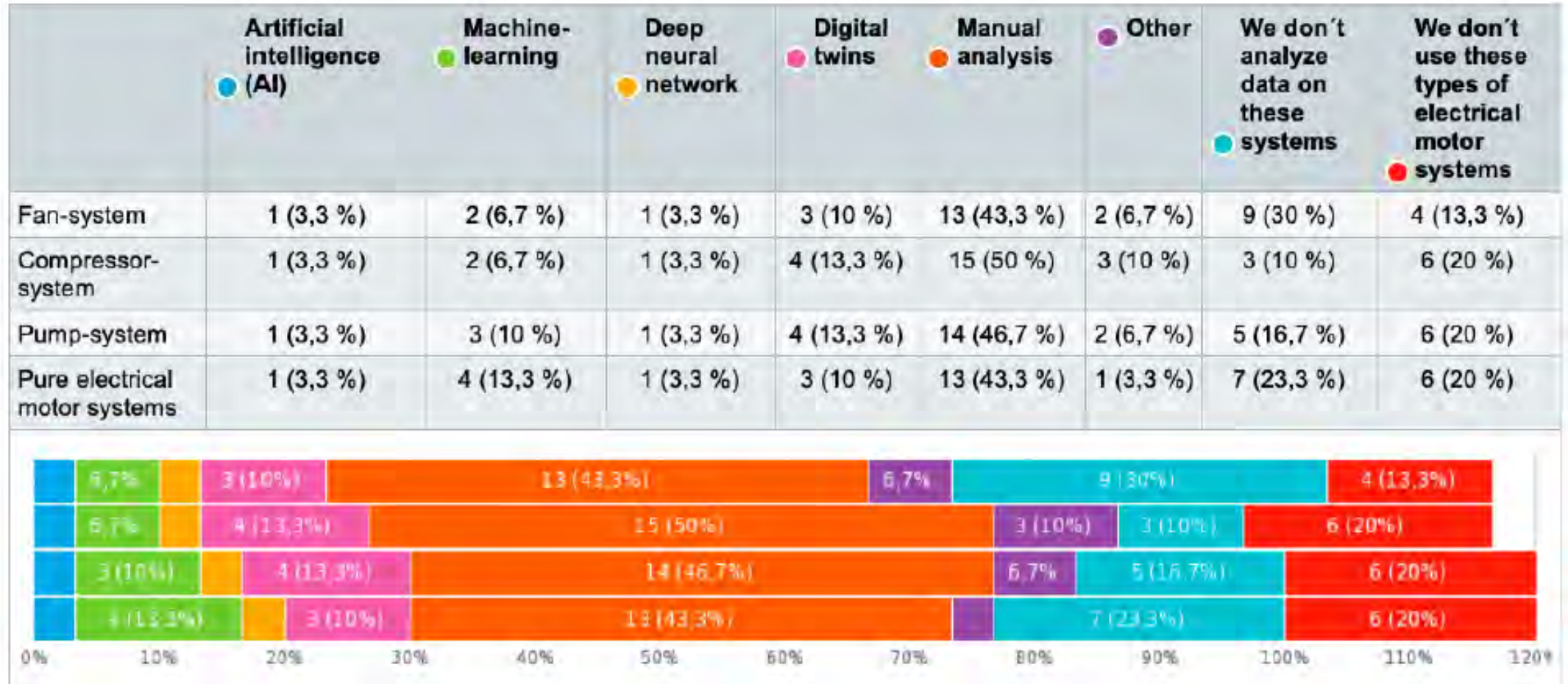
	<span style="color: blue;">●</span> Meter	<span style="color: green;">●</span> Smart Meter	<span style="color: orange;">●</span> Sensor	<span style="color: pink;">●</span> Smart Sensor	<span style="color: red;">●</span> We don't gather data on these systems	<span style="color: purple;">●</span> We don't use this type of electric motor systems
Fan-system	10 (33,3 %)	2 (6,7 %)	11 (36,7 %)	3 (10 %)	10 (33,3 %)	2 (6,7 %)
Compressor-system	11 (36,7 %)	6 (20 %)	9 (30 %)	4 (13,3 %)	4 (13,3 %)	4 (13,3 %)
Pump-system	11 (36,7 %)	4 (13,3 %)	9 (30 %)	5 (16,7 %)	6 (20 %)	5 (16,7 %)
Pure electrical motor systems	9 (30 %)	2 (6,7 %)	8 (26,7 %)	4 (13,3 %)	7 (23,3 %)	7 (23,3 %)



Hakansson, L., Höckerman, J.: Impact of digitalization on electrical motor systems, from an energy efficiency perspective, Mälardalen University of Sweden, 2020, Seite 57



# Wie analysieren Sie die Daten für das Motorsystem?



Hakansson, L., Höckerman, J.: Impact of digitalization on electrical motor systems, from an energy efficiency perspective, Mälardalen University of Sweden, 2020 S 58

# Welche Technologie nutzen Sie zur Speicherung der Daten?

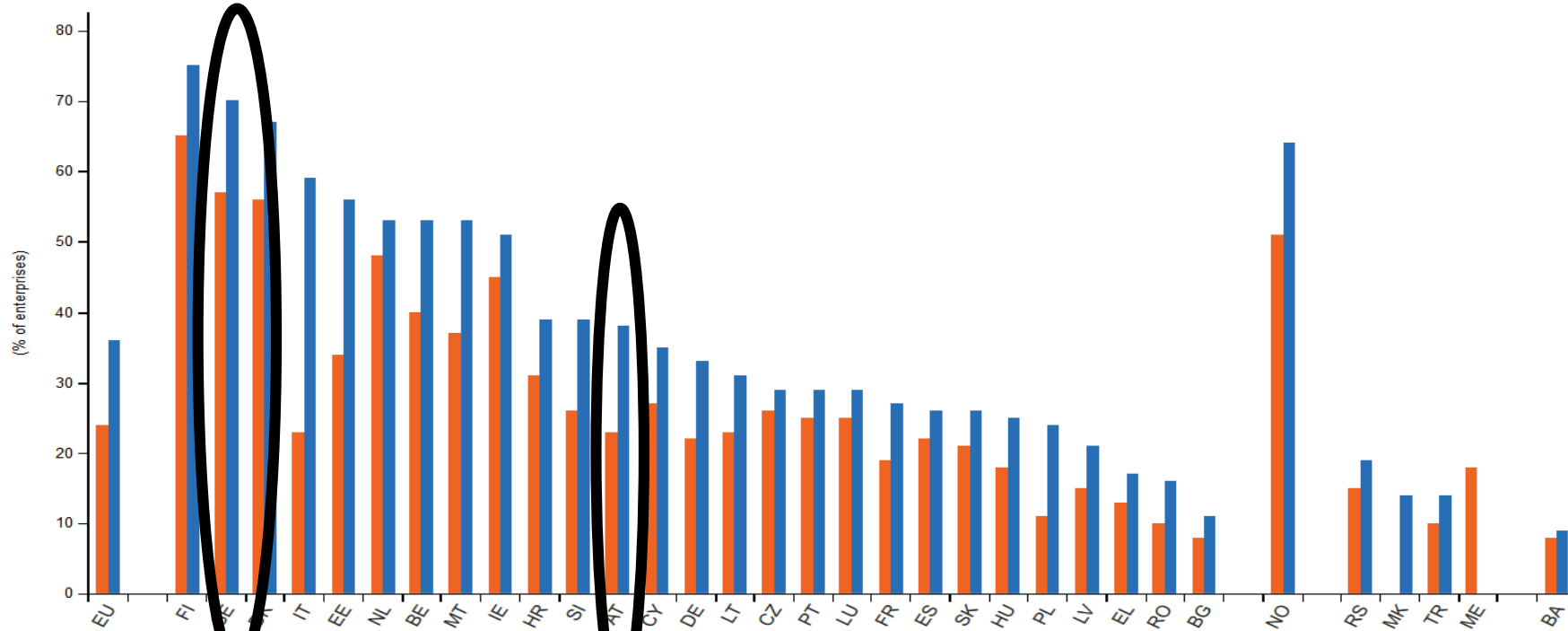
*Table 14 - Data storage technologies summarized*

Category	Responses	%
Local Cloud	1	5
Cloud	12	57
Subcontractors	1	5
Physical papers	3	14
Local data storage	3	14
Don't store data	1	5
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>100</b>

Hakansson, L., Höckerman, J.: Impact of digitalization on electrical motor systems, from an energy efficiency perspective, Mälardalen University of Sweden, 2020, Seite 58

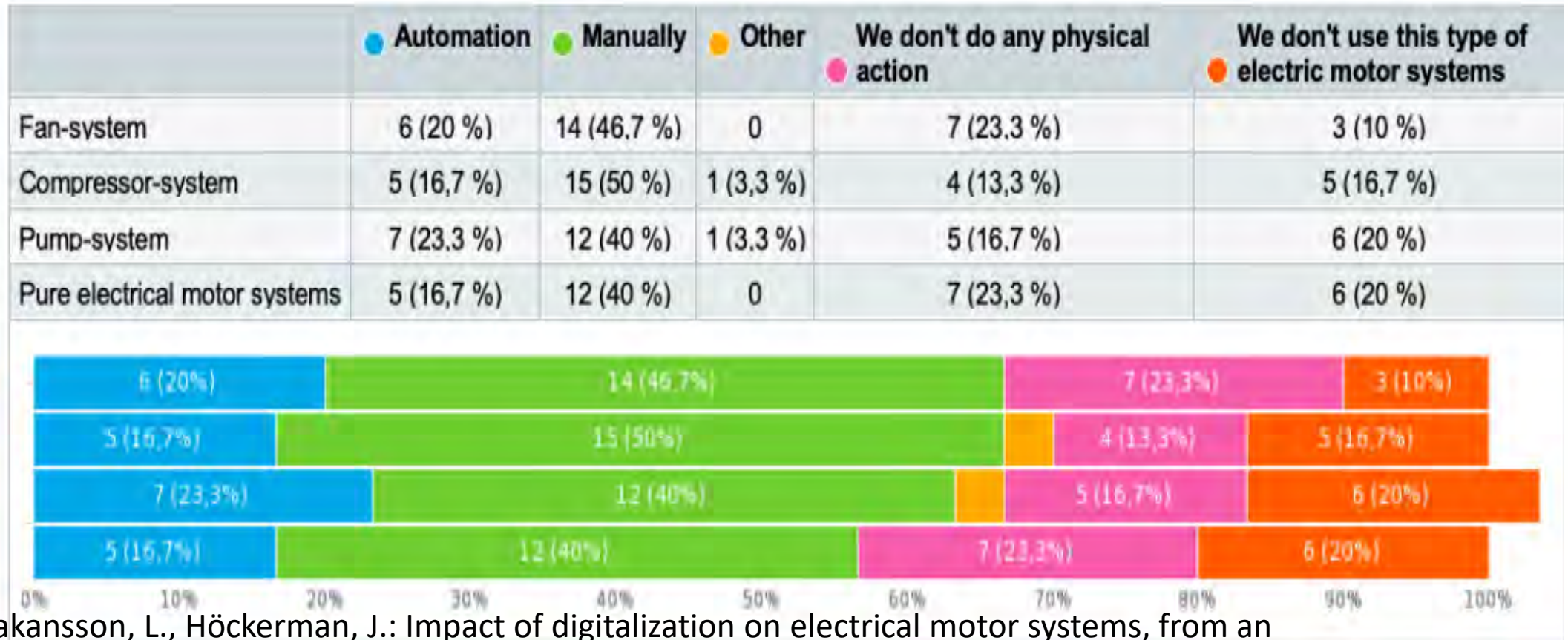


# Nutzung von cloud computing services durch Unternehmen 2018/2020



[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud\\_computing\\_-\\_statistics\\_on\\_the\\_use\\_by\\_enterprises](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises)

# Wie setzen Sie die physischen Maßnahmen?



Hakansson, L., Höckerman, J.: Impact of digitalization on electrical motor systems, from an energy efficiency perspective, Mälardalen University of Sweden, 2020, S 59

- Entwicklung und Produktion von effizienten Diesel- und Benzinmotoren bis hin zu neuartigen E-Mobility-Komponenten wie Gehäusen für die neueste Generation von Elektroantrieben mit rund 4.400 Mitarbeitern
- Jährliche Produktion: Rund eine Million Motoren und 10,1 Millionen Kernkomponenten (darunter: Pleuel, Zylinderköpfe, Zylindergehäuse und Kurbelwellen)
- Im InnoLab: Erprobung der Ideen der Zukunft im Bereich Digitalisierung.
  - Maschinen-Roboter Kollaborationen
  - Datenhandschuhe zur Unterstützung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei Tätigkeiten in Produktion und Logistik
  - Sicherheitsstatus-Check von Anlagen mittels App auf einem mobilen Endgerät vor Ort komplett papierlos

- Beinhaltet Energiespeisung, bis hin zu Kleinverbrauchern in Einzelmaschinen
- Zentrale Erfassung und Überwachung Strom- und Druckluftverbräuche einzelner Produktionslinien, Visualisierung vor Ort
- Aufzeichnung elektrischer Leistungsaufnahme diverser Verbraucher pro Linie
- Berechnung Energieverbrauch pro Stück oder pro Schicht, Darstellung Nutzungsgrad von Maschinen in Form von Effizienzklassen A-F
- Erfassung Kühl- und Kaltwasser, Kühlschmierstoffe und Wärme in Planung



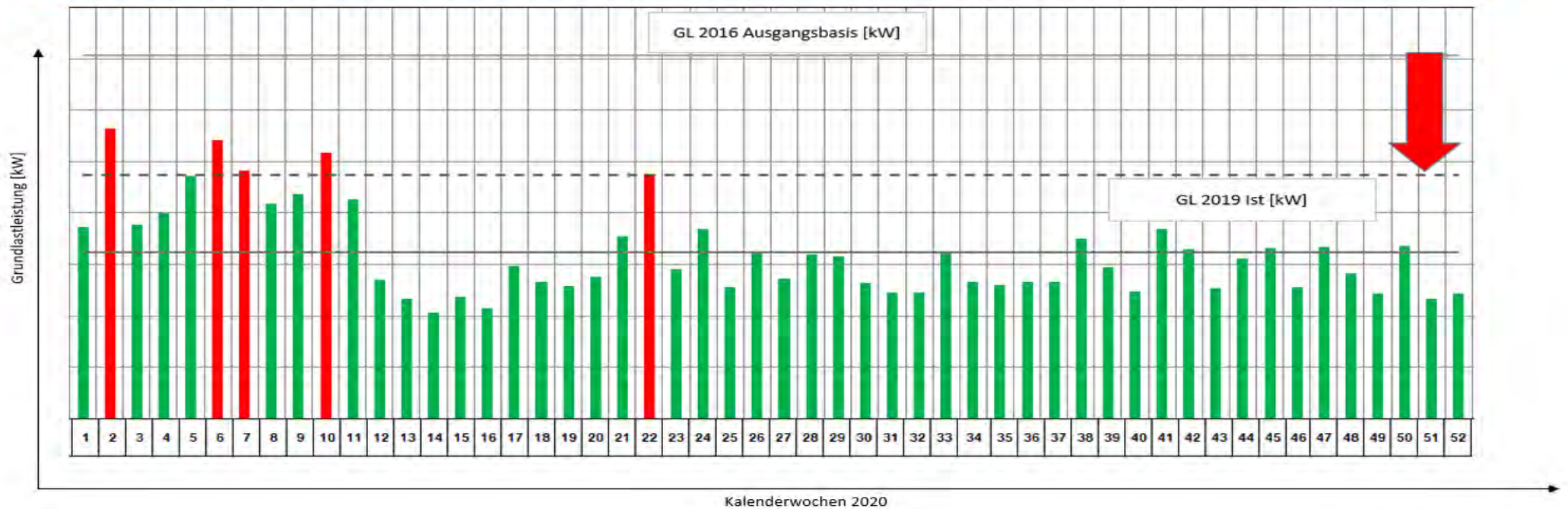
# Grundlast Absenkung während Nicht-Produktionszeit

---

- Festlegung klarer Ziele in kW pro Linie
- Verantwortung der Leitstellen für Erreichung der gesetzten Grundlast-Zielwerte nach Produktionsende der letzten Schicht
- Wöchentliche Auswertung dieser Abschaltungen, Kontrolle manuell; Automatisierung mit Reporting Tool und Alarmmeldung in Vorbereitung
- Einsparungen bei elektrischen Verbrauchern in der Linie (z. B. Antriebsmotoren) aber auch bei Beleuchtung und Druckluft

Senkung der elektrischen Grundlast um 52%

## Grundlast Kurbelwelle



Quelle: BMW Group Werk Steyr

- Nutzung digitaler Lösungen und Technologien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Steigerung der Effizienz auf vielen Ebenen
- 3D-Druck von Teilen vor Ort
- Energiemanagement: Unter Vorgabe von Parametern erstellt Künstliche Intelligenz Vorschläge für eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, erhöht auch Transparenz des Produktionsstandortes

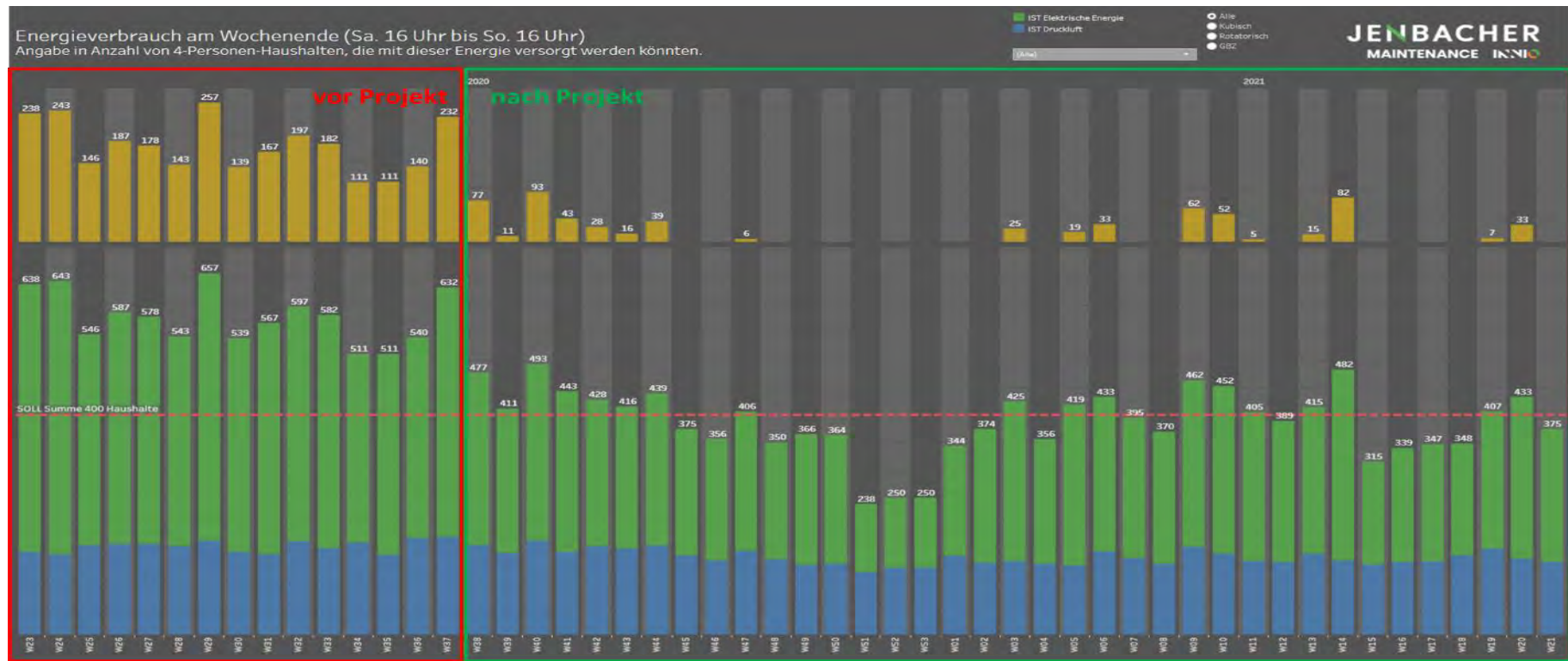
# Energieabschaltung übers Wochenende

---

- Eines von vielen weiteren Projekten zur CO<sub>2</sub>-optimierten Produktion
- Gemeinsam mit dem Bedien- und Instandhaltungspersonal in Pilotbereich von rund 55 Produktionsmaschinen geprüft: Welche Maschinen bleiben am Wochenende nach Schichtende eingeschaltet und warum?
- Wo möglich, Umsetzung technischer Maßnahmen an den Maschinen
- Definition und Automatisierung genauer Abschaltzustände



# Wöchentliche Reports zu Energie- und Druckluftbedarf

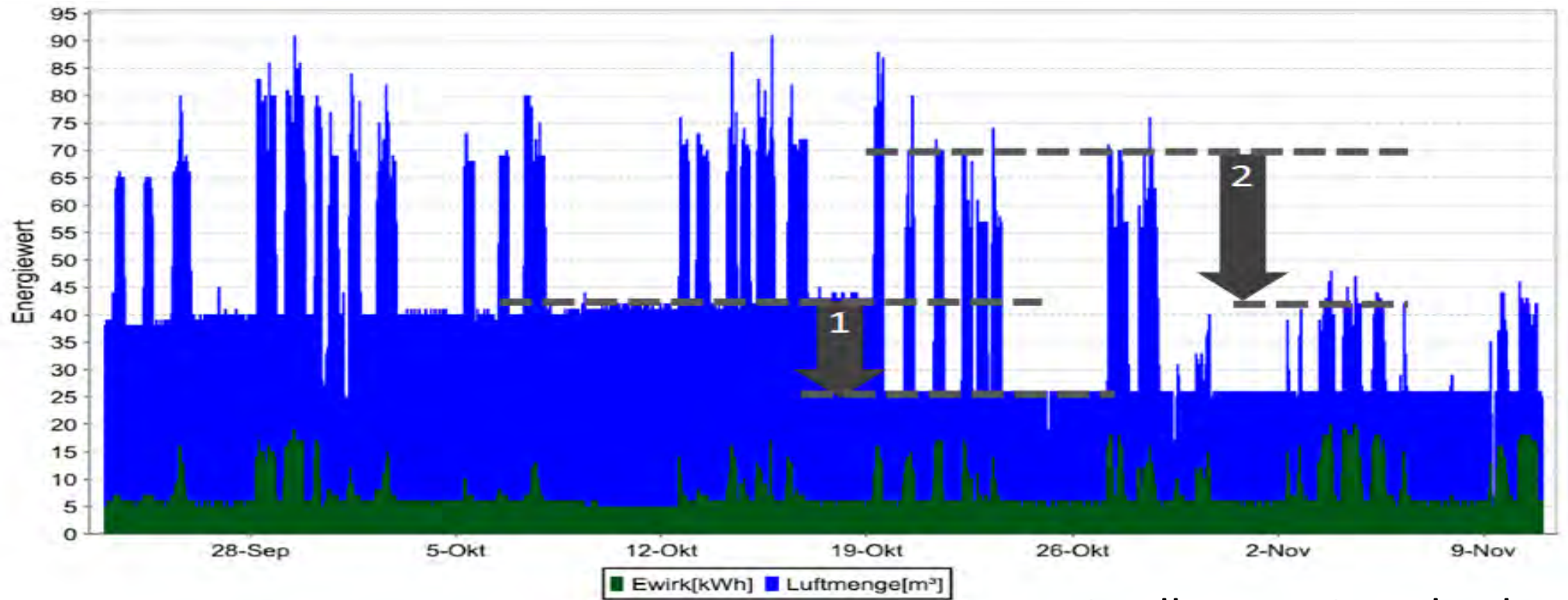


Wöchentliche Reports zu Energie- und Druckluftbedarf

Quelle: INNIO Jenbacher

- Weitere Eingrenzung und Behebung möglicher Ereignisse mithilfe der Energiemessung im Rahmen des Condition Monitorings
- Beispiel: Lösung von Druckluftschlauch zu Spindleinheit vom Fitting, dabei Ausblasung eingebauter Luftdrosseln; bei einfachem Anschließen der Schläuche erhöhter Druckluftbedarf
- Nur durch Visualisierung erkennbar, sofort Maßnahmen gesetzt und Abstellung des Druckluftverlusts (Drittel des Vollastdruckluftbedarfs)

# Laufende Visualisierung des Druckluftverbrauchs



Quelle: INNIO Jenbacher



# References (1/2)

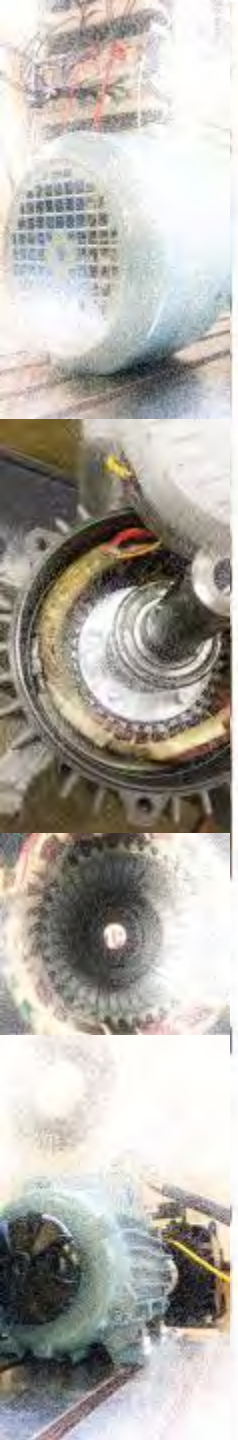
- Cassidy S., <http://eprints.nottingham.ac.uk/57090/1/PhD%20Thesis%20Cassidy%20Silbernagel%202019%20Final.pdf>
- Da Silva, A. F. et al.: A Cloud-based Architecture for the Internet of Things targeting Industrial Devices Remote Monitoring and Control, IFAC papers 2016
- EN 13306: Maintenance - Maintenance terminology, 2018-02
- Emec S., Krüger J., Seliger G.: Online fault-monitoring in machine tools based on energy consumption analysis and non-invasive data acquisition for improved resource-efficiency, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, 2016
- Gankema, T.: Using SAM4 to help drive sustainable industry, Semioticlabs, White Paper
- Gomaa H., Mentel L.: <https://www.pumpsandsystems.com/understanding-pump-performance-using-advanced-analytics>, 2018
- Hanigovszki, N.: Industry 4.0, Condition monitoring & smart sensors, presentation at the Motor Summit 2018 International, Zurich, Switzerland, 15.11.2018
- Islam, T., Mukhopadhyay, S. C., & Suryadevara, N. K. (2017). Smart Sensors and Internet of Things: A Postgraduate Paper. *IEEE Sensors Journal*, 17(3), 577–584. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2630124>
- Jyrki S. et. al., Additive manufacturing, 32 (2020), 101070
- Mittal S. et al.: Smart Manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture 233(5):1342-1361, 2019
- VHK and Viegand Maagøe, ICT Impact study, July 2020



## References (2/2)

---

- Mohsen A. et. al, Business Horizon, 60 (2017) 677.
- Meijer, G., Pertijs, M., Makinwa, K., & Makinwa, K. (2014). *Smart Sensor Systems: Emerging Technologies and Applications* [Electric resource]. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/malardalen-ebooks/detail.action?docID=1666479>
- RaviPrakash M. et. al. Applied Materials Today, 14 (2019) 35.
- Siemens: Pump Cleaning in der Wasserwirtschaft, unter <https://www.siemens.com/global/de/home/produkte/automatisierung/industrielle-schalttechnik/simocode.html>\_(28.01.2019)
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 – smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 359–371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Xing Liu, & Baiocchi, O. (2016). A comparison of the definitions for smart sensors, smart objects and Things in IoT. *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2016.7746311>



---

Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!  
Fragen?