

Praxisbeispiel IntegrAD mit Ansatzpunkten der Industrie 4.0

www.integrad.de



Tobias Menke (M. Sc.)
Göttingen, 16. Juli 2015



- Industrie 4.0 und Ansätze der Umsetzung

- Praxisbeispiel: Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme
 - Aktuelle Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme

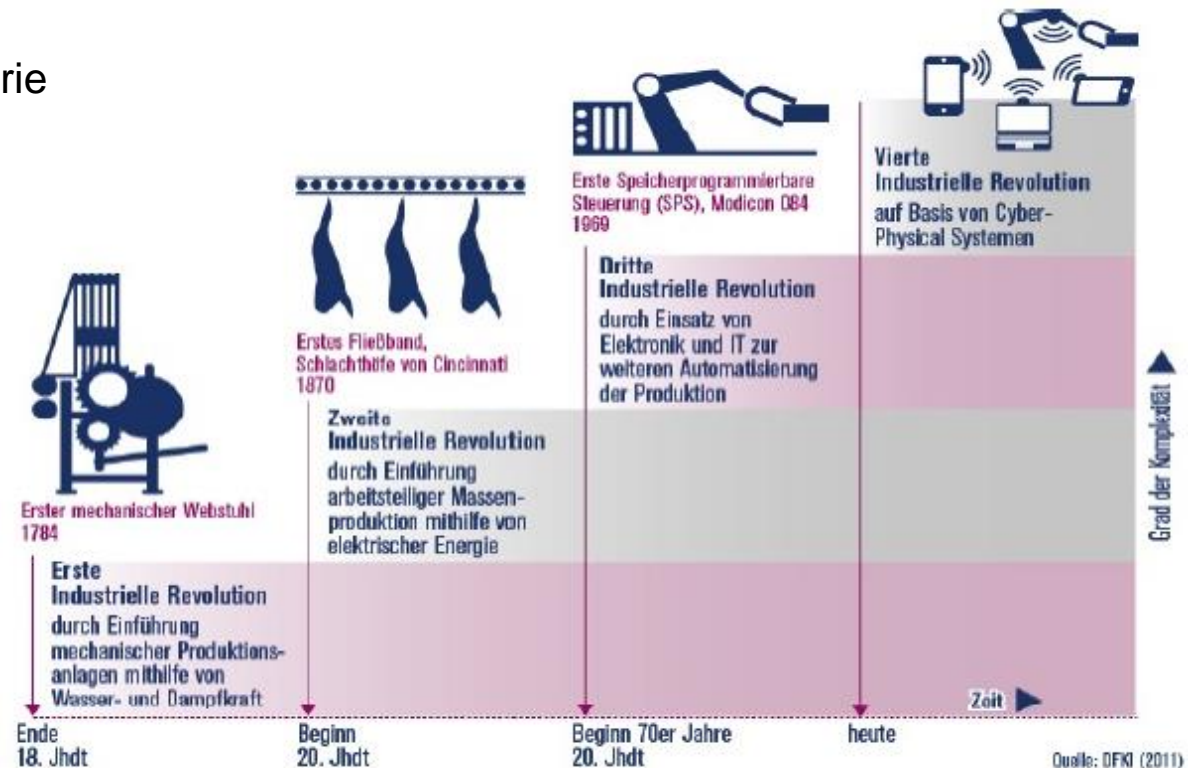
 - Vorstellung des Forschungsprojekts „IntegrAD“
(Integrierter optischer Absolutgeber und Drehmomentmesser)

- Zusammenfassung

Industrie 4.0 - Die vierte industrielle Revolution

- Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung und Industrie
- Verknüpfung der digitalen Welt des Internets mit konventionellen Prozessen der produzierenden Wirtschaft

→ Digitalisierung der Industrie



Zukünftige Produktionsansprüche:

- Starke Individualisierung der Produkte
→ erhöhte Produktionsflexibilität
- Produktivitäts-, Umsatz- und Effizienzsteigerung
- Optimale Ressourcennutzung

Umsetzung durch die „Smart Factory“:

- Grundlage bilden cyber-physische Systeme; Intelligente, digitale Vernetzung von Produktionsanlagen
- Weitere Technologien, wie z.B. Big Data
- Hoch flexibilisierte Produktion mit direkter Integration des Geschäftspartners
- Intelligente Monitoring- und Entscheidungsprozesse steuern und optimieren Unternehmen und ganze Netzwerke
- Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungen; horizontale und vertikale Vernetzung von Wertschöpfungsketten
- Verlagerung der Steuerung von oben nach unten

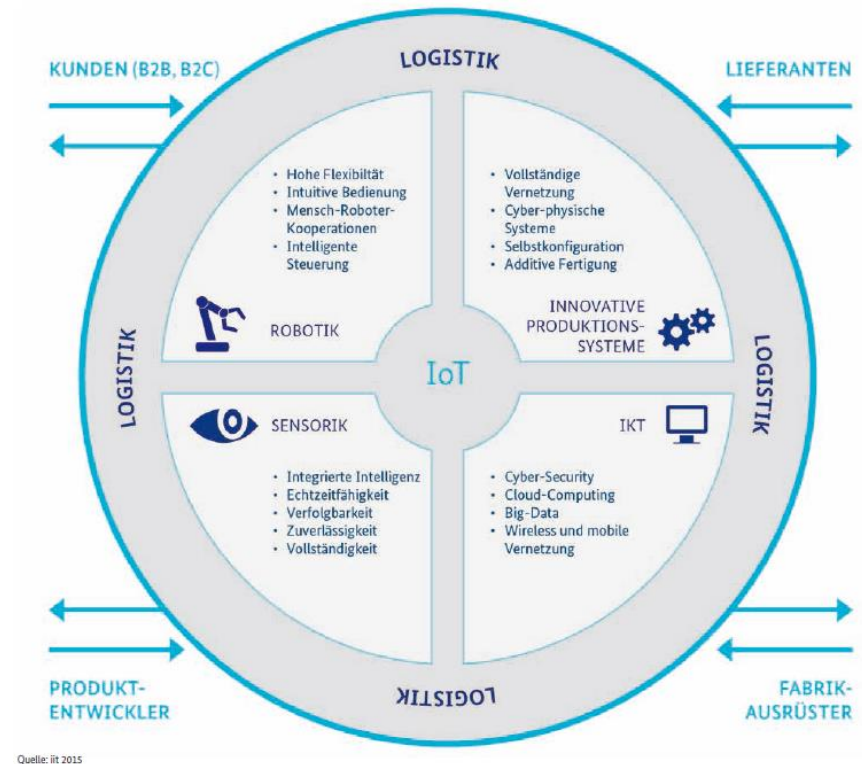
Veränderung der Wertschöpfungsketten

- Klassische Wertschöpfungsketten:
 - Klar definierte Grenzen zwischen unternehmens-internen (blau) und -externen (cyan) Bereichen
- Kürzere Produktzyklen, kleinere Losgrößen und eine zunehmend individualisierte Produktion erfordern effiziente und schnelle Kollaboration zwischen den Unternehmen
- Lösung: Digitalisierung der horizontalen und vertikalen Vernetzung
- Zukünftige Wertschöpfungsketten:
 - Industrie 4.0: Digitalisierung erleichtert Kommunikation und Datentransfer zwischen, aber auch innerhalb der Unternehmen
 - Viele Geschäftsfelder können ausgelagert werden, wodurch klassische Unternehmensgrenzen aufgelöst werden können
 - Entstehung neuer Geschäftsoptionen in Logistik, IT und Produktion



Entscheidende Geschäftsfelder der intelligenten Produktion

- Neuartige Technologien entstehen in den Bereichen
 - Robotik
 - Produktionssysteme
 - Sensorik
 - Informations-/ Kommunikationstechnik
- Basis ist effizientes und sicheres Internet of Things (IoT)
- Horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten werden immer enger miteinander verknüpft
- Logistik gewinnt an Bedeutung
 - nicht nur zwischen den Unternehmen, sondern vielmehr innerhalb eines Unternehmens
- Industrie 4.0 basiert auf flexiblen Produktionssystemen, die in kleinen Losgrößen und mit hoher Varianz fertigen
 - fordert eine hocheffektive Intralogistik

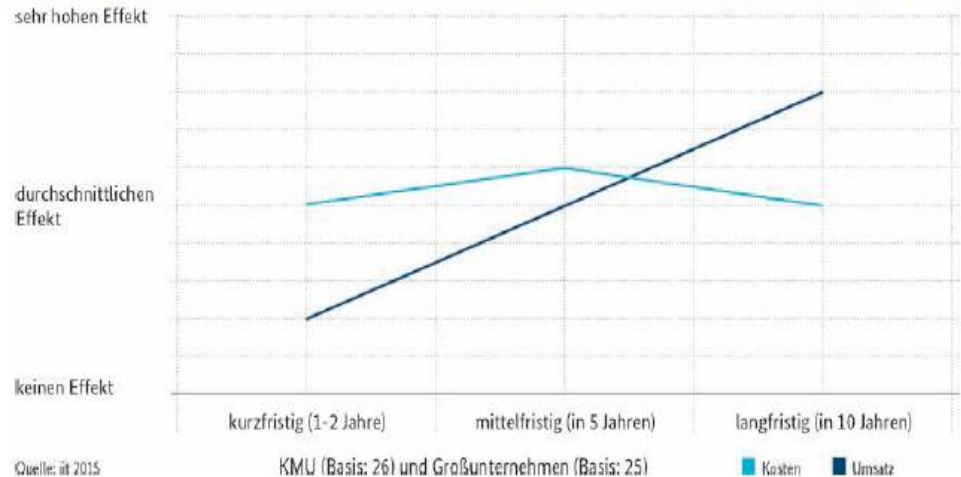


Hemmnisse und Herausforderungen

Die Hauptgründe für zögerliches Verhalten, wenn es um Industrie 4.0 geht, liegen in

- der thematischen Komplexität,
- den hohen Investitionskosten (Amortisierung nach ca. 6 Jahren),
- Sicherheitsbedenken,
- den verfügbaren Ressourcen,
- den erforderlichen Qualifikationen,
- einer unklaren Nutzentransparenz,
- veralteten Produktionsanlagen

Welche Kosten- und Umsatzsteigerung erwarten Sie im Zusammenhang mit Investitionen in Industrie 4.0?



Auch die einzelnen technischen Komponenten einer Smart Factory müssen instandgehalten werden:

- Vorbeugende Instandhaltung
 - Instandsetzung nach festen Intervallen
 - Teuerste Methode, da Teile erneuert werden, deren Abnutzungsvorrat noch nicht verbraucht ist
 - Bietet höchste Betriebssicherheit
- Operative Instandhaltung
 - Instandsetzung nach Defekt
 - (Unter Umständen) preiswerteste Methode
 - Liefert die geringste Betriebssicherheit
- Zustandsorientierte Instandhaltung
 - Planung von Instandsetzungszeitpunkt und –umfang aufgrund des Ist-Zustands
 - Diagnosekosten
 - Es werden nur austauschwürdige Teile erneuert
 - Diagnosezuverlässigkeit bestimmt Betriebssicherheit

- Um den Anforderungen einer wachsenden Produktivität und Kosteneffizienz gerecht zu werden, ist eine konstante Verfügbarkeit bzw. Zuverlässigkeit von Anlagenkomponenten unabdingbar.

- Condition Monitoring ermöglicht:
 - frühestmögliche Erkennung von Komponentenbeschädigungen oder Unregelmäßigkeiten
 - effektive Planung von Wartungs-/ Reparaturmaßnahmen
 - Folgeschäden zu verhindern
 - Vermeidung von Fehlerwiederholungen

- Nutzen:
 - Totalausfälle werden auf ein Minimum reduziert
 - Möglichst kurze Stillstandszeiten für Wartungsarbeiten

Eines der grundlegenden Elemente des Condition Monitorings ist die verwendete Sensorik, wobei folgende anschließbare Sensoren existieren:

- Beschleunigungsaufnehmer
- Drehzahl- und Drehwinkelgeber
- Drehmomentmessung
- Widerstandsthermometer
- Thermoelement
- Spannungs- oder Stromsignalerfassung (beispielsweise Motorspannung/ -strom)

Für die Dimensionierung von Bauteilen benötigt man Kenntnis über Drehmoment und Leistung der Arbeitsmaschine.

Das Drehmoment kann berechnet werden, wenn Leistung und Drehzahl bekannt sind. Allerdings liefert dies keinen exakten Drehmomentverlauf und ist für Anwendungen in Hinsicht auf Industrie 4.0 nicht ausreichend.

Hierzu stehen zurzeit grundsätzlich zwei Messverfahren zur Verfügung:

- Drehmomentmesswelle/ -scheibe
- Dehnungsmessstreifen

Die erste Variante erfordert konstruktive Veränderungen und auch die zweite erfordert minimale Eingriffe in das Betriebsgeschehen.

Die integrierte Absolutposition- und Drehmomentmessung bietet hier neue Lösungsansätze.

- Industrie 4.0 und Ansätze der Umsetzung

- Praxisbeispiel: Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme
 - Aktuelle Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme

 - Vorstellung des Forschungsprojekts „IntegrAD“
(Integrierter optischer Absolutgeber und Drehmomentmesser)

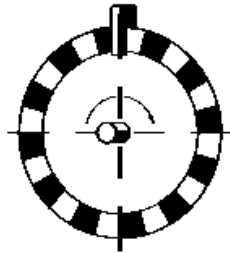
- Zusammenfassung

1. Drehzahl-Erfassung
 - i. Optisch
 - ii. Induktiv
2. Drehmoment-Erfassung
 - i. Elektrisch (DMS)
 - ii. Induktiv/Optisch (Codierscheibe)
 - iii. Magnetoelastisch (Ringmagnet)

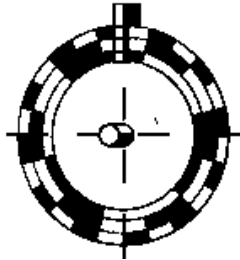
Drehzahl-Messung mittels Codierscheibe

— optisch

– inkremental

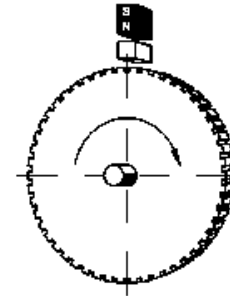


– absolut

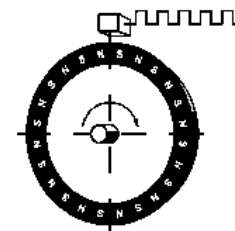
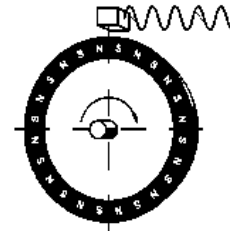


— magnetisch

– inkremental



– absolut (analog/digital)



Drehmoment-Messung mittels Dehnungsmessstreifen (DMS)

- Eingeleitetes Drehmoment an einer Welle führt zu Torsionsspannungen
 - Torsionsspannungen verursachen eine Materialverformung
 - Verformung ruft eine Dehnung des DMS hervor, entspricht Änderung des el. Widerstandes
 - Da sich der DMS sowohl verlängert, als auch sein Querschnitt verkleinert wird, erhöht sich dessen elektrischer Widerstand R
- Das Drehmoment ist proportional zu der Dehnung an der Zylinderoberfläche, welche wiederum proportional zum Spannungsverhältnis U_a / U_0 ist
- DMS-Beklebung des Messkörpers im Reinraum
 - Reinigung des Messkörpers
 - Aufbringung in Schichten
 - Aushärten im Ofen



Quelle: Kistler

Optische Drehmoment-Messung

— Winkeldifferenz

- Änderung der Lichtintensität durch Verschiebung zweier Schlitzscheiben gegeneinander

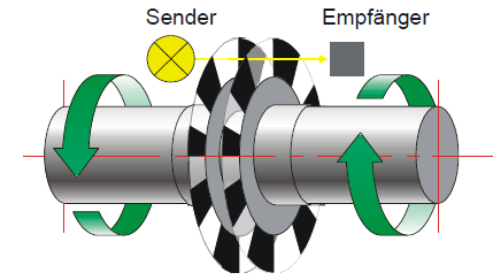
— Phasenverschiebung

- Änderung der Phasenbeziehung von zwei Lichtsignalen

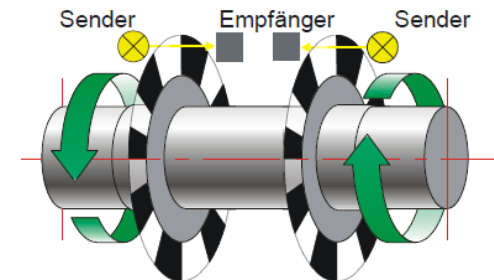
Drehmoment-Messung mittels magnetoelastischem

Ringmagnet

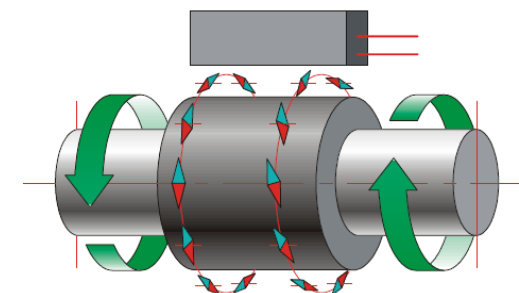
- Ring aus magnetoelastischem Material
- Magnetfeld in Umfangsrichtung
- Spannung führt zu magnetischer Umorientierung
- Erfassung mittels Hall-Sensor



Quelle: Kistler



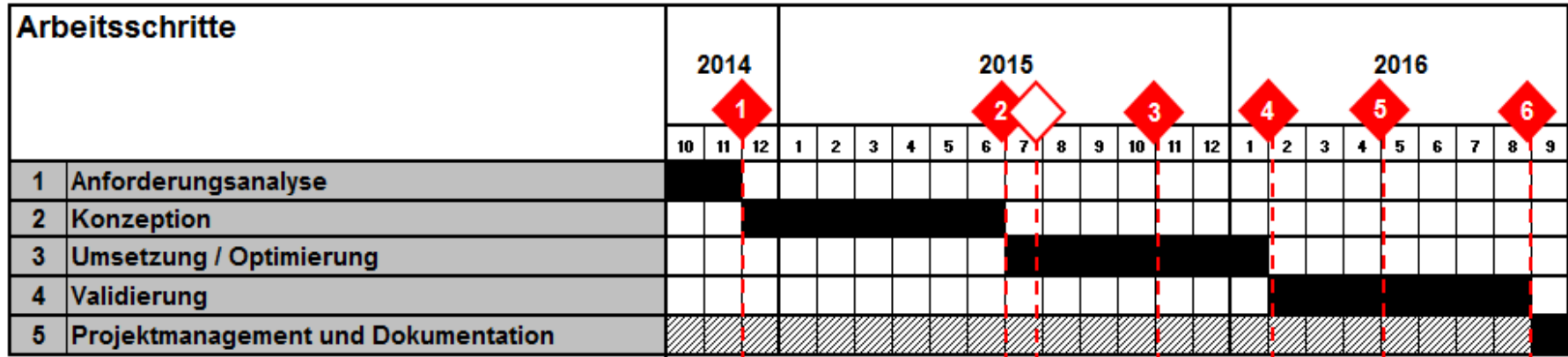
Quelle: Kistler



Quelle: Kistler

- Entwicklung: Integrierter optischer Absolutgeber und Drehmomentmesser
 - Verzicht auf zusätzliche Bauteile z. B. DMS, Codierscheiben, Messflansche, Torsionswellen
 - Geringer Bauraum
 - Kostengünstig
 - Größere Genauigkeit als existierende Messsysteme

- Lösungsprinzip:
 - Erzeugung einer Maßverkörperung auf der Wellenoberfläche mittels eines Laserverfahrens
 - Optische Detektion der Maßverkörperung



M1: Anforderungsanalyse ist abgeschlossen. Lastenheft liegt vor.

M3: Markierungsprozess und Winkelmessmodul sind umgesetzt.
Erste Testergebnisse liegen vor.

M5: Testergebnisse liegen vor. Das Messsystem ist optimiert.

M2: Konzeptphase ist abgeschlossen. Schaltpläne, Prozessbeschreibungen liegen vor.

M4: Sensor ist komplett. Markierungsprozess ist festgelegt.

M6: Validierung des Messsystems ist abgeschlossen. Ergebnisse liegen vor.

AP1.1 Aufnahme der Anforderungen an das Messsystem in verschiedenen Einsatzgebieten

- Anforderungen ergeben sich aus
 - den Projekttreffen
 - dem Feedback der Pressemitteilung zum Projektstart
 - persönlichen Gesprächen mit Firmen

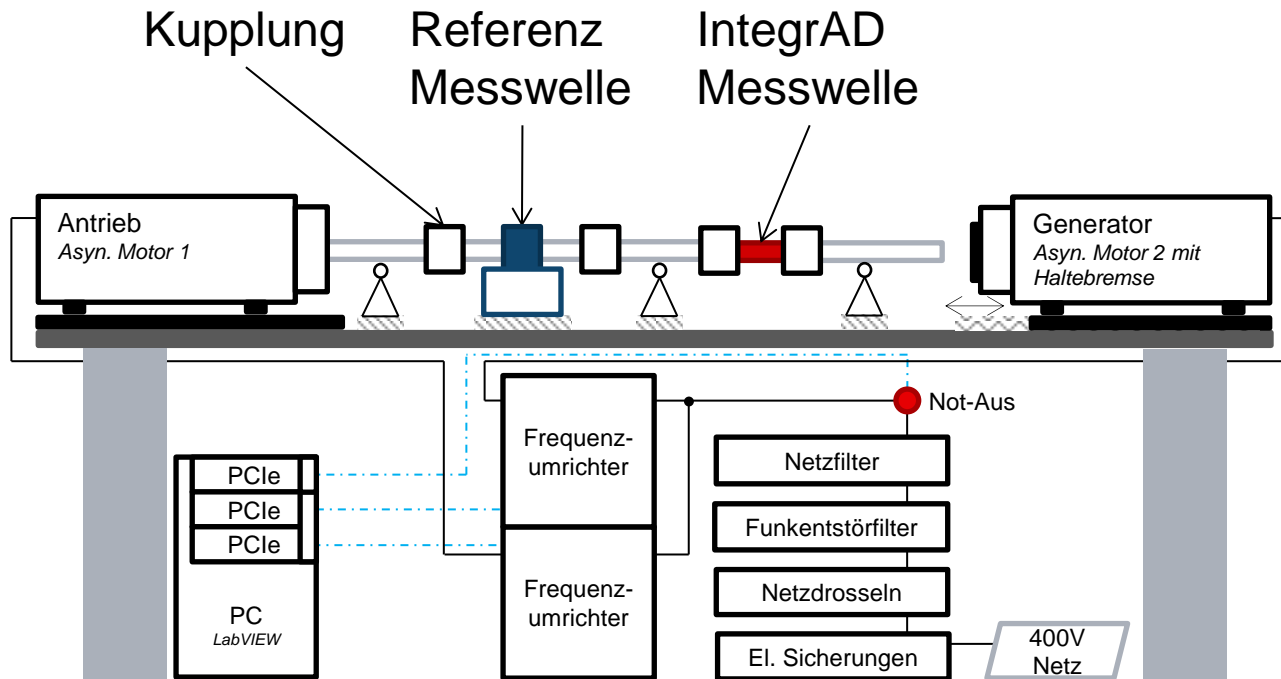
- Aufnahme der Anforderungen im Lastenheft

- **Reifenindustrie:** Anwendung in Reifenprüfständen
 - Anforderung: hohe zeitliche Auflösung aufgrund hoher System-Dynamik
- **Automobilindustrie:** Anwendung im Auto als Echtzeitsensorsystem
 - Anforderung: Echtzeitfähigkeit
- **Automobilindustrie:** Anwendung in Motoren- und Getriebeprüfständen
 - Anforderung: Echtzeitfähigkeit sekundär
- **Luftfahrtindustrie:** Anwendung in Turbinenprüfständen
 - Anforderung: Hochaufgelöste Drehzahlmessung

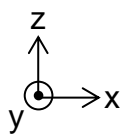
AP1.1 Aufnahme der Anforderungen an das Messsystem in verschiedenen Einsatzgebieten

— bisherige Drehzahl-Messmethode:	Hall-Sensor
— bisherige Drehmoment-Messmethode:	DMS Applikation + Telemetrie
— Wellentyp:	Voll- und Hohlwelle
— Einsatzbereich der Welle:	Nockenwelle
— Umgebung:	Treibstoff/Öl
— Drehmoment-Messbereich:	+/- 100 Nm
— Wellendurchmesser:	Ø20 - 30 mm
— Wellenlänge:	> 100 mm
— Geforderte Mindest-Drehzahl:	> 5000 rpm
— Warum interessiert an IntegrAD:	Alternativen zur DMS-Drehmomentmessung und hochaufgelösten Drehzahlmessung

AP2.1 Konzeption eines Versuchsstands zur Untersuchung des kombinierten Messsystems



Fußboden



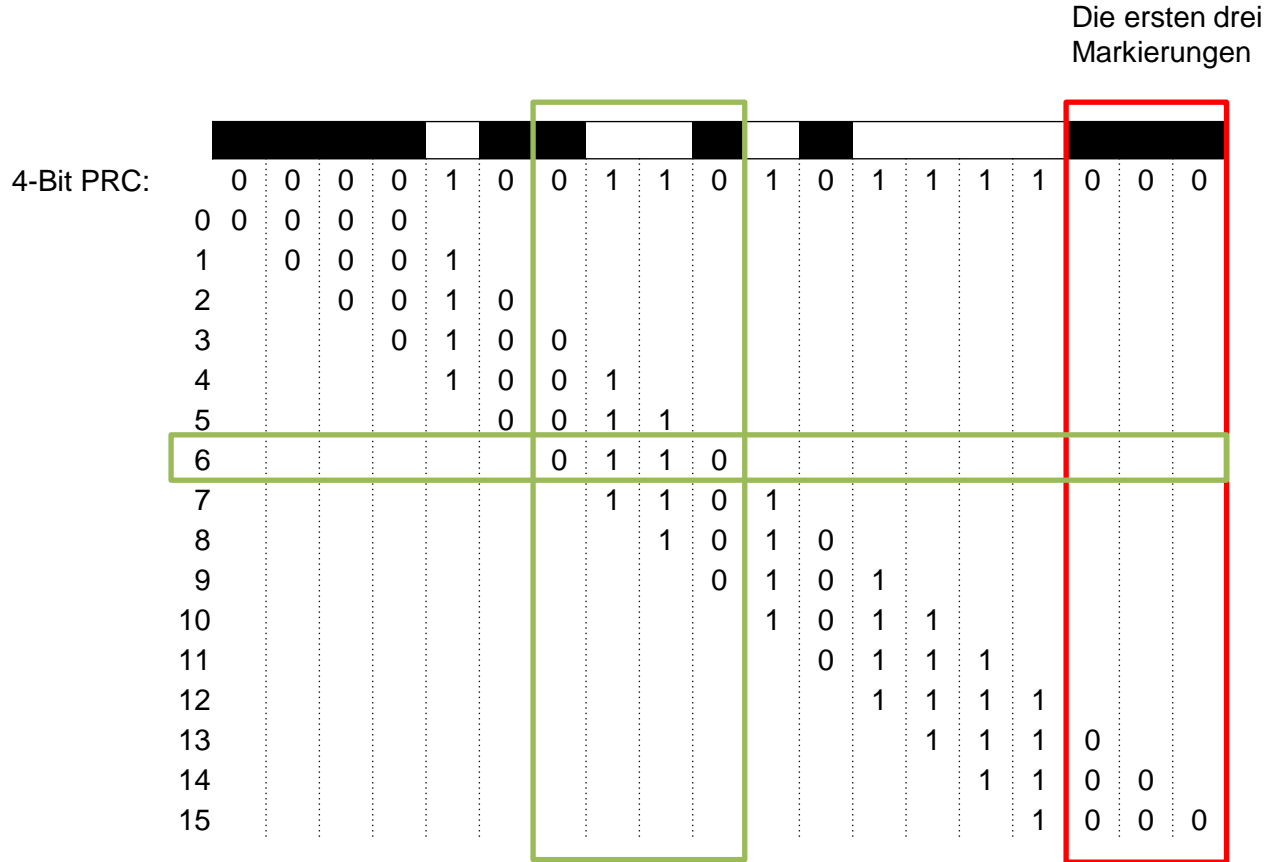
- Anforderungen an Codierung
 - binär codiert
 - einzigartig
 - „closed loop“ (Endsequenz muss mit Anfangssequenz einzigartig bleiben)
 - hohe Informationsdichte
 - flexibel hinsichtlich unterschiedlicher Markierungsanzahlen

- Herausforderung: Eigentliche Pseudo-Random-Codierung ist für 2^N-1 ausgelegt (N: natürliche Zahl)
 - erfüllt nicht das „closed loop“ Kriterium
 - Anzahl der Markierung ist auf 2^N-1 beschränkt und ist von daher nicht flexibel

- Die Lösung bietet eine Sequenz einer Pseudo-Random-Codierung höherer Ordnung M

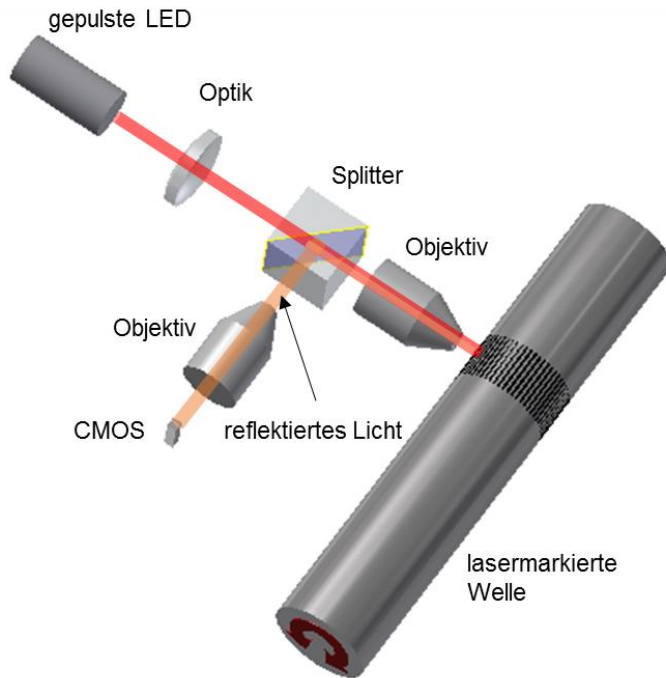
AP2.2 Konzeption einer Codierung zur kombinierten Drehwinkel und Drehmomentmessung

Pseudo-Random-Codierung (PRC)

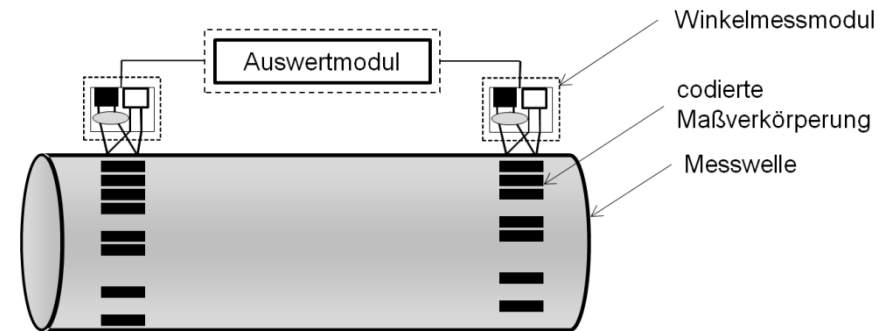


AP2.3 Konzeption des Winkelmessmoduls

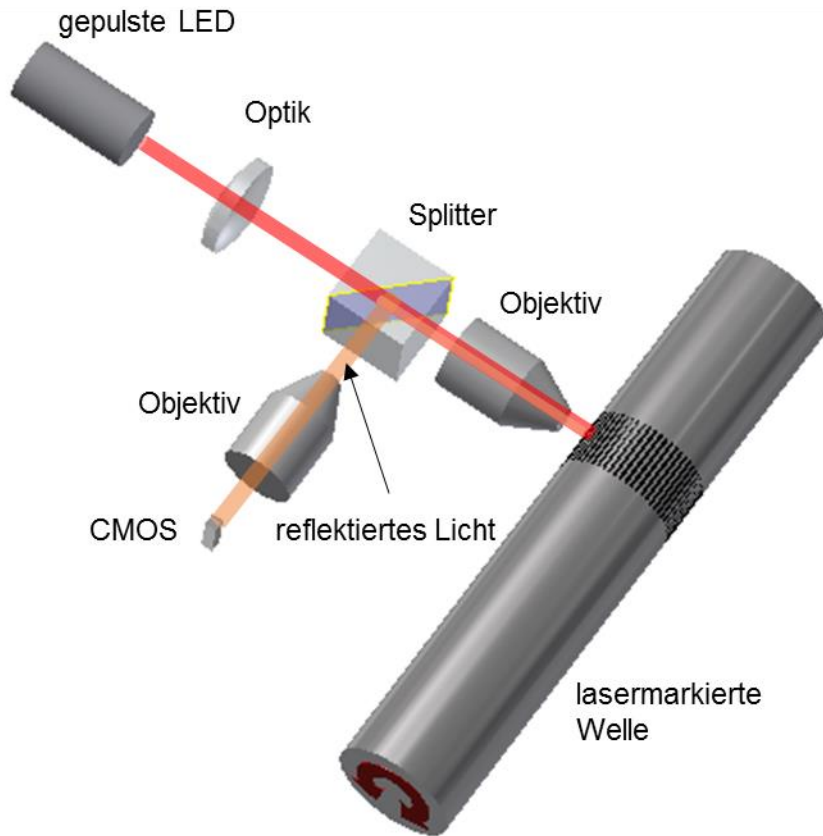
- CMOS-Sensor erfasst Einspurcodierung zur Bestimmung des absoluten Winkels



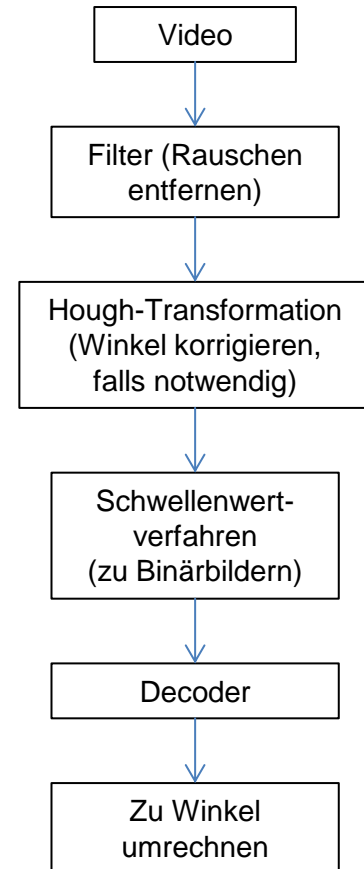
- Auswertmodul vergleicht zwei Einspurcodierungen zur Erfassung der Winkel- & Phasendifferenz



Optischer Aufbau:



Ablauf der Bilddatenverarbeitung:



AP2.3 Konzeption des Winkelmessmoduls: Vorteile gegenüber anderen Messsystemen

- Codierung kann für beliebige Wellendurchmesser (≥ 10 mm) angepasst werden, sodass die jeweils maximal mögliche Auflösung erreicht wird

- Messung von nur einer Markierungsreihe (pro Sensor)
 - Hohe Auflösung bei hohen Geschwindigkeiten
 - Bei mehreren Reihen würden Verschiebungen zwischen Reihen auftreten

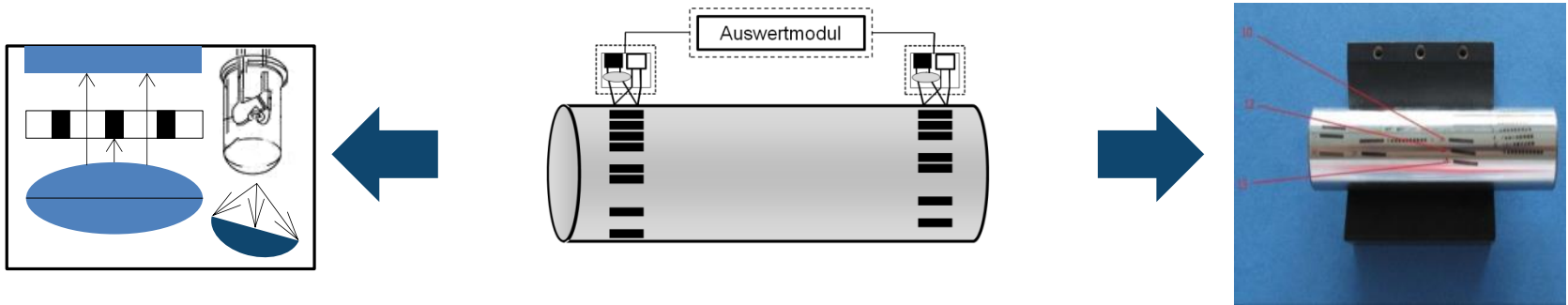
- Robustheit des optischen Aufbaus
 - Unempfindlich gegenüber Luftspaltänderung

- Industrie 4.0 und Ansätze der Umsetzung

- Praxisbeispiel: Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme
 - Aktuelle Drehzahl-/ Drehmoment-Messsysteme

 - Vorstellung des Forschungsprojekts „IntegrAD“
(Integrierter optischer Absolutgeber und Drehmomentmesser)

- Zusammenfassung



— Modularer Aufbau

— Keine zusätzlichen Bauteile

→ Integrationsmöglichkeit, unmittelbare
Messung ohne Genauigkeitsverluste

→ Kompakte Bauweise, Platzersparnis,
Gewichtsreduzierung

→ Keine Schwingungen der Scheibe,
stabile Ausgangssignale

→ Reduzierte Kosten

Tobias Menke (M.Sc.)

IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
Hollerithallee 6
30419 Hannover



+49 (0)511 27976-230



+49 (0)511 27976-888



menke@iph-hannover.de



www.iph-hannover.de

Das IGF-Vorhaben 18200 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM) wird über die AiF und die DFAM im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- www.aif.de
- www.dfam.de
- www.fkm-net.de
- www.bmwi.de