

# Messtechnik 2

438.013

2 VO, Mi, 16:15-17:45, HS i9

Axel Pinz

# Curriculum

Bachelor, Pflicht:

*Messtechnik 1*

vorwiegend elektrische Größen

*Messtechnik 2*

nichtelektrische Größen,

Schwerpunkt: optische/bildgestützte MT

Vertiefende LVAs im WS:

*Bildgestützte MV*

Geometrie, Radiometrie

*Opt. Methoden*

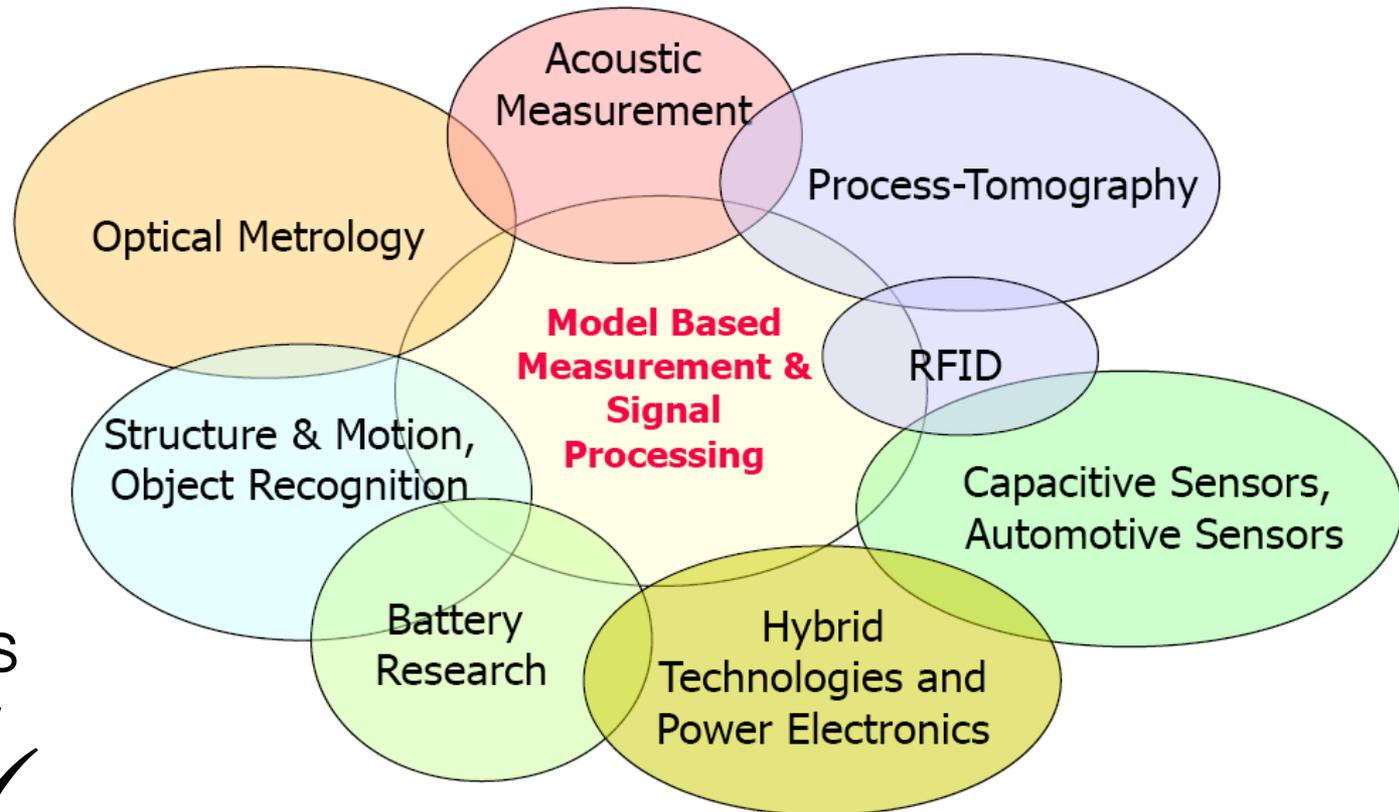
Optik, Licht, Sensoren, Laser-MT

*Image and video  
understanding*

Recognition in image and video

# Projekte, Seminare, Diplomarbeiten am EMT

Vielfältige, hochinteressante Arbeitsbereiche  
 Beste internationale Vernetzung in der Forschung  
 Exzellente Industriekontakte

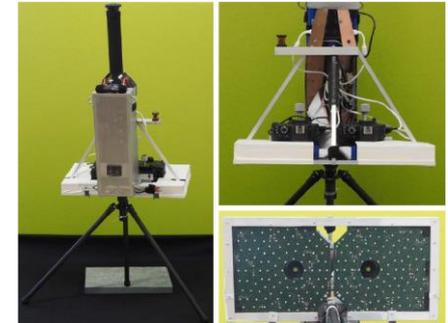


Event: BAKK::MAS  
 Di, 7.3., 12-16 Uhr  
 HS i1 ✓

# Vision-based and optical Measurement

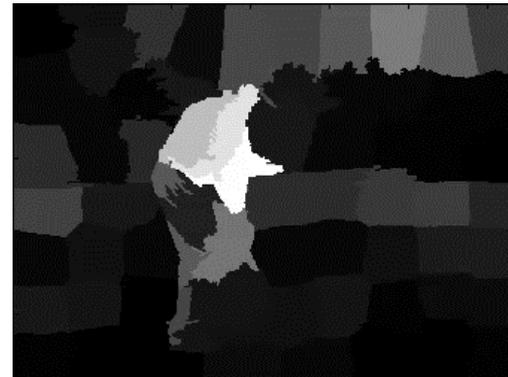
## **Reconstruction**

- 3D Space + time
- Radiometry (i.e., surface color+reflectance, light sources, etc.)

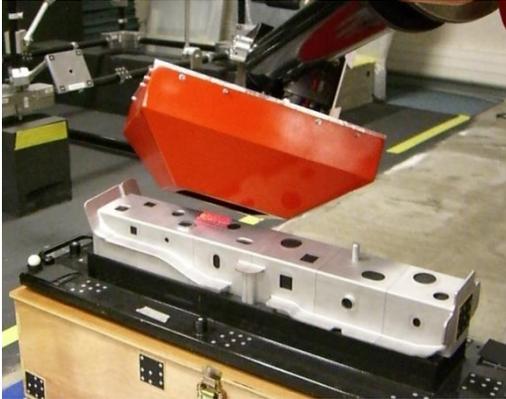


## **Recognition**

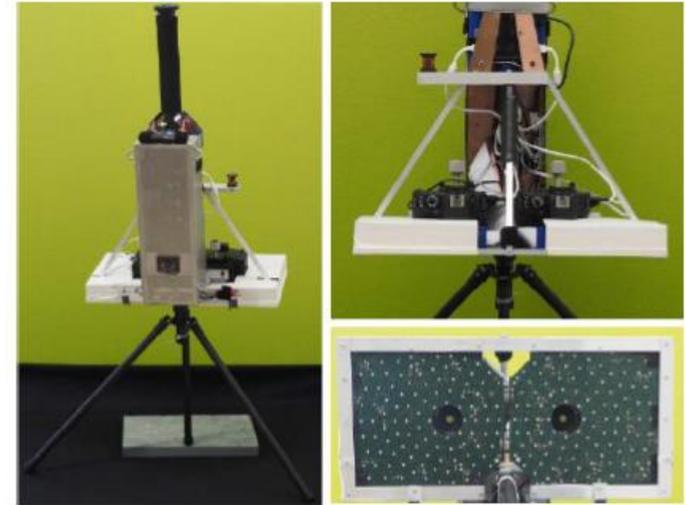
- Objects and categories in images
- Actions, events, scene dynamics in video



# Expertise in Custom Hardware Development



# Surface Acquisition 3D Geometry + Radiometry



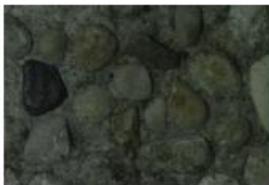
Use existing scanner hardware

Acquire dense 3D geometry + sparse SVBRDF

Develop estimation methods sparse  $\rightarrow$  dense SVBRDF

[Höll+Pinz, Geometry-Based Radiometry in the Wild, Proc. 3DV 2015]

[Weyrich et al., Principles of Appearance Acquisition and Representation, FnT 2009]



Contact: Axel Pinz: [axel.pinz@tugraz.at](mailto:axel.pinz@tugraz.at), 873-30503

# Active Vision – Representations & Actions

Paid MSc thesis



Many visual tasks can be significantly simplified when

- The scene can be changed
- Camera(s) can be actuated
- Interaction(s) with the scene are possible



Tasks:

- Analyse existing concepts, start from:
  - [Bajcsy, Aloimonos, Tsotsos, Revisiting active perception, arXiv:1603.02729]
- Plan and implement these ideas in the EMT “Active Vision Lab”
- Components include linear rails, turntable, pan/tilt heads, many cameras
- Further active components will be built
- Implement required representations and action schemes

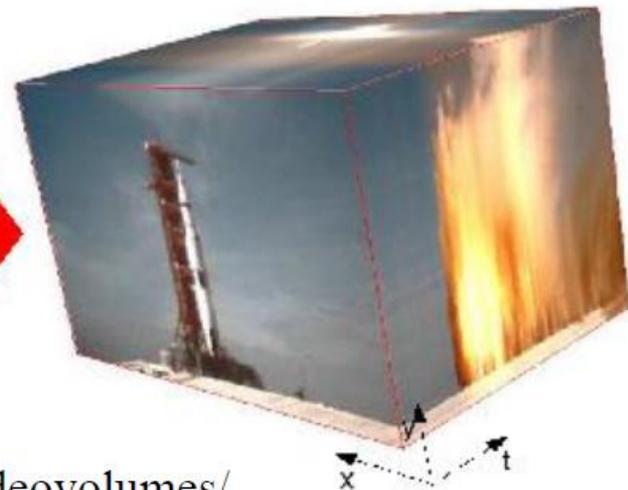
Contact: Axel Pinz: [axel.pinz@tugraz.at](mailto:axel.pinz@tugraz.at), 873-30503

# Representing Space-Time Volumes of Interest

Paid MSc thesis



Source: NASA



<http://breckon.eu/toby/demos/videovolumes/>

## Tasks:

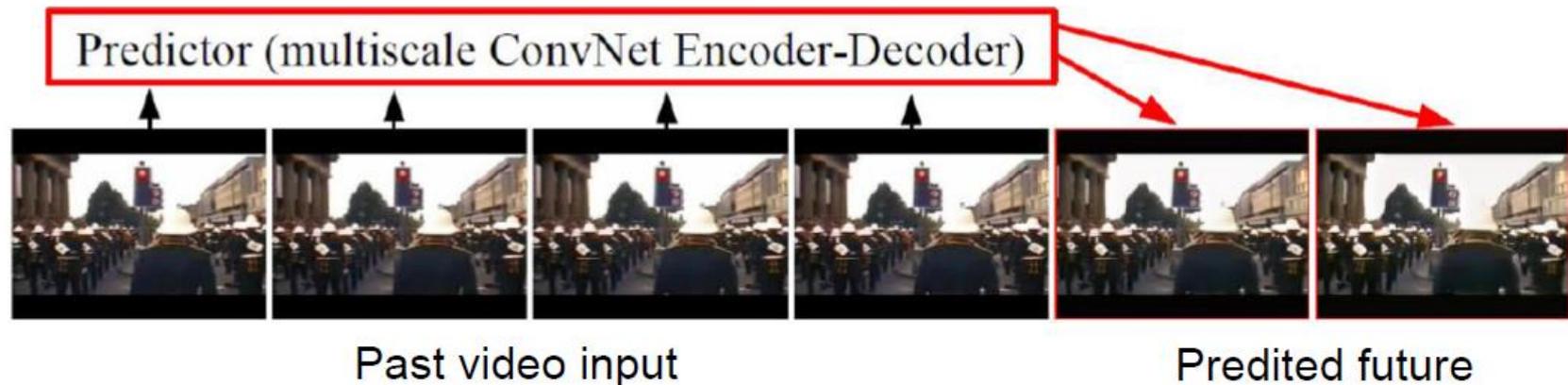
- Analyse existing representations:
  - Space-Time Interest Points STIP [Laptev IJCV'05]
  - Improved Dense Trajectories IDT [Wang&Schmid ICCV'13]
  - Temporal Superpixels TSP [Chang et al. CVPR'13]
- Extend towards “generalized tubes” in a 3D video volume

Contact: Axel Pinz: [axel.pinz@tugraz.at](mailto:axel.pinz@tugraz.at), 873-30503

# Predicting the Future in Video

- Can we teach machines to predict the future?

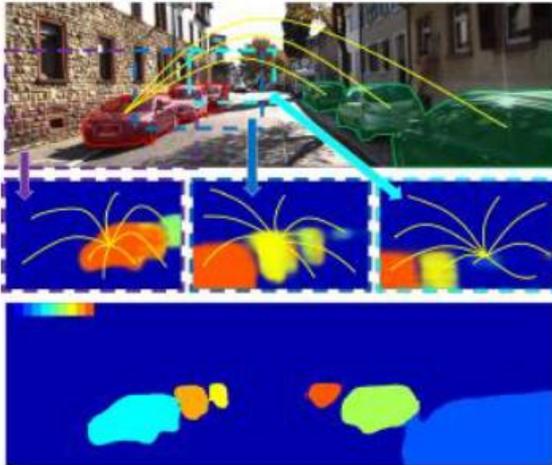
[Mathieu, Couprie, LeCun ICLR 2016]



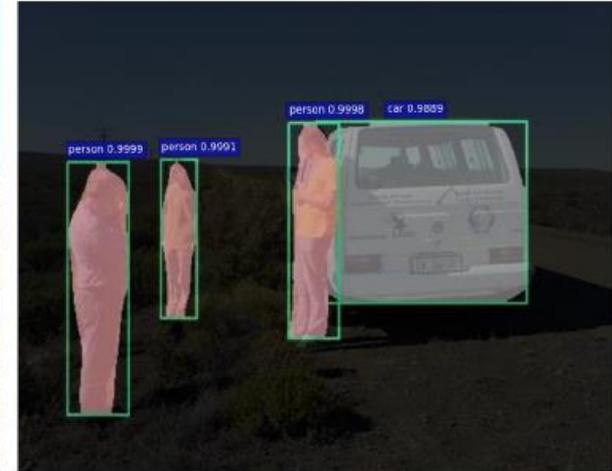
- Future prediction and anticipation of actions and objects in video
- Useful in several practical applications (e.g. driver assistance systems)
- Can build on our existing Two-Stream Convolutional Network

Contact: Christoph Feichtenhofer: [feichtenhofer@tugraz.at](mailto:feichtenhofer@tugraz.at)

# Instance Segmentation for Autonomous Driving



[Zhang, Fidler, Urtasun CVPR16]

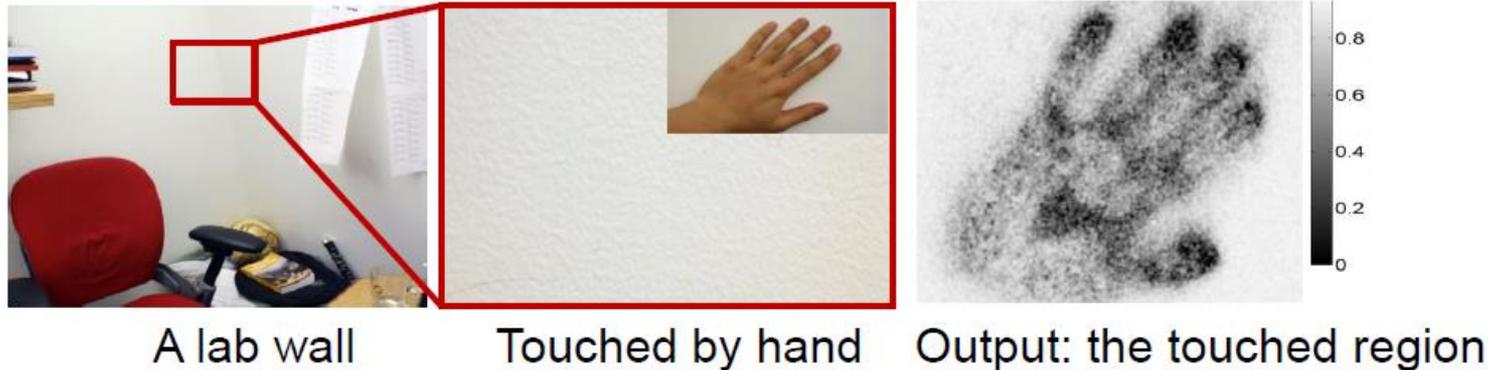


[Dai, He, Sun CVPR16]

- Detect object instances in video
- Existing system based on deep learning
- In the context of autonomous driving
  - Motion statistics can improve accuracy
  - Spatio-temporal regularization over short term input

Contact: Christoph Feichtenhofer: [feichtenhofer@tugraz.at](mailto:feichtenhofer@tugraz.at)

# Seeing the Invisible with Laser Speckles



Input: Before and after images

Output: The region that has been touched

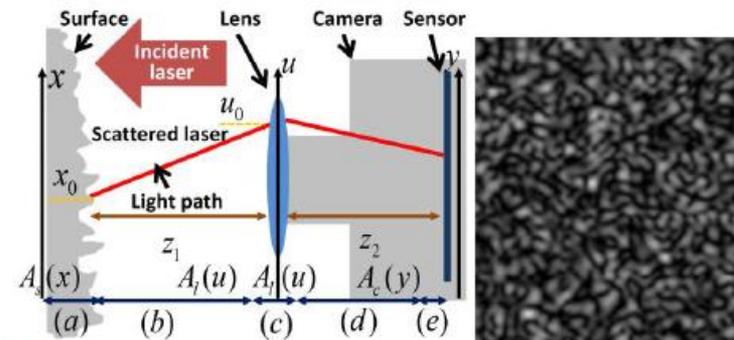
Tasks:

- Calibrate laser speckle interferometer
- Viewpoint alignment with high accuracy [1]

Contact: Christoph Feichtenhofer: [feichtenhofer@tugraz.at](mailto:feichtenhofer@tugraz.at)

[1] YiChang Shih, Abe Davis, Samuel W. Hasinoff, Frédo Durand, and William T. Freeman, **Laser Speckle Photography for Surface Tampering Detection**. *Proc. 25th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2012*

<http://groups.csail.mit.edu/graphics/speckle/>



# Messtechnik 2 – Übersicht

Grundlagen

Geometrische und mechanische Größen

Optische Größen

Messen aus Bildern

Drehzahl

Temperatur

Druck

Durchfluss, Viskosität, Dichte, Füllstand

Akustische Größen

Ionisierende Strahlung

# Unterlagen

**Jörg Hoffmann (Hrsg.). *Taschenbuch der MESSTECHNIK*. Fachbuchverlag Leipzig.**

Weiterführende Literatur: H.-R. Tränkler, E. Obermeier.  
*Sensortechnik*. Springer 1998.

**.ppt - Präsentationen, sonstige Information:**

<https://www.tugraz.at/institute/emt/lehre/lehrveranstaltungsunterlagen/messtechnik-2-vo/>

Bei Änderungen/Entfall von VOs → email per TUGOnline

**→ Bitte zur VO anmelden! ←**

# Grundlagen – Gegenstand der Messtechnik

$$X = x \cdot N$$

*Größe  $X$*

*Masszahl  $x$*

*Einheit  $N$*

Unbekannte Größe mit Massverkörperung vergleichen:

*Messen heißt vergleichen*

→ *Tabelle 1.1*

Tabelle 1.1 Begriffe der Mess- und Prüftechnik

Begriff	Erklärung
Eichen	Von einer staatlichen Eichbehörde (in Deutschland: PTB, Physikalisch-Technische Bundesanstalt) nach gesetzlichen Vorschriften vorgenommene Prüfung und Bestätigung (Stempelung)
Graduieren	Teilen einer Skale (Aufbringen von Teilungsmarken auf dem Skalenträger)
Justieren	Einstellen eines Messsystems, um Messabweichungen auf Werte zu bringen, die den technischen Forderungen entsprechen
Kalibrieren	Feststellen des für ein Messsystem gültigen Zusammenhangs zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße
Lehren	maßlicher Vergleich auf vorgegebene Grenzwerte mit Hilfe nichtanzeigender Prüfmittel
Maßliches Prüfen	objektiver Vergleich einer quantitativ unbekanntem Größe mit einer Maßverkörperung
Messen	quantitative Ermittlung des Wertes einer physikalischen Größe durch objektiven Vergleich mit einer Maßverkörperung
Nichtmaßliches Prüfen	subjektiver Vergleich durch Sinneswahrnehmung
Prüfen	Feststellen, ob ein Prüfobjekt in seinen Eigenschaften mit den geforderten hinreichend übereinstimmt
Schätzen	Behelf für Messen (Schätzen von Zwischenwerten, Bereichsabschätzung u. ä.)
Zählen	Feststellen einer Anzahl gleichartiger Objekte, Vorgänge oder Einheiten



[Hoffmann, TB der MT]

# Messtechnische Handlungen und Einrichtungen (1)

- Messobjekt (Träger der Messgröße)
- Messgröße (Objektmerkmal)
- Messgegenstand (messbare Eigenschaft)
- **Messeinrichtung**
- Messergebnis (einzelner Messwert, oder Ergebnis einer Berechnung aus mehreren Werten)
- Messmittel (Massverkörperung, Messgerät)
- **Messmethode**

# Messeinrichtung

*Konstruktive oder funktionelle Einrichtung zur Messung,  
Anzeige, Messdatenverarbeitung*

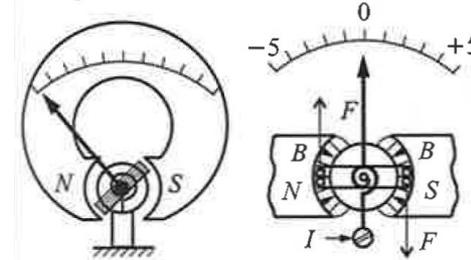
- Sensor (früher „Messfühler“)
- Wandler
- Anzeige-, Verarbeitungseinheiten
- Steuerungen, Programme

# Messmethode (1)

- Ausschlagmethode:  
Messgröße  $\rightarrow$  Anzeige

Tabelle 2.3

Drehschulmesswerk /0.49/



- Differenzmethode:  
Abweichung von  
Vergleichsgröße

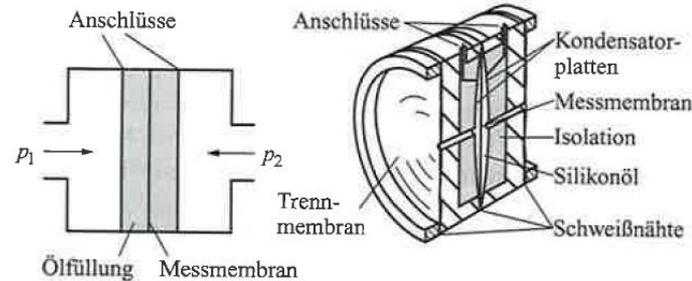


Bild 3.25 Prinzip und Schnitt durch einen kapazitiven Druckaufnehmer

- Kompensationsmethode:  
Nullindikation  
Übergang z.B. Kraft  $\rightarrow$  Strom möglich

[Hoffmann, TB der MT]

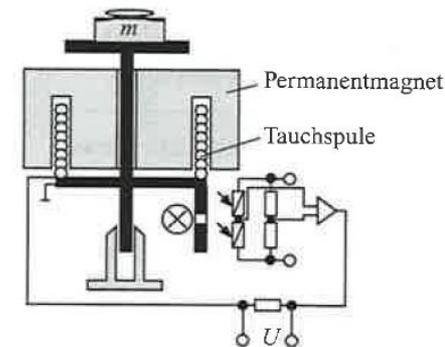
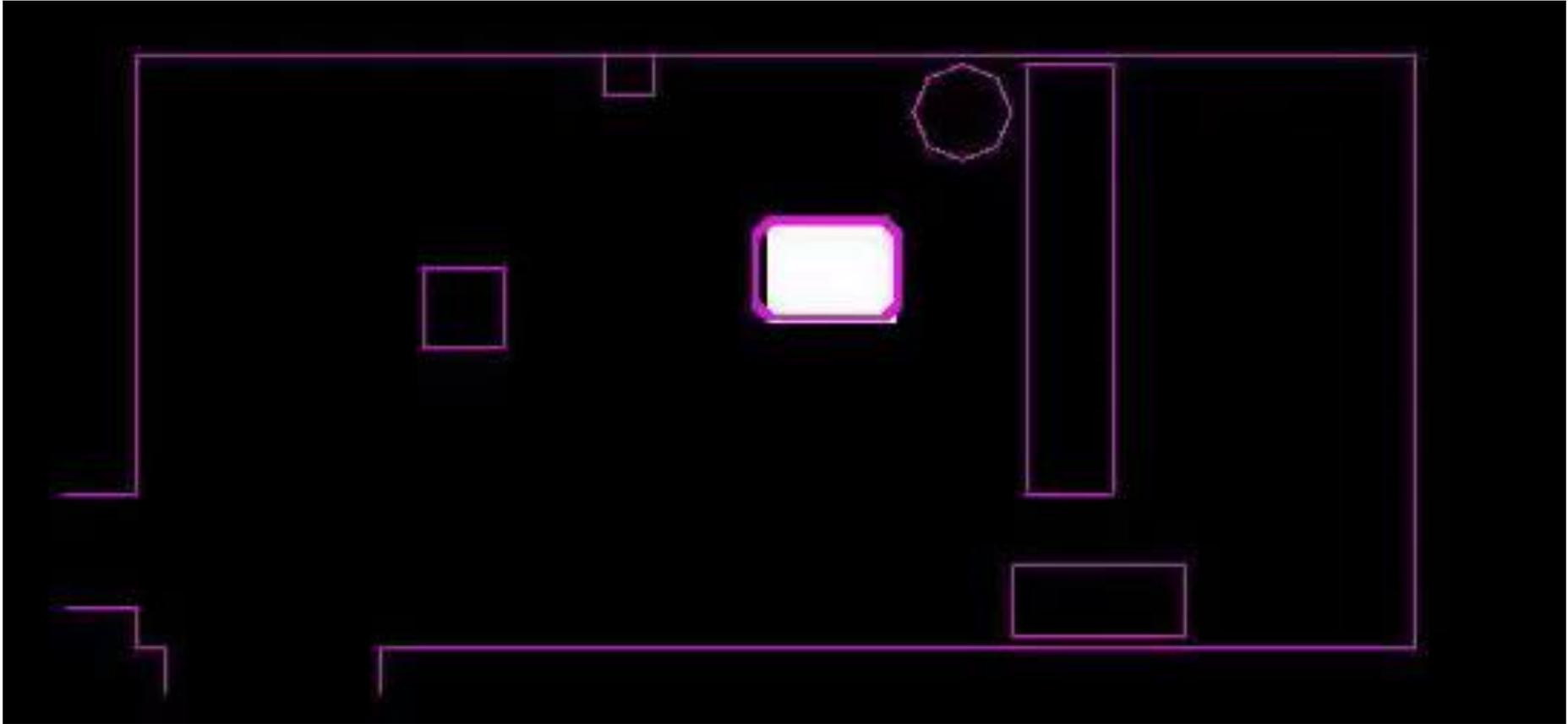


Bild 3.103 Elektrodynamische Kraftkompensationswägezelle

# Messmethode (2)

- Direkte Messung
- Indirekte Messung
- Inkrementelle Messung
  
- Beispiel Lokalisierung:
  - 3 DoF (mobiler Roboter)
  - 6 DoF (VR, AR) SLAM, PTAM, S+M, MSaM





[Andrew J. Davison, [Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera](#), *ICCV*, volume 2, 2003]

# Messtechnische Handlungen und Einrichtungen (2)

- Messverfahren
  - Praktische Anwendung einer Messmethode unter Nutzung eines Messprinzipes zur Gewinnung von Messwertern
- Messprinzip
  - Physikalisches Prinzip, Zusammenhang der genutzt wird
- Messreihen
  - Gesamtheit aller gemessenen Werte

# Messgrößenwandlung

*Umwandlung der zu messenden Größe in eine andere, zur Übertragung und Verarbeitung gut geeignete physikalische Größe*

→ *Tabelle 1.4*

Tabelle 1.4 Wandlungsprinzipie für häufige Messgrößen

Beeinflussende Größe (Einganggröße)	Beeinflusste Größe (Ausgangsgröße)	Physikalischer Effekt oder Zusammenhang	Anwendungsbeispiele
Weg (Winkel)	Weg (Winkel)	Hebelgesetze	
	Kraft (Moment)	Elastizitätsgesetze	Biegefeder
	Gas- oder Flüssigkeitsdruck	Strömungsgesetze	Düse – Prallplatte
	ohmscher Widerstand	piezoresistiver Effekt mechanischer Abgriff innerer fotoelektrischer Effekt	Dehnmessstreifen Potentiometer Fotowiderstand, -diode, -transistor
	Induktivität	Änderung infolge Luftspalt- oder Kopplungsänderung	induktiver Sensor
	Kapazität	Änderung von Plattenabstand, -fläche oder Permittivitätszahl	kapazitiver Sensor
Geschwindigkeit	Kraft (Moment) elektrische Spannung	Fliehkraftwirkung Induktionsgesetz	Fliehpendedel Generator, Tauchspule

[Hoffmann, TB der MT]

Tabelle 1.4 Wandlungsprinzipie für häufige Messgrößen (Fortsetzung)

Beeinflussende Größe (Einganggröße)	Beeinflusste Größe (Ausgangsgröße)	Physikalischer Effekt oder Zusammenhang	Anwendungsbeispiele
Kraft (Moment)	Weg (Winkel)	Elastizitätsgesetze	Biegefeder
	Induktivität	Abhängigkeit der Permeabilität vom mechanischen Spannungszustand	magnetoelastischer Sensor
	elektrische Spannung	piezoelektrischer Effekt	Piezosensor
Druck in Fluiden	Weg	Elastizitätsgesetze  hydrostatische Gesetze	federelastische Drucksensoren  U-Rohr und Abwandlungen
Strömungsgeschwindigkeit	Kraft Druck in Fluiden	Strömungsgesetze	Stauscheibe, -klappe, Schwebekörper

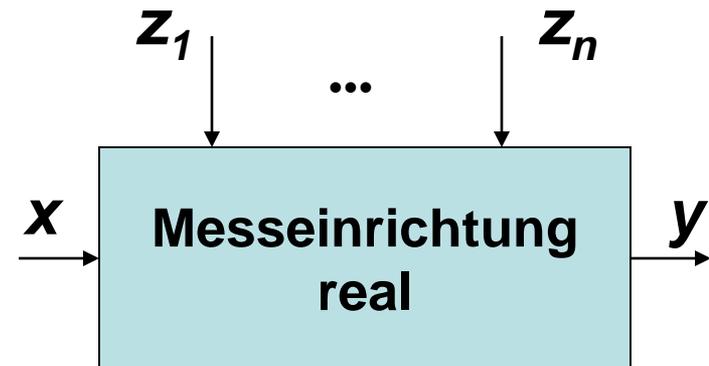
Strömungs- geschwindigkeit	Kraft Druck in Fluiden	Strömungsgesetze  Durchflussgleichungen (Strömungsgesetze)	Stauscheibe, -klap- pe, Schwebekörper  Wirkdruckverfahren
	Wirbelfrequenz	Karman'sche Wirbel- straße	Wirbel-Durchfluss- messer
Temperatur	Weg (Winkel)	Temperaturabhängig- keit von Länge und Volumen	Ausdehnungs-Ther- mometer
	Druck in Fluiden	Temperaturabhängig- keit des Drucks einge- schlossener Medien	Federthermometer
	ohmscher Widerstand	Temperaturabhängig- keit des elektrischen Widerstands	Widerstandsthermo- meter, Temperatur- sensoren
	elektrische Spannung	Seebeck-Effekt	Thermoelement
elektrischer Strom	Kraft (Moment)	Kraftwirkung des elektrischen Stroms (elektrodynamisches Kraftgesetz)	Elektromagnet, Drehspule, Tauchspule

# Grundstrukturen (1)

$x$  ... Messgröße

$y$  ... Anzeige od. Signal

$z$  ... Störgrößen



# Grundstrukturen (2)

- Reihenstruktur

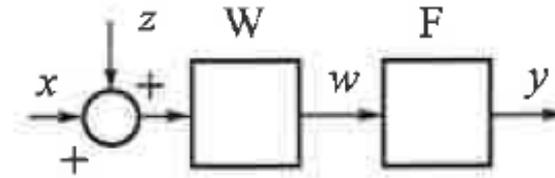


Bild 1.6 Reihenstruktur; W Wandler, F Filter

- Parallelstruktur

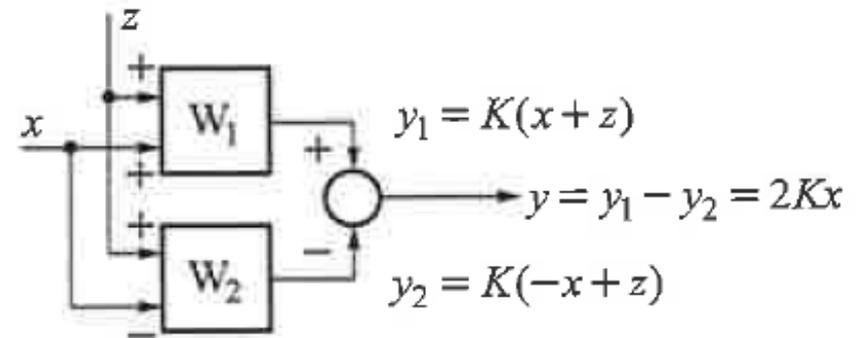
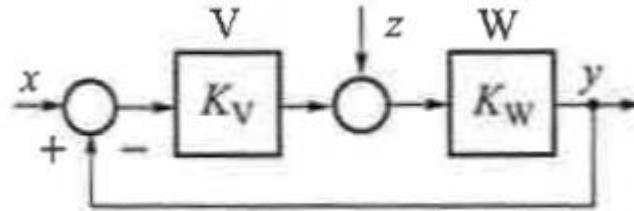


Bild 1.7 Parallelstruktur

[Hoffmann, TB der MT]

# Grundstrukturen (3)

- Kreisstruktur

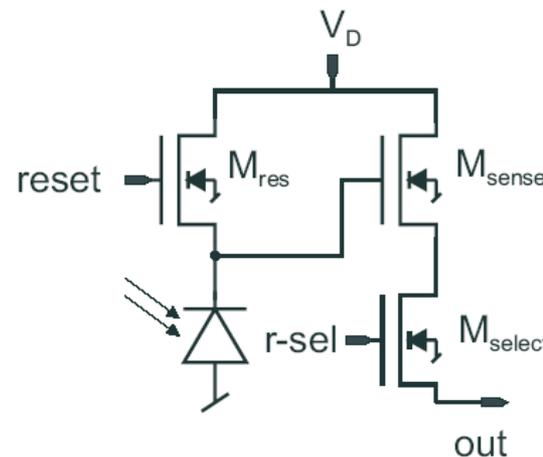
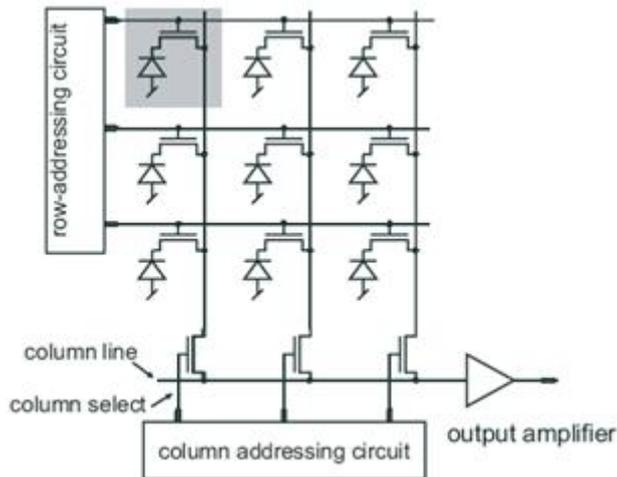


[Hoffmann, TB der MT]

Bild 1.8 Kreisstruktur

V Verstärker, W Wandler

## Beispiel Kamera PD-Array vs. APS



[Seitz, Solid state imaging  
Chapter 7 in  
Jähne, Handbook of  
Computer Vision]

# Grundstrukturen (4)

- Strukturelle Vereinheitlichung

- Messkette
- Schnittstellen

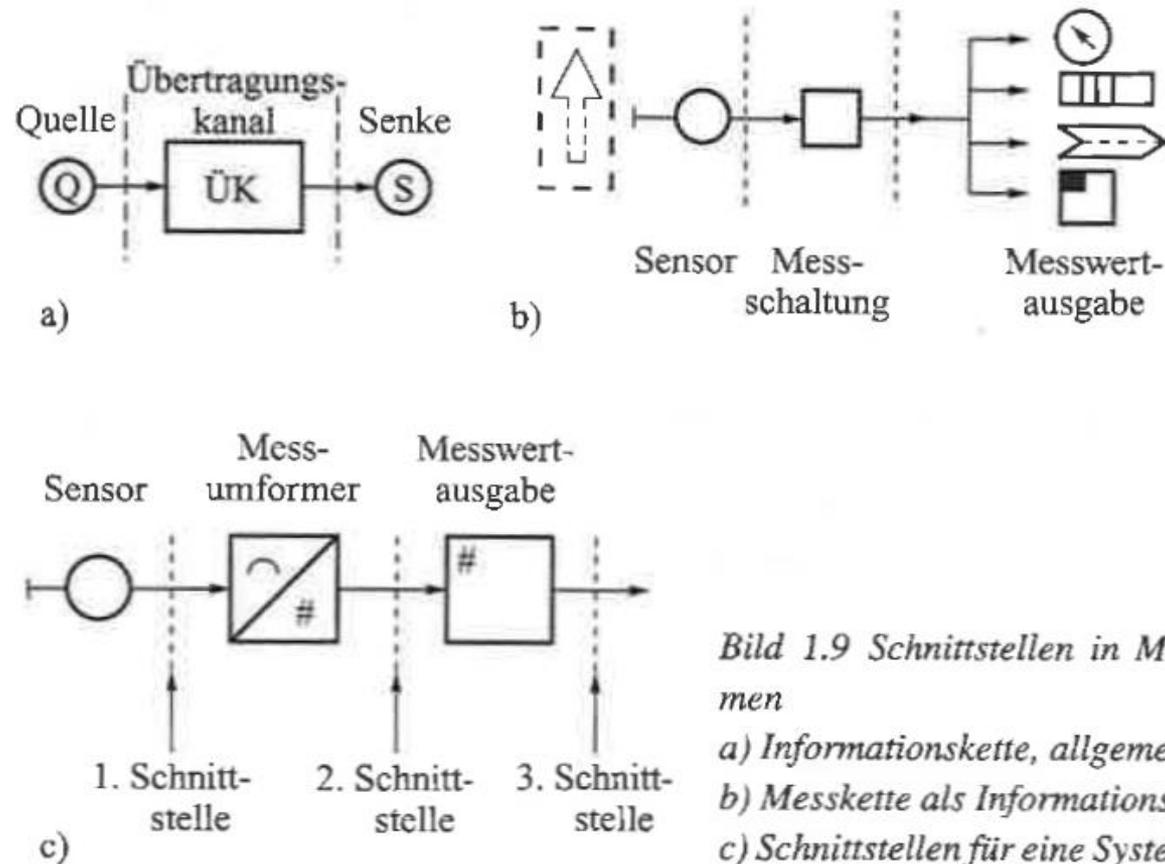


Bild 1.9 Schnittstellen in Messsystemen

a) Informationskette, allgemein,  
 b) Messkette als Informationskette,  
 c) Schnittstellen für eine Systemlösung

[Hoffmann, TB der MT]

# Signale

- Eigenschaften
- Signalwandlung (Amplitude, Frequenz, Modulation, Quantisierung)
- Abtasttheorem  $t_A < 1/(2f_0)$
- Einheitssignale
  - Lebender Nullpunkt → Funktionstüchtigkeit einfach überprüfbar !
  - Toter Nullpunkt

→ Tabellen 1.5, 1.6, Bild 1.20

Tabelle 1.5 Eigenschaften von Signalen

Signalmerkmal	Definition	Vorteile	Nachteile	Anwendung vorteilhaft für
analog	Informationsparameter kann innerhalb gewisser Grenzen beliebig viele Werte annehmen	Proportionalität zwischen Messgröße und Informationsparameter	leichte Störmöglichkeit (Rauschen, Drift); keine Regenerierung möglich	Überwachung, Tendenzerkennung, dynamische Messungen
diskret	Informationsparameter kann nur endliche viele (diskrete) Werte annehmen	endliche Zahl von Amplitudenstufen; Störung erst nach Überschreiten der Grenzen; Regenerierung möglich	Abstand der Amplitudenstufen erscheint als Fehler (Quantisierungsfehler)	automatisierte Informationsverarbeitung
binär	Informationsparameter kann nur genau zwei Werte annehmen (0 und 1)			
digital	diskrete Werte des Informationsparameters entsprechen einem vereinbarten Alphabet			Digitalmessgeräte, Digitalanzeige; Messwertverarbeitung, rechnerintegrierte Leitsysteme
kontinuierlich	Informationsparameter kann sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt ändern	Ereignisse und Tendenzen zu jeder Zeit erkennbar	zu jeder Zeit störanfällig	schnelle Vorgänge (Tendenzerkennung)
diskontinuierlich	Informationsparameter kann sich nur zu bestimmten Zeitpunkten ändern	Störung nur zu bestimmten Zeitpunkten möglich	Information nur zu bestimmten Zeitpunkten; Zeitverzug möglich (Totzeit)	langsame Vorgänge; Prozessüberwachung
determiniert	Informationsparameter ist eine determinierte Größe	hohe Informationsdichte	Störung kann die gesamte Information vernichten	In-line-Messungen, einmalige Vorgänge
stochastisch	mindestens ein Informationsparameter bildet eine stochastische Größe ab	Störungen innerhalb des Schwankungsbereichs wirkungslos	geringe Informationsdichte; Zeitbedarf zur Ermittlung des Ergebnisses	statistische Zufallsprozesse; Identifikation; Einsatz bei großen Störungen und unter extremen Bedingungen

[Hoffmann, TB der MT]

Tabelle 1.6 Parameter von Einheitssignalen

Signalträger	Signalart	Informationsparameter	Wert bzw. Wertebereich
Gleichspannung	elektrisch analog	Stromamplitude	0...20 mA (toter Nullpunkt) 4...20 mA (lebender Nullpunkt)
		Spannungsamplitude	1...10 V
	elektrisch digital	Spannungsamplitude	0...+0,4 V (0-Wert) 2,4...5 V (1-Wert) 24 V, 48 V, 60 V (für Kontaktbauelemente)
Wechselspannung	elektrisch analog	Spannungsamplitude	0...100 mV 0...10 V
	elektrisch binär	Frequenz	$f = 303 \cdot 1,085^{n-1}$ Hz; $n = 1, 2, \dots$ (Grenzwerte: 0,3 und 3,4 kHz)
Überdruck	pneumatisch analog	Druckamplitude	20...100 kPa
	pneumatisch digital	Druckamplitude	(0...0,2) $p_H$ (0-Wert) (0,8...1,0) $p_H$ (1-Wert) mit $p_H = 140$ kPa

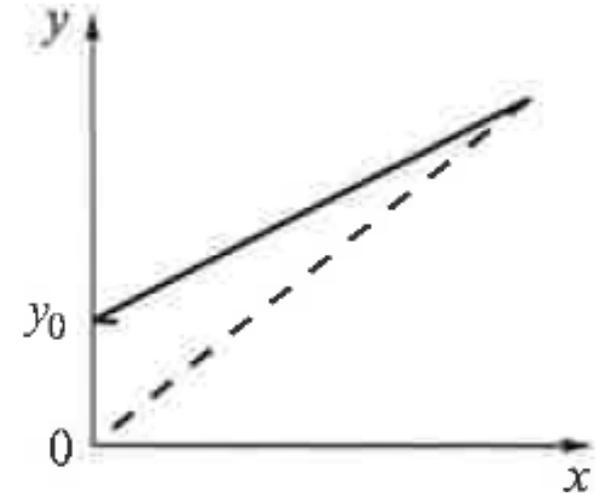
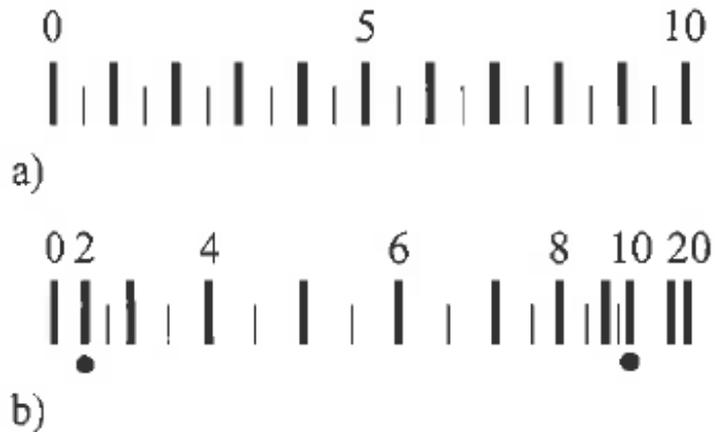


Bild 1.20 Prinzip des lebenden und toten Nullpunkts  
ausgezogene Linie: Kennlinie mit lebendem Nullpunkt (life zero), gestrichelte Linie: Kennlinie mit totem Nullpunkt (dead zero)

[Hoffmann, TB der MT]

# Statische Kennfunktionen und Kennwerte

- Kennlinie (linear, nichtlinear)  
Statische KL, nach Abklingen von Übergangsvorgängen
- Messbereich  
Änderungsbereich der Messgröße innerhalb dessen Fehlergrenzen eingehalten werden
- Anzeigebereich  
> Messbereich, Fehlergrenzen gelten nicht mehr
- Messschwelle  
Kleinsten Wert bei dem Änderung d. Ausgangsgröße erfolgt



*Bild 1.22 Skalenverläufe an Anzeigeräten*

*a) linear, b) nichtlinear; die Punkte markieren die Grenzen des Messbereichs*

[Hoffmann, TB der MT]

# Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte

- Sprungantwort
- Einschwingzeit
- Grenzfrequenz

# Messfehler

- *So genau wie nötig messen !!*
- [Hoffmann *TB der MT*]
  - Kap. 7 – Messfehler, Fehlerfortpflanzung
  - Kap. 8 – Messreihe, mittlerer Fehler, Vertrauensintervall