

Biomedizinische Messtechnik I

Prof. Wilhelm Stork

Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)



Wiederholung: Wir brauchen mehr IT im Gesundheitswesen!

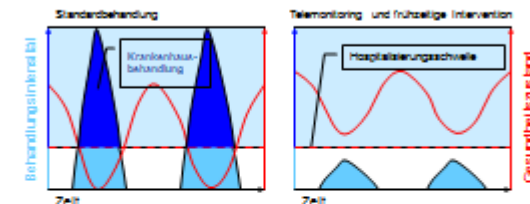
Informationstechnik für Medizin und Pflege



- Welche **Potentiale** besitzen **Informationstechnologien**, um die **Qualität** in der Versorgung insbesondere älterer Menschen zu steigern und gleichzeitig **Kosten** zu senken?
- Der Einsatz der Informationstechnik war in den vergangenen 30 Jahren der wichtigste Treiber für die enormen Produktivitätssteigerungen dieser Zeit.
- Der Einsatz der Informationstechnik in Medizin und Pflege hinkt der in anderen Branchen um mehr als **10 Jahre** hinterher.

2 20.02.09 W. Stork – Biomedizinische Messtechnik I Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

Prävention und Disease Management



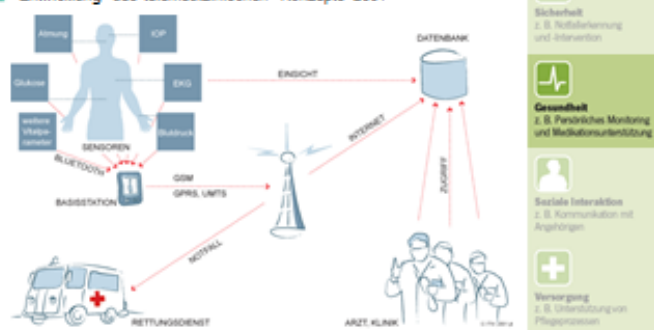
- Kontinuierliche Kontrolle des Krankheitsverlaufs
- Genaue Dokumentation
- Frühzeitige Intervention (Therapie-Steuerung)
- Geringere Behandlungsintensität (geringere Hospitalisierungshäufigkeit)
- Besserer Vitalstatus - Geringere Kosten

3 20.02.09 W. Stork – Biomedizinische Messtechnik I Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

Gesünder durch Telemedizin



- Gesundheitsstatusüberwachung durch am Körper tragbare oder ambulante Vitalensoren
- Frühzeitige Erkennung – frühzeitige Intervention
- Entwicklung des telemedizinischen Konzepts 2001

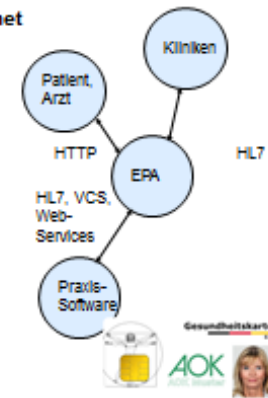


4 20.02.09 W. Stork – Biomedizinische Messtechnik I Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

Datenintegration: Elektronische Patientenakte

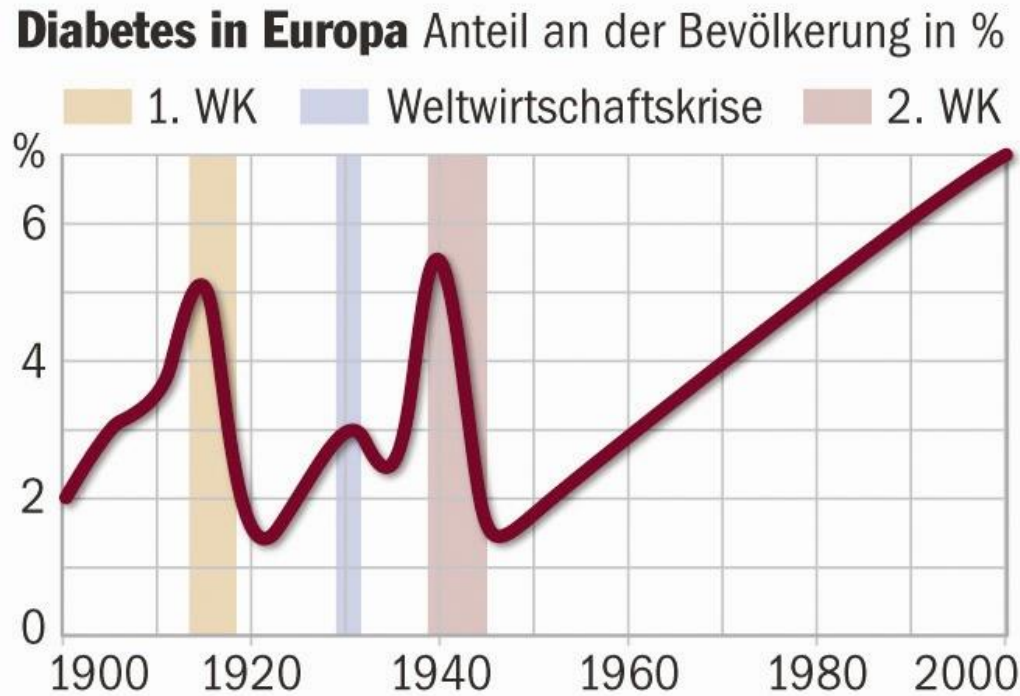


- Web-basierte Patientenakte im Intranet
- Speicherung von Patientendaten und Vitaldaten
- Darstellung/Zugriff über Web-Browser
- Sicherheitsmechanismen
 - Authentifizierung
 - Verschlüsselung

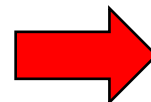


5 20.02.09 KIT – Universität des Saars, Elektronische Patientenakte und elektronische Gesundheitskarte (eGK) im Intranet Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV)

Verbesserung der Effizienz im Gesundheitswesen ist nicht nur eine Frage für die Profis, sondern vor allem auch eine für unsere Selbstverantwortung



Energiereiches
Nahrungsangebot führt zu
Übergewicht (Limonade)



- Diabetes
- Herz-Kreislauf Erkrankungen

Technischer Lösungsansatz für ein langes selbstständiges Leben im Alter: Ambient Assisted Living



Sicherheit

z. B. Notfallerkennung
und -Intervention



Gesundheit

z. B. Persönliches Monitoring
und Medikationsunterstützung



Soziale Interaktion

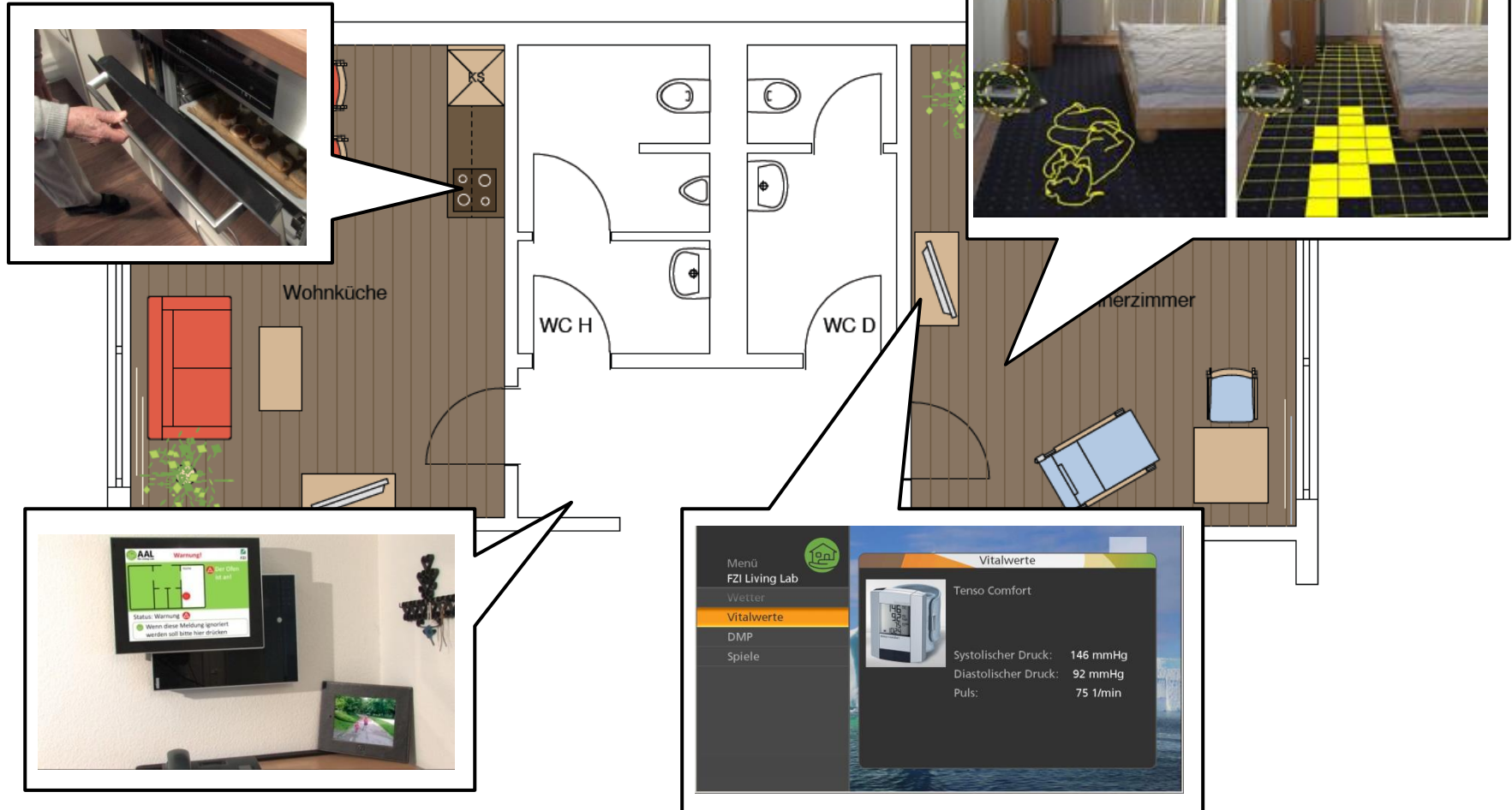
z. B. Kommunikation mit
Angehörigen



Versorgung

z. B. Unterstützung von
Pflegeprozessen

Living Lab für Smart Home



Tagesthemen 4.10.2012



Die rollende Ausstellung und ein Web Portal mit Informationen über aktuelle verfügbare Unterstützungstechnologien



**Wegweiser
Pflege und Technik**

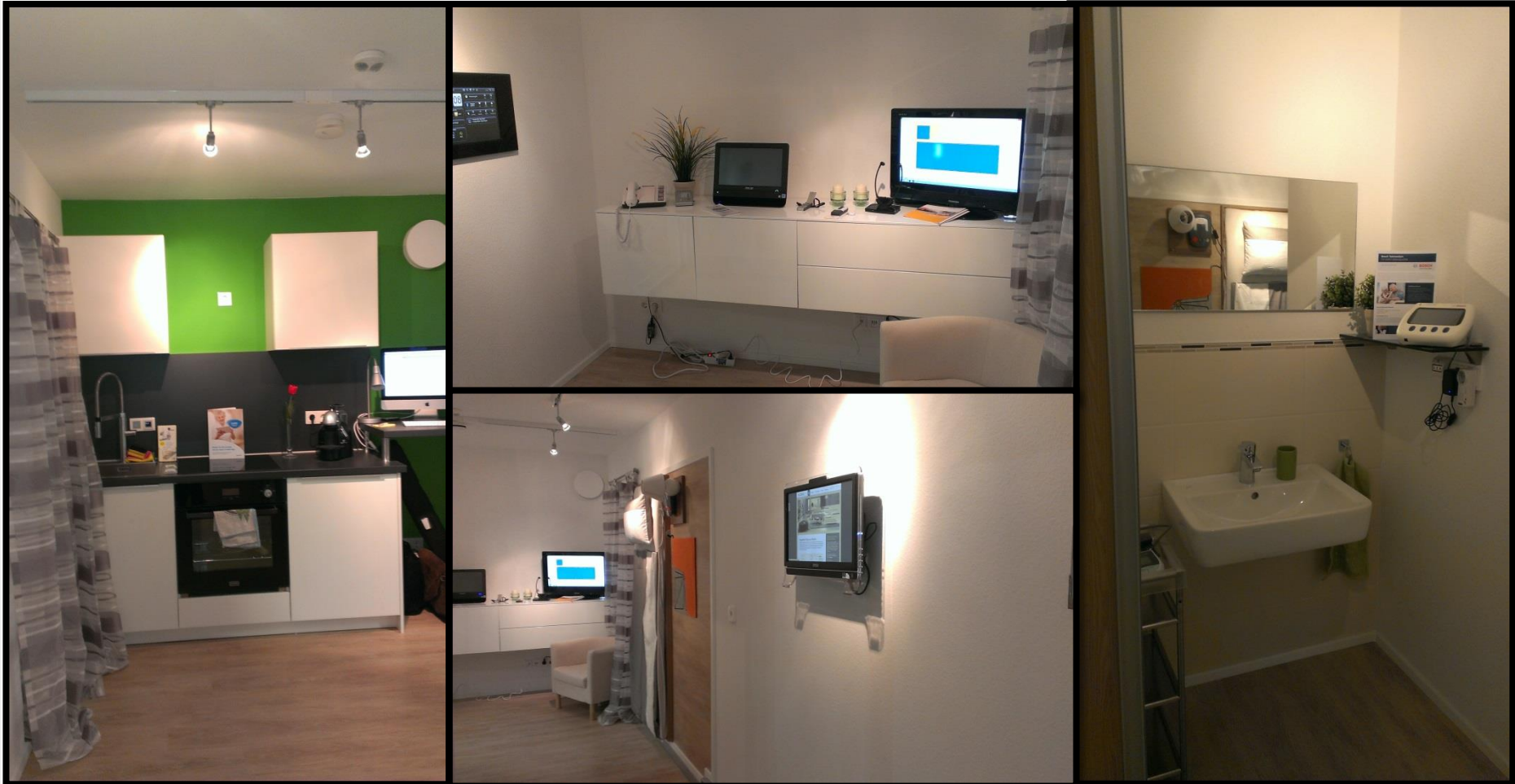


Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES

Außenansicht



Innenansicht



Portal: Wegweiser Pflege und Technik

(<http://www.wegweiserpflegeundtechnik.de/index.php/Hauptseite>)



Wegweiser Pflege und Technik

Die hier zur Verfügung gestellten Informationen sollen helfen einen Überblick über die Vielzahl von assistiven Technologien zu geben, die im Alter oder bei Pflegebedürftigkeit Unterstützung bieten können. Durch verschiedene Einstiegspunkte, wie den virtuellen Rundgang und reale Anwendungsfälle soll ein möglichst einfacher Einstieg in die Thematik geboten werden.



Rundgang

Erleben Sie den Einsatz von Technologien in einer virtuellen Musterwohnung.



Anwendungsfälle

Informieren Sie sich über mögliche Anwendungen von assistiven Technologien.



Produkte

Entdecken Sie eine Vielfalt an assistiven Produkten.



Dienstleister

Finden Sie ihren passenden Dienstleister vor Ort.

Letzte Neuigkeiten

2013/03/07 Erste Releaseversion kurz vor Fertigstellung



Besuchen Sie auch unsere Rollende Ausstellung

Sollten Sie Interesse an den hier dargestellten Technologien haben, sind sich aber noch unsicher über deren Anwendung und Funktionalität, dann erleben Sie sie doch hautnah und bei Ihnen vor Ort in unserer Rollenden Ausstellung.

Mehr Informationen und einen grafischen Überblick finden Sie im Bereich **Rundgang**.

Nächste Termine

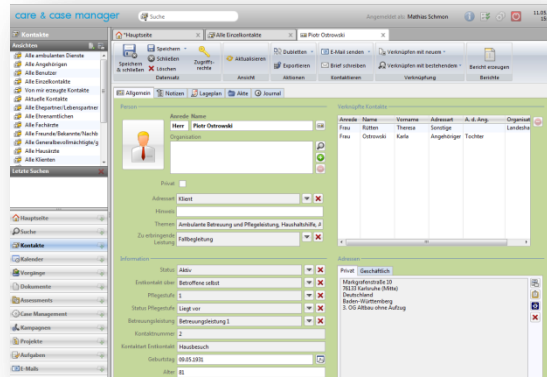
09.04.2013 - **Altenpflege 2013**
25.04.2013 - **REHAB International**

Aus der Forschung ins Produkt. Success Story CareCM

2007 – 2010

Projekt VitaBIT (BMW i)

- Plattform für die vernetzte Pflege



2009 – 2012

Projekt easyCare (BMBF)

- Unterstützung für pflegende Angehörige
- Software für Care & Case Management

2011 –

Gründung Spin-Off *nubedian GmbH*

- Vermarktung von CareCM als Produkt



- 
- A black fabric belt with a white rectangular sensor unit attached. The belt has a red rectangular patch and the 'movisens' logo with a starburst icon.



Kit-Stick: Nutzung sozialer Netze für Fitness und Gesundheit



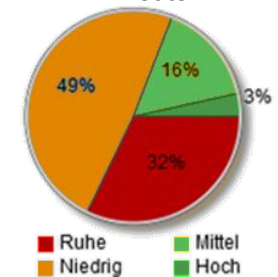
Hallo Lisa



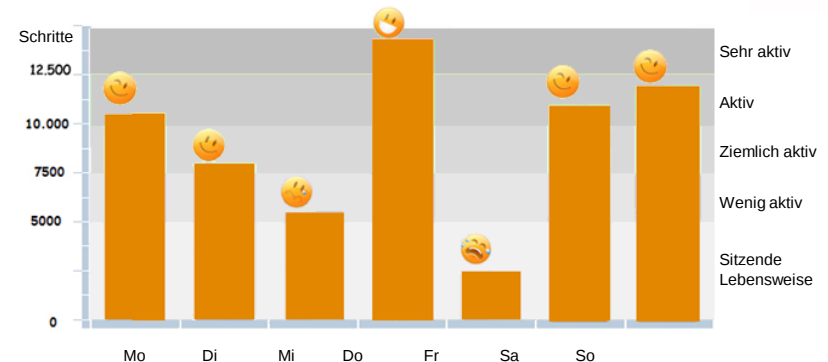
In deiner Gruppe (ITIV) bist du auf dem 4. Platz

In deiner Altersklasse bist du Campusweit auf dem 86. Platz

Aktivitätslevel heute



Wochenziel
(70000 Schritte)

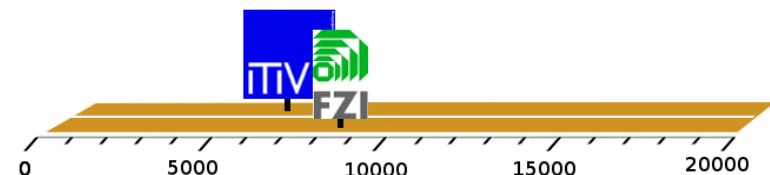


Freunde

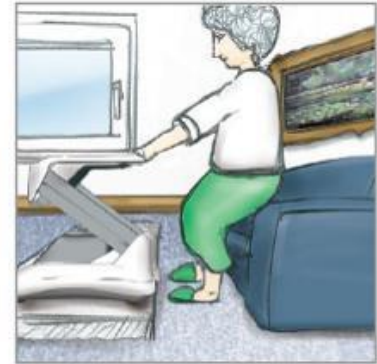
1. Petra
9146 Schritte
2. Lisa
9001 Schritte
3. Alex
8763 Schritte



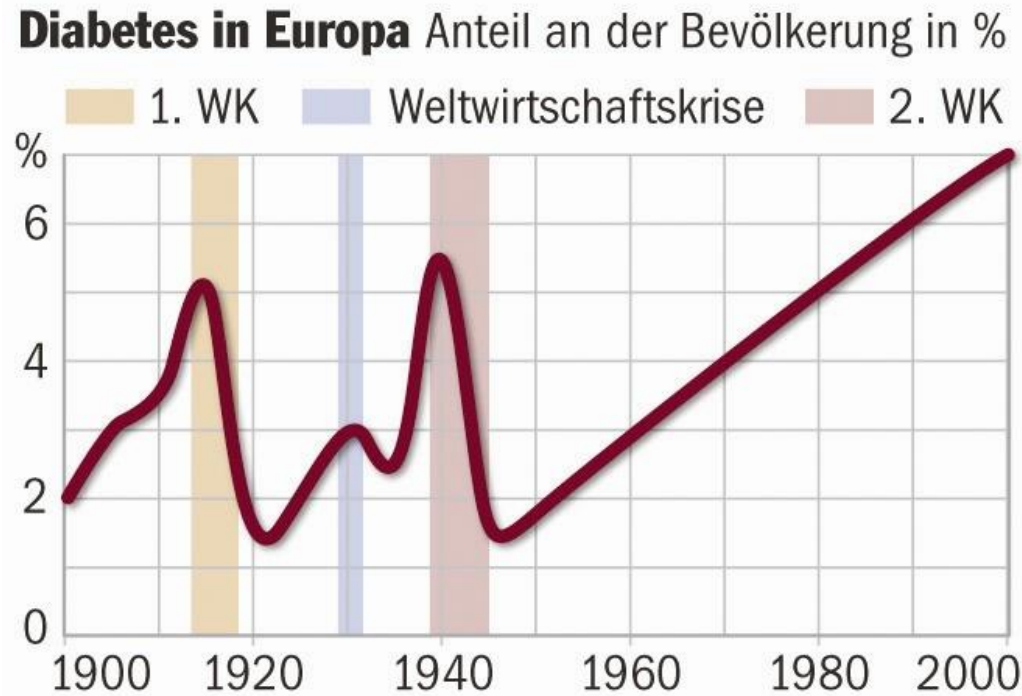
Institutswettbewerb



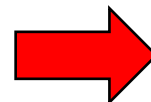
- Intelligenter Rollator
- Aktive Gehhilfe
- Aktive Aufstehhilfe
- Autonomer Modus
- Innenraumnavigation
- Messung physiologischer Parameter
- Altersgerechtes User-Interface
- Kommunikationsplattform



Verbesserung der Effizienz im Gesundheitswesen ist nicht nur eine Frage für die Profis, sondern vor allem auch eine für unsere Selbstverantwortung



Energiereiches
Nahrungsangebot führt zu
Übergewicht (Limonade)



- Diabetes
- Herz-Kreislauf Erkrankungen

Messtechnik

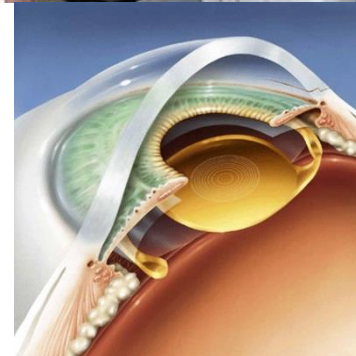
- Der Philosoph Plato (427 – 347 v. Chr.):
- „Das beste Mittel gegen Sinnestäuschungen ist das Messen, Zählen und Wägen. Dadurch wird die Herrschaft der Sinne über uns beseitigt. Wir richten uns nicht mehr nach dem sinnlichen Eindruck der Größe, der Zahl, des Gewichts der Gegenstände, sondern berechnen, messen und wägen sie. Und das ist Sache der Denkkraft, Sache des Geistes in uns“.
- Die medizinische Messtechnik, in unserem Fall die von Biosignalen des menschlichen Körpers, befasst sich mit der Erfassung von Signalen die am menschlichen Körper detektiert und gemessen werden können. Die Analyse dieser Signale wird zur Unterstützung von Diagnose und Therapie des menschlichen Körpers verwendet. Biosignale sind physikalische, zeitabhängige Größen, deren Verlauf, Verhalten und Struktur eine Aussage über die Funktion und Eigenschaften einzelner Organe erlaubt.

Medizintechnik

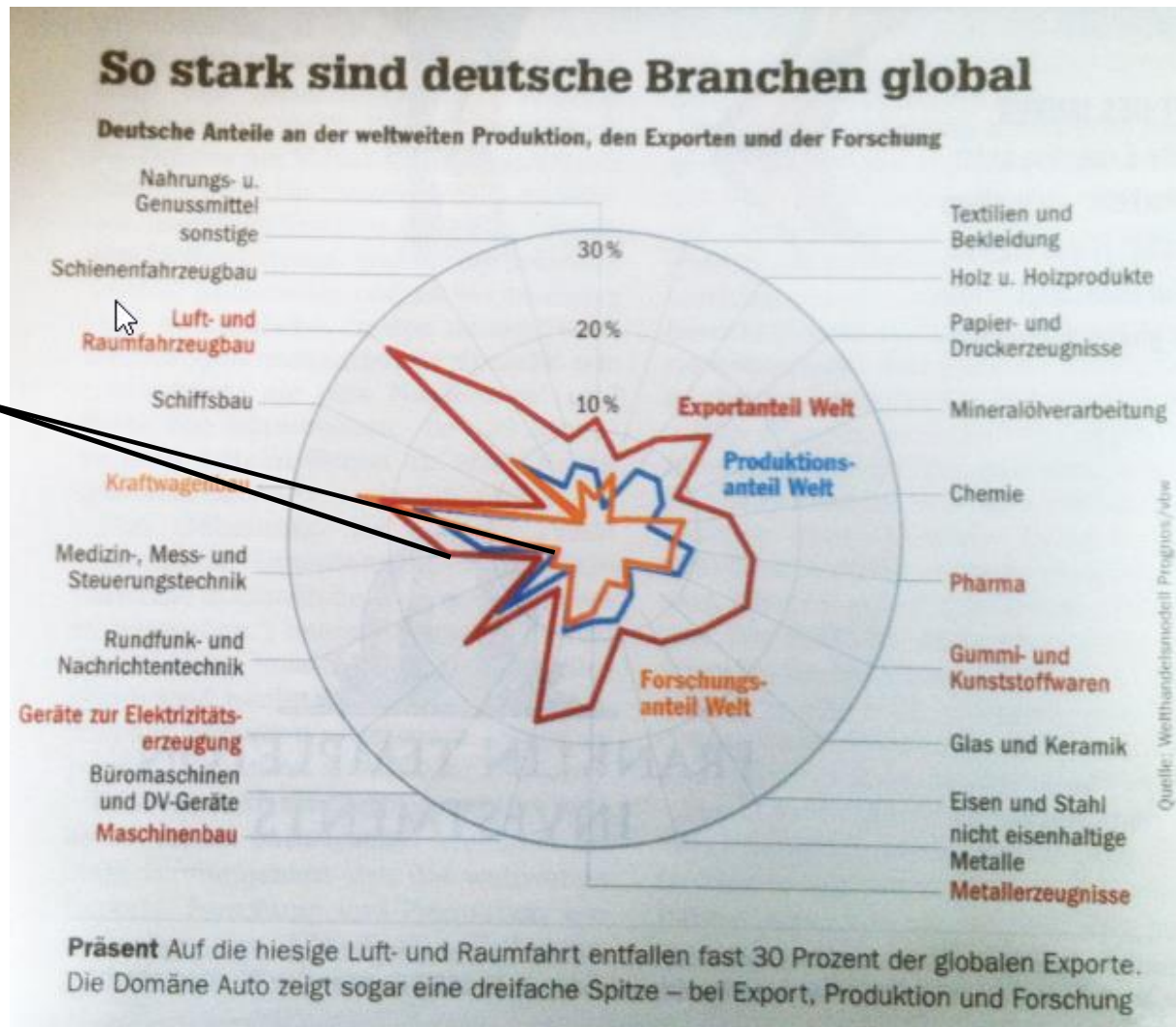
- **Medizintechnik**, auch biomedizinische Technik genannt, ist die Anwendung von ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien und Regeln auf dem Gebiet der Medizin. Sie kombiniert Kenntnisse aus dem Bereich der Technik, besonders dem Lösen von Problemen und der Entwicklung, mit der medizinischen Sachkenntnis der Ärzte, der Pflegefachleute und anderer Berufe, um die Diagnostik, Therapie, Krankenpflege, Rehabilitation und Lebensqualität gesunder Einzelpersonen zu verbessern (Wikipedia).
- **Gesetzesrahmen:** Zur Abgrenzung kann beispielsweise das deutsche Medizinproduktegesetz (MPG) dienen: Medizintechnik erzeugt Geräte, Produkte und technische Verfahren, welche Medizinprodukte sind. Diese Definition reicht von einfachen Verbandsmaterialien bis zu medizinischen Großgeräten und vollständigen Anlagen.
- Medizinprodukt hilft bei der Erkennung, Verhütung, Überwachung, Behandlung oder Linderung von Krankheiten;

Beispiel für Medizinprodukte

- Dialysemaschine, Herz-Lungen-Maschine
- Intraokulare Linse, Herz-Schrittmacher
- Blutdruckmessgerät, EKG



Deutsche Branchenstärken (Focus 2012)



Der Markt für Medizintechnik

Weltmarkt nach Regionen
Anteil in Prozent (Prognosen)

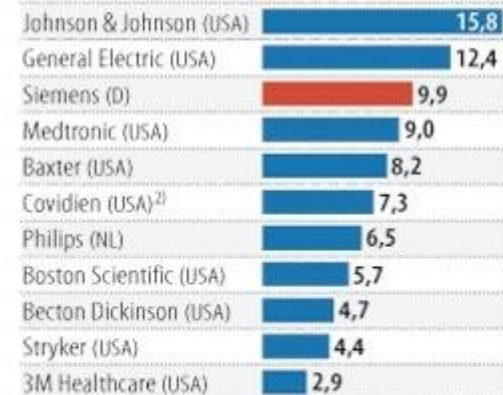


Weltmarkt nach Verwendung
Verteilung in Prozent (2005)

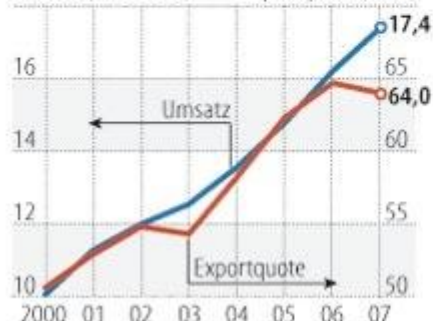


Führende Konzerne

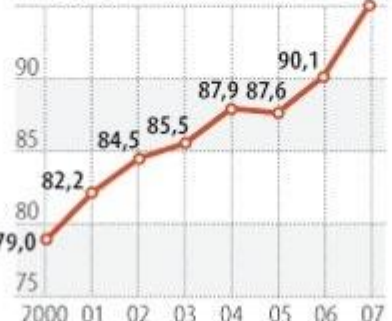
Umsatz in Milliarden Euro (2007)¹⁾



Umsatz und Exportquote in Deutschland
Umsatz (Mrd. Euro) Exportquote (in %)



Beschäftigte in Deutschland
in Tausend



Deutsche Unternehmen



1) Umrechnungskurs Dollar: Jahresdurchschnittskurs 2007 der EZB. 2) Vormalig Tyco Healthcare.

Quellen: F.A.Z.-Archiv; Medistat; Philips; Spectaris; Statistisches Bundesamt; Unternehmensangaben / Foto: Siemens AG / F.A.Z.-Grafik Walter

Vergleich zu anderen Branchen

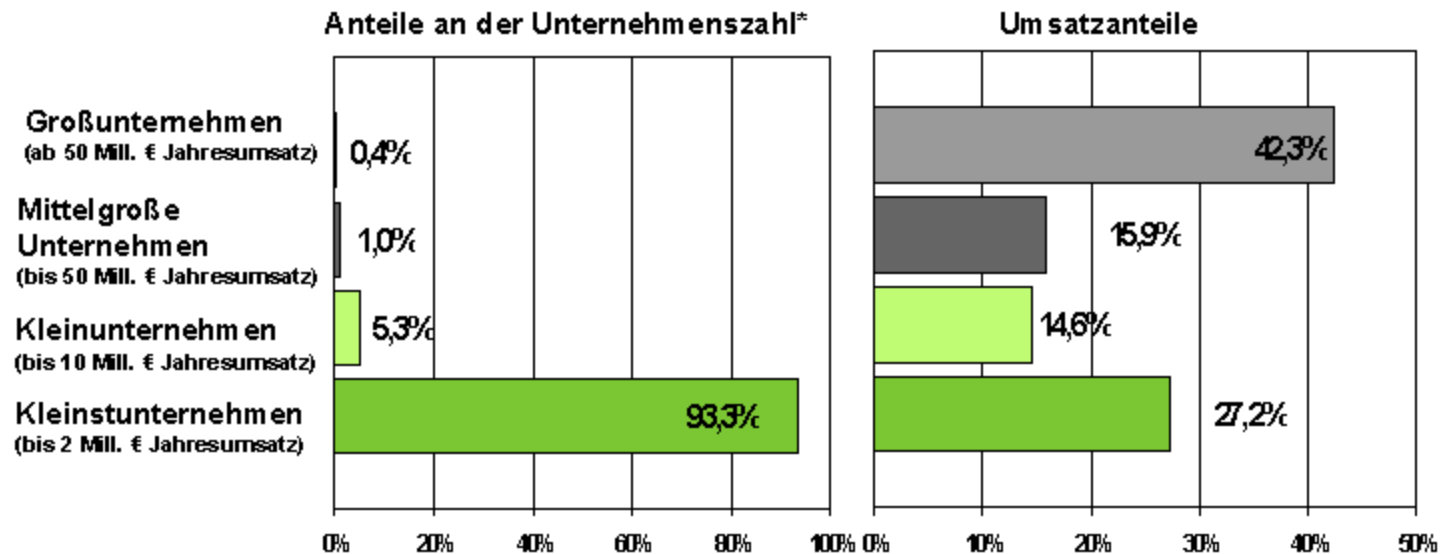
- Deutsche Exporte insgesamt ca. 1700 Mrd. US-\$

	Welthandels- anteile
Forschungsintensive Erzeugnisse insg.	11,8
nach FuE-Intensität	
Spitzentechnologien	7,1
Hochwertige Technik	14,4
nach Produktgruppen	
Chemische Erzeugnisse	9,6
Pharmazeutische Erzeugnisse	14,8
Maschinenbauerzeugnisse	15,9
Büromaschinen, DV-Geräte	3,9
Elektrotechnische Erzeugnisse	12,6
Nachrichtentechnische Erzeugnisse	3,6
Medizin-, Mess-, Steuer-, Regeltechnik, Optik	11,4
Kraftfahrzeuge, -motoren sowie Zubehör	20,1
Luft- und Raumfahrzeuge	20,9

Größenklassen der deutschen Medizintechnikunternehmen

Deutsche Medizintechnik: Der Mittelstand dominiert

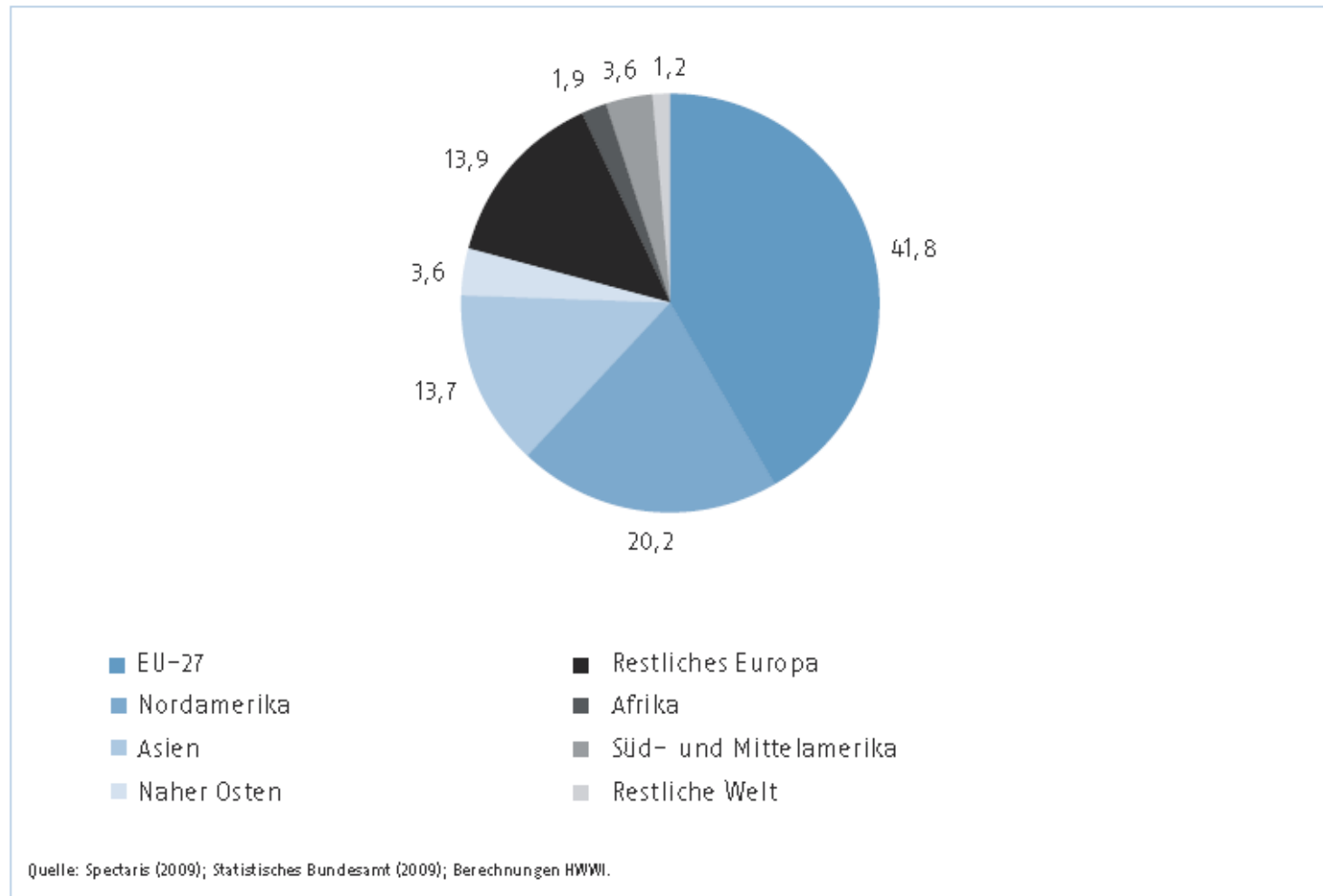
► Im internationalen Vergleich eher geringe Betriebsgrößen



*EU-Größenklassendefinition

Quellen: Statistisches Bundesamt, eigene Recherchen.

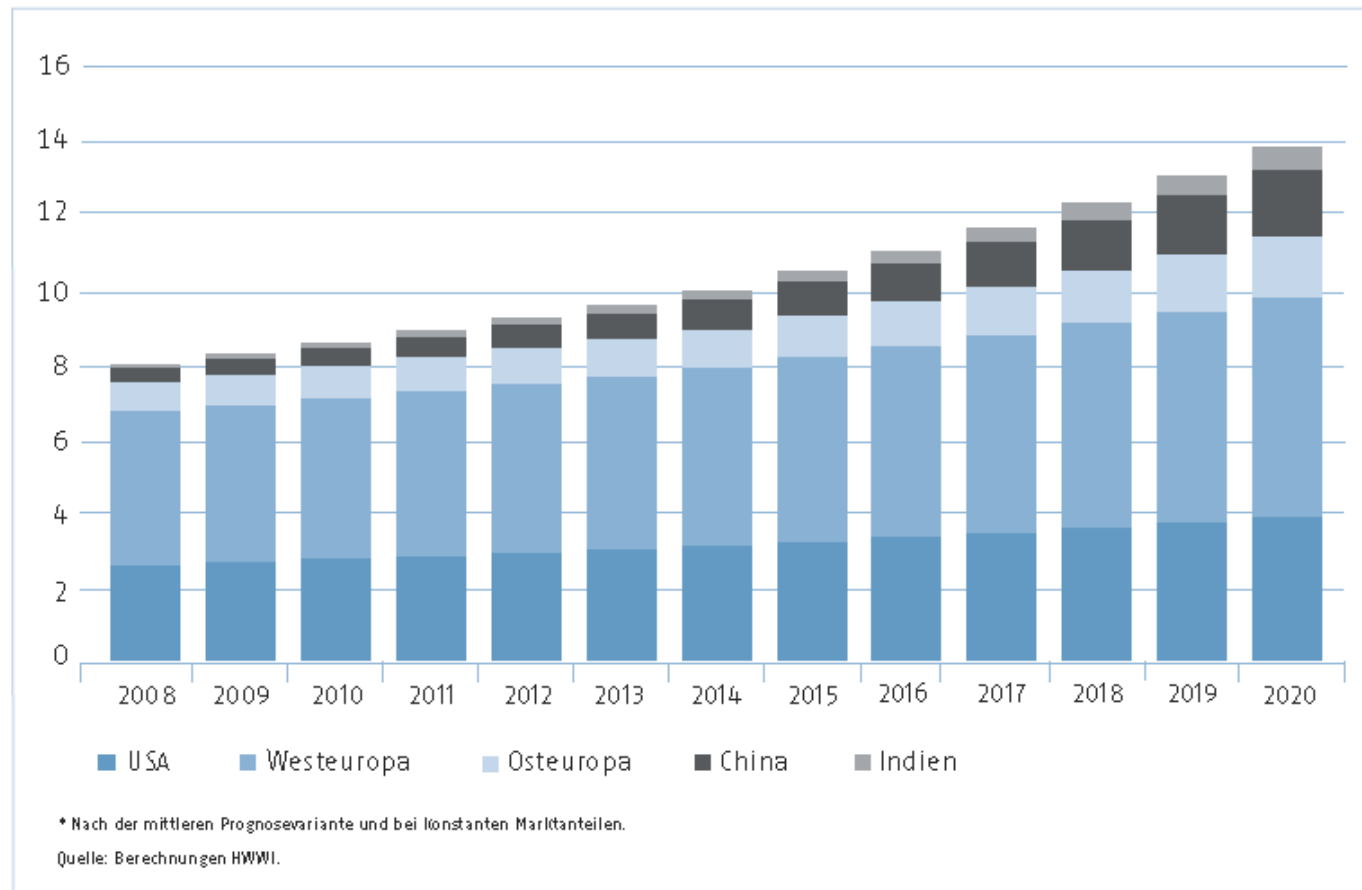
Abbildung 2: Exportmärkte der deutschen Medizintechnik in %, 2008



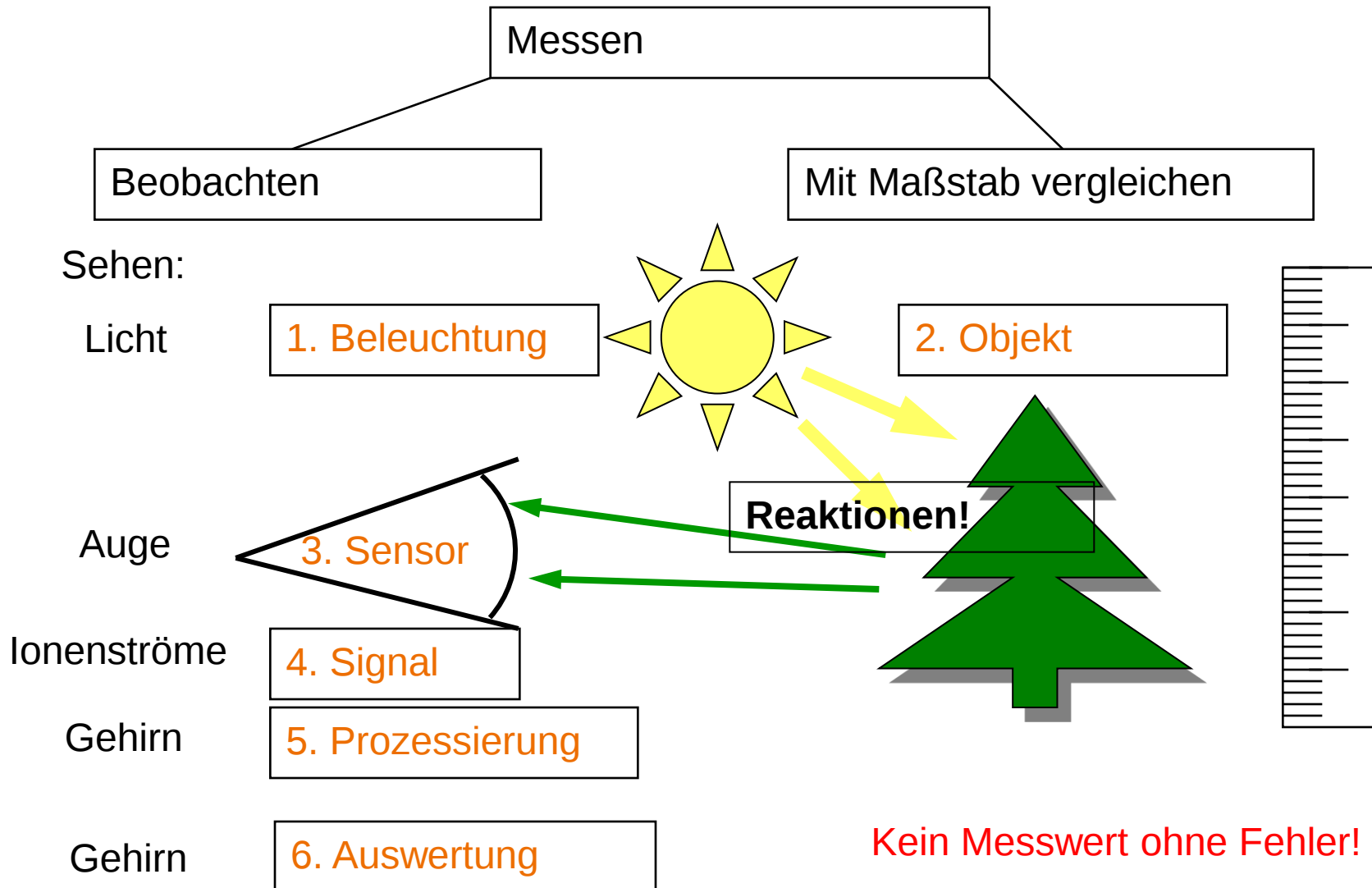
Prognose Medizintechnik: Gleichbleibendes Wachstum

■ Job-Chancen sind also nicht schlecht

Abbildung 16: Prognose der Absatzentwicklung, real in Mrd. Euro*



KAPITEL 2 : MESSEN UND MESSGRÖßEN

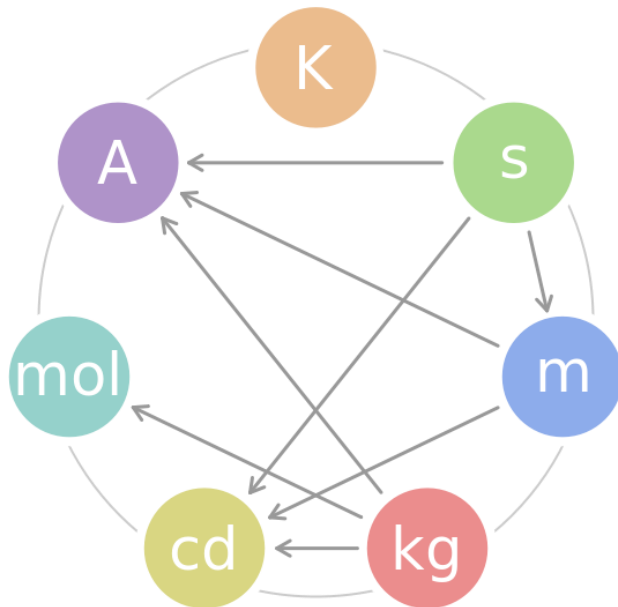


Messen: Historischer Rückblick

- **1799** Schaffung des **Urkilogramm** und des **Urmeter** aus Platin, Aufbewahrung der Urnormale im “Archive de la République” in Paris.
- **1830** Gauß und Weber definieren “absolute elektrische Einheiten” über die Grundgrößen des **CGS**-Systems (Zentimeter, Gramm, Sekunde).
- **1889** Die erste Generalkonferenz für Maß und Gewicht schafft Ausführungen der Prototypen für Meter und Kilogramm, die an die Mitgliedstaaten verteilt werden.
- **1893** Die Einheiten **V**, **A** und **Ω** werden durch empirische Normale dargestellt (Silbervoltmeter, Quecksilbern timer). Sie werden als “praktische” Einheiten bezeichnet.
- **1948** Internationale Einführung des **MKSA**-Systems mit den Grundeinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere. Die elektrischen Einheiten werden kohärent an die mechanischen Einheiten angeschlossen.
- **1960** Festlegung des “Internationalen Einheitensystems” **SI** (Système International d` Unites) durch die elfte Generalkonferenz für Maß und Gewicht.
- **1969** Das **SI**-System wird in Deutschland als verbindlich für den geschäftlichen und amtlichen Verkehr erklärt.

SI System

1960: Intern. Einheitensystem (SI) für 7 **Basisgrößen mit Basiseinheit**



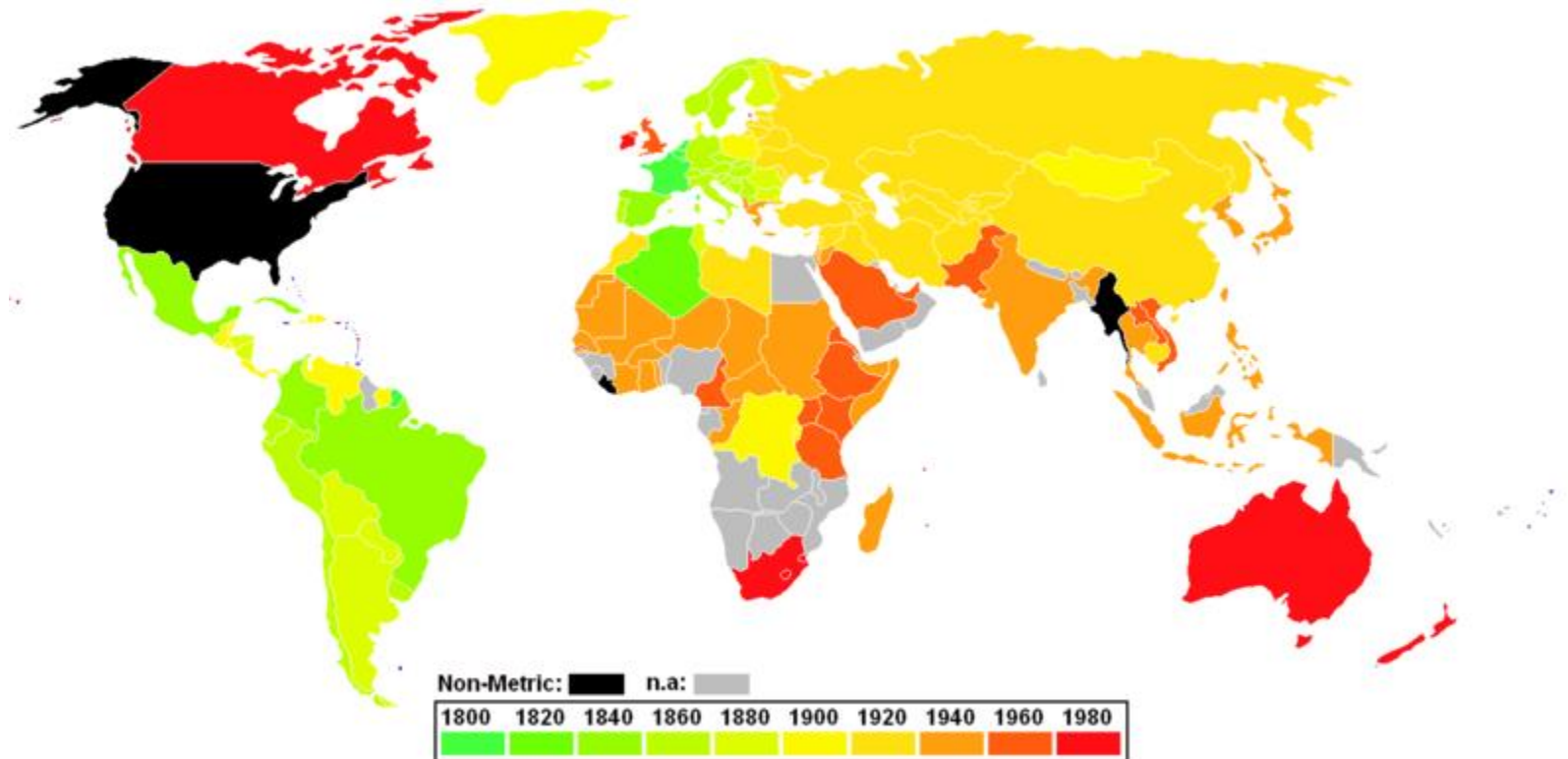
Die SI-Basiseinheiten und deren gegenseitige Abhängigkeiten durch die im Jahr 2012 gültigen Definitionen

Länge	m
Masse	kg
Zeit	s
Stromstärke	Ampere
Temperatur	Kelvin
Stoffmenge (1971)	mol
Lichtstärke	Candela

**vgl. Angloamerikanisches Maßsystem
"Imperiales System" (1824/1959)**

1978: Metrifizierung von UK, Kanada
"symbolisch", rechtliche Durchsetzung
angestrebt bis 2009 (unrealistisch!)

Einführung des metrischen Systems

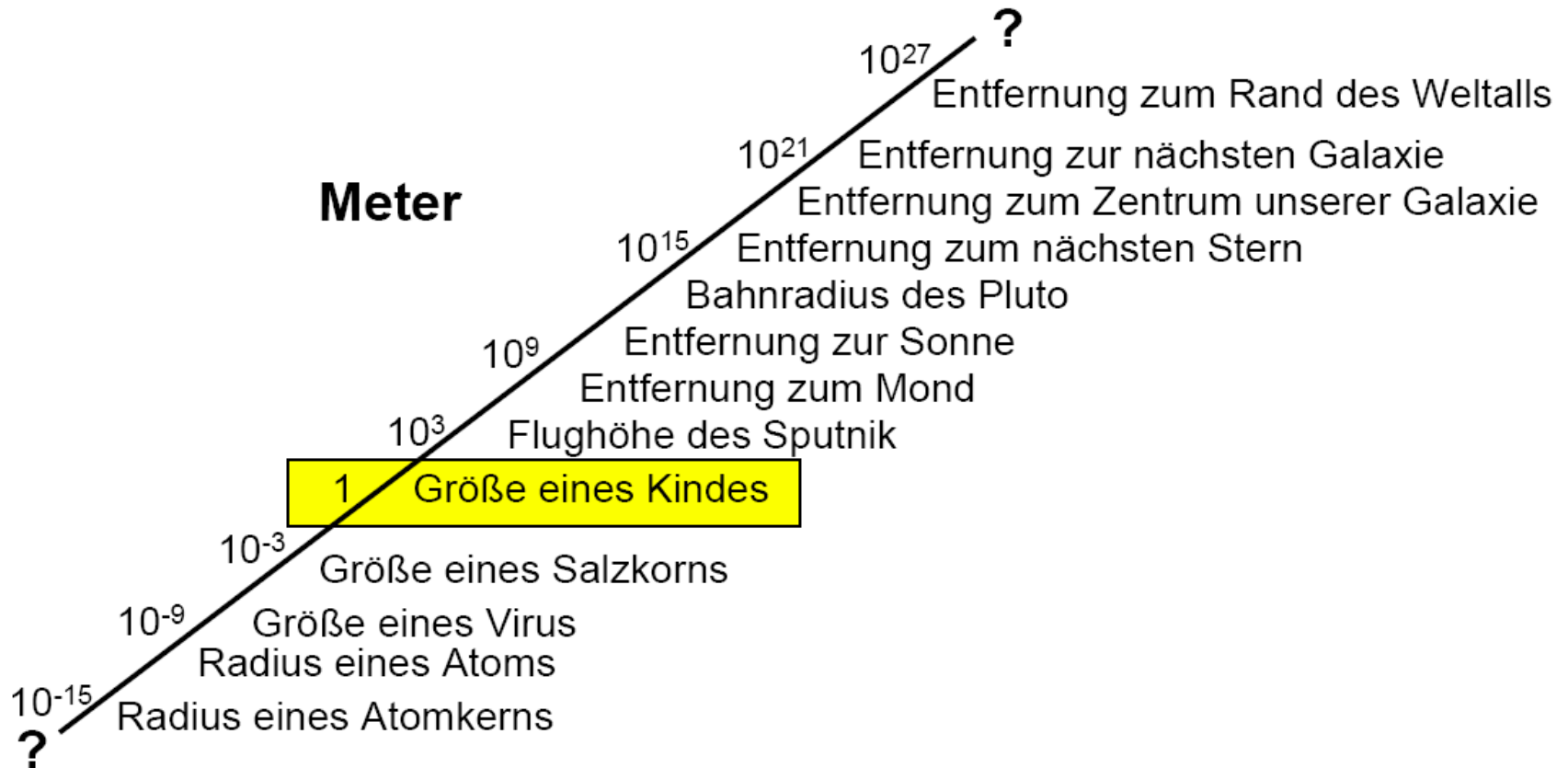


24. September 1999:

Totalverlust der Mars-Sonde MARS CLIMATE ORBITER

Softwareupdate (Lockhead Martin) mit "Pound Force" statt mit Newton!!!

Länge: Meter



Aktuelle Definition des Meters

Basisgröße **Länge** mit Basiseinheit **ein Meter (1m)**:

1983: Die Strecke $x = t_s \cdot c$, die Licht in $t_s = 1/299792458$ s durchläuft, mit
Definition: $c = 299\,792\,458$ m/s

⇒ Das Meter ist auf Naturkonstante
und **Zeitmessung** zurückgeführt.

Längenkalibration mit Interferometer:

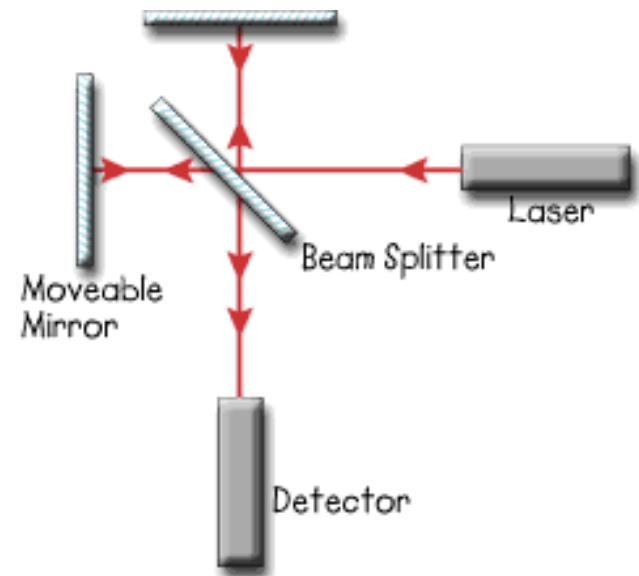
(He-Ne-) Lasers mit sehr stabiler Frequenz f

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

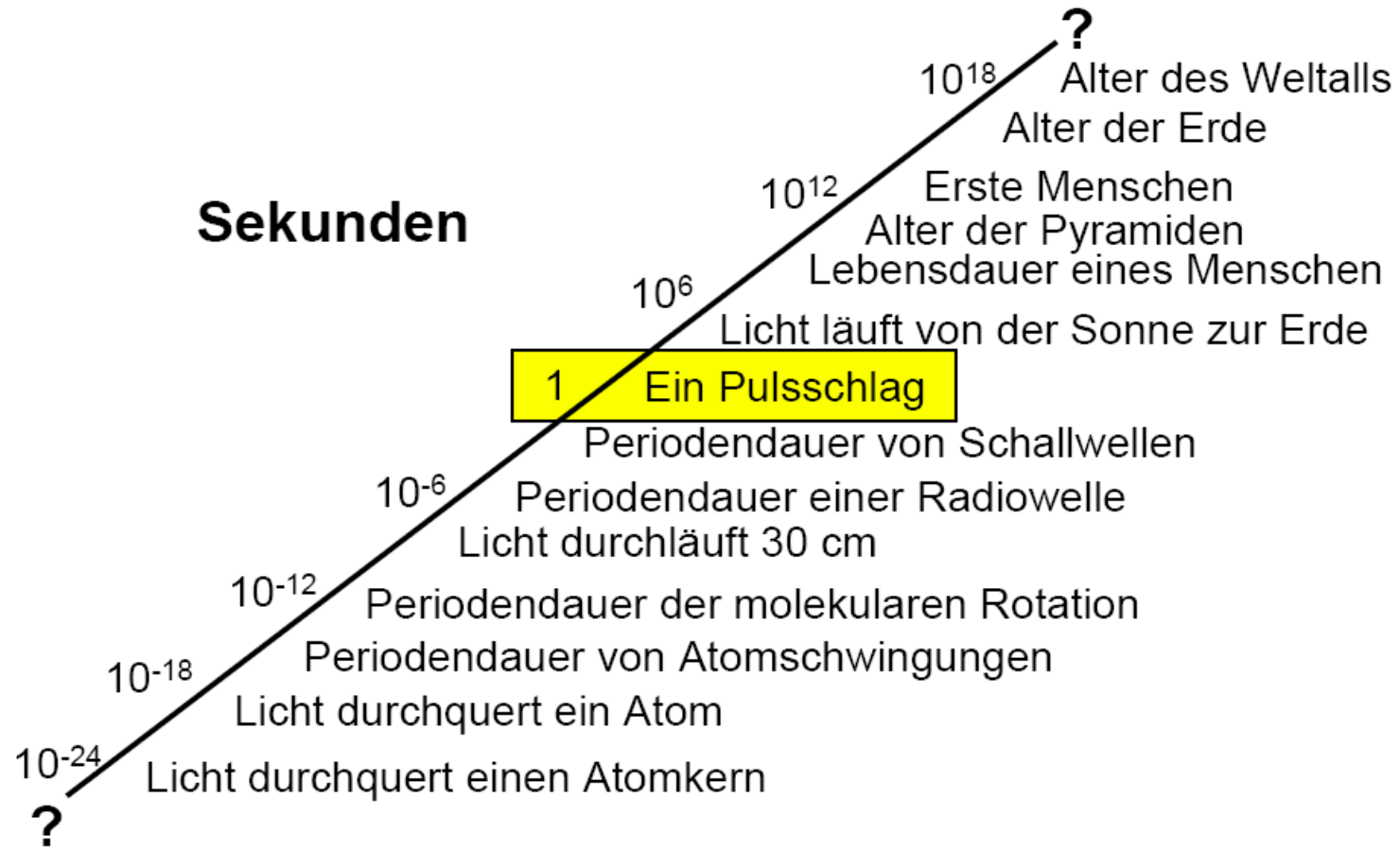
Zählen der Interferenzmaxima m -ter Ordnung:

$$l = m \cdot \frac{\lambda}{2}$$

⇒ **Unsicherheit $< 10^{-10}$ m**



Zeit: Sekunde



Basiseinheit Sekunde

- Dauer eines Herzschlags
- 1893: Reichssekunde:
86400-te Teil des mittleren Sonnentags $\frac{1}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{86400}$
- 1956: Ephemeridensekunde: (Positionstabellen Planeten)
 $1 / (3,15569259747 \cdot 10^7)$ eines tropischen Sonnenjahres
- 1967: Atomsekunde:
9,192631770 · 10⁹ fache der Periodendauer des atomaren
Übergangs der beiden Grundzustands-Hyperfeinübergänge
des ¹³³Cs-Isotops

Frequenzmessung ist die genaueste Messgröße:

- ⇒ rel. Gesamtfehler der Messung der Cs-Atomuhr (PTB): $\pm 1,5 \cdot 10^{-14}$
- ⇒ weniger als 1 µs in einem Jahr
- ⇒ Zeitmessung (und damit auch Längenmessung) zurückgeführt auf atomare Größe, gegeben nur durch Naturkonstanten!

Masse: Kilogramm

1889: Ein Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogramm Prototyps ("Ur-Kilogramm" in Paris, Platin-Normale)

⇒ **Problem: Masse des Körpers ändert sich über die Jahre** Falls der Körper vernichtet wird ⇒ Definition unsinnig



Zukunft: Silizium-Kugel aus ^{28}Si

⇒ Gitterabstände genau bestimmen mittels Röntgen (Längenmessung)

⇒ Durchmesser mittels Fizeau-Interferometer (nm-Genauigkeit bei ~10cm Durchmesser)

Ziel: Einheiten zurückführen auf Naturkonstanten

⇒ Masse zurückführen auf atomare Masse von ^{28}Si bzw ^{12}C

⇒ Verknüpfung mit Basisgröße Stoffmenge (1 mol)

1 mol Atome durch Ionenstrom und Atome sammeln

Also N_A ^{12}C sammeln ⇒ 12 g

Messgenauigkeit bestimmt Definition der Basiseinheit

Stromstärke: Ampere

- Stromstärke: 1A
- Die Stromstärke 1 A ist definiert durch eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N, die zwischen zwei Drähten der Länge L wirkt, die sich in einem Abstand von 1 m befinden und von 1 A Stromstärke durchflossen werden.

$$\frac{F}{L} = \mu_0 \frac{I^2}{2\pi r} \Rightarrow \mu_0 = \frac{F}{L} \cdot \frac{2\pi r}{I^2} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot 2\pi \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ m} \cdot 1 \text{ A}^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$$

⇒ μ_0 wird durch die SI-Definition festgelegt (ohne Fehler!)

⇒ ε_0 wird festgelegt mit $\varepsilon_0 = \frac{c^2}{\mu_0}$

- In Realität: **Stromwaage**: Kraft auf eine Spule, die in einer andere Spule versenkt ist:

Weitere Basisgrößen

Temperatur:

Die Temperatur 1 K ist der 1/273,15 Teil des Tripelpunktes von Wasser (Koexistenz von gasförmig, flüssig und fest)
Isotopenzusammensetzung von Wasser exakt definiert!

Stoffmenge: 1 mol

Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind. Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.

Weitere Basisgrößen

Lichtstärke Candela Cd: (Lichtstrom pro Raumwinkel)

Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683$ W/sr beträgt.

Photometrie vs. Radiometrie:

Lichtstärke (Cd):

(vgl. **Strahlstärke/-intensität in W/sr**)

Lichtstrom (Lumen):

(vgl. **Strahlleistung**)

Lichtmenge (Lumensek.)

(vgl. **Strahlenergie**)

Beleuchtungsstärke (Lux)

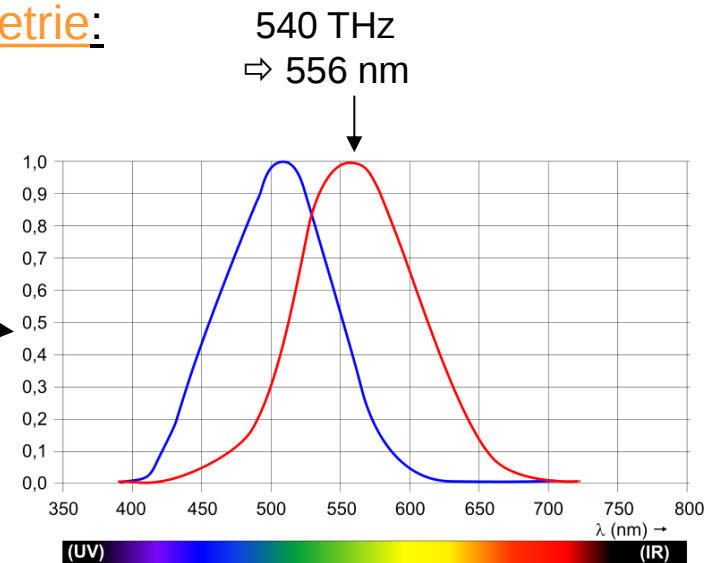
Leuchtdichte (Cd/m^2): $L = \frac{\text{Lichtstärke } I}{\text{Fläche } A \cdot \cos(\text{Winkel } \varepsilon)}$

$$I = \frac{\text{Lichtstrom } \Phi}{\text{Raumwinkel } \Omega}$$

$$\Phi = K_m \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda$$

$$Q = \int_{t=0}^{\tau} \Phi(t) dt$$

$$E = \frac{\text{Lichtstrom } \Phi}{\text{Fläche } A}$$



Tagsehen: $K_m = 683$ Lumen/W

Nachtsehen: $K_m = 1699$ Lumen/W

Abgeleitet SI-Einheiten

Größe	Zeichen	Einheit	Einheitenbezeichnung und Beziehung
Leistung	P	Watt	$1 \text{ W} = 1 \text{ VA} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg/s}^3$
el. Spannung	U	Volt	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A} = 1 \text{ kg m}^2/(\text{As}^3)$
el. Widerstand	R	Ohm	$1 \Omega = 1 \text{ V/A} = 1 \text{ kg m}^2/(\text{A}^2 \text{ s}^3)$
Arbeit	W	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$
Kraft	F	Newton	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$
Druck	P	Pascal	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{s}^2 \text{ m})$
Frequenz	f	Hertz	$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$
el. Kapazität	C	Farad	$1 \text{ F} = 1 \text{ As/V} = 1 \text{ A}^2 \text{ s}^4/(\text{kg m}^2)$
Induktivität	L	Henry	$1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A} = 1 \text{ kg m}^2/(\text{A}^2 \text{ s}^2)$
Ladung	Q	Coulomb	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$
el. Flußdichte	D	C/m^2	$1 \text{ C/m}^2 = 1 \text{ As/m}^2$

- Die für die Messtechnik grundlegende Norm ist in Deutschland die DIN 1319. Dabei werden festgelegt:
 - Teil 1: Grundbegriffe (1/1995)
 - Teil 2: Begriffe für Messmittel (10/2005)
 - Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße; Messunsicherheit (5/1996)
 - Teil 4: Auswertung von Messungen; Messunsicherheit (2/1999)
- Weitere wichtige Normen:
 - DIN 43751 *Digitale Messgeräte zur Messung von analogen, digitalen und zeitbezogenen Größen*
 - DIN 43790 *Gestaltung von Strichskalen und Zeigern*
 - DIN EN 60051 *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte mit Skalenanzeige und ihr Zubehör*
 - DIN EN 60584 *Thermopaare*
 - DIN EN 60617, EN 60617-8 *Graphische Symbole für Schaltpläne, Schaltzeichen für Mess-, Melde- und*
 - DIN EN 61010 *Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte*
 - DIN EN 61028 *Elektrische Messgeräte; X-Y-Schreiber*
 - DIN EN 61143 *Elektrische Messgeräte; X-t-Schreiber*
 - DIN IEC 60625 *Schnittstellen für programmierbare Messgeräte*
 - *u.v.m.*

Sensoren: Umwandlung physikalischer Signale in elektrische Signale

■ Temperaturmessung:

- Thermoelement, Widerstandsthermometer, Thermistor, pn-Übergang...

■ Strahlungsmessung:

- Photowiderstand, Photodiode, Photomultiplier, Zählrohr...

■ Kraft- bzw. Druckmessung:

- Dehnmeßstreifen, piezoelektrische Sensoren, Pirani-Zelle, Ionisationsmanometer...

■ Magnetfeldmessung:

- Hallelement, GMR-Sensor, Feldplatte... usw. usf.

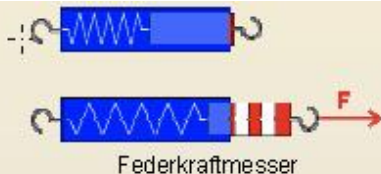


Physikalische Messwandler

nach: von:	Strahlungse nergie	Mechanische Energie	Thermische Energie	Elektrische Energie	Magnetische Energie	Chemische Energie
Strahlungs Energie	Optisches Filter	Golay Zelldetektor	Sonnen- strahlungs- messer	Solarzelle		Photographi- scher Prozess
Mechanische Energie	Feuerstein	Getriebe	Reibung	Elektrischer Generator		
Thermische Energie	Temperatur empfindliche LCD	Bimetall	Wärmetausc her	Thermoelem ent		
Elektrische Energie	LED	Laut- sprecher	Kühl- aggregat	MOSFET	Spule	Batterie
Magnetische Energie	Magneto- optische Modulation	Magnetische Kupplung	Adiabatische Entmagnetis ierung	Hall- Generator	Magneti- scher Kreis	
Chemische Energie	Kerze	Explosions- motor	Gaskocher	pH Messzelle		Chemische Reaktion

Analoge Messung

- **Sprachlich:** analog = entsprechend
- Darstellung des Messwertes durch ein Analogon (Zwischengröße), dessen Wert leicht ablesbar ist.
- **DIN 1319-2:** Messmethode, bei welcher der Messwert durch stufenlose Verarbeitung des Mess-Signals ermittelt wird.
Verlangt aber Linearität des Zusammenhangs der Form: Analogon $\sim$ Messgröße
- **z.B:** $F \sim x$; $l \sim \alpha$; $t \sim h$; $\theta \sim \Delta h$; $V \sim \Delta h$; $v \sim \alpha$
- **Probleme:** Nichtlinearität? Offset (Nullpunktabweichung)? Messgeschwindigkeit?



Federkraftmesser



Drehspulmesswerk

Dreheisenmesswerk



Wasseruhr



Flüssigkeitsthermometer



Messzylinder



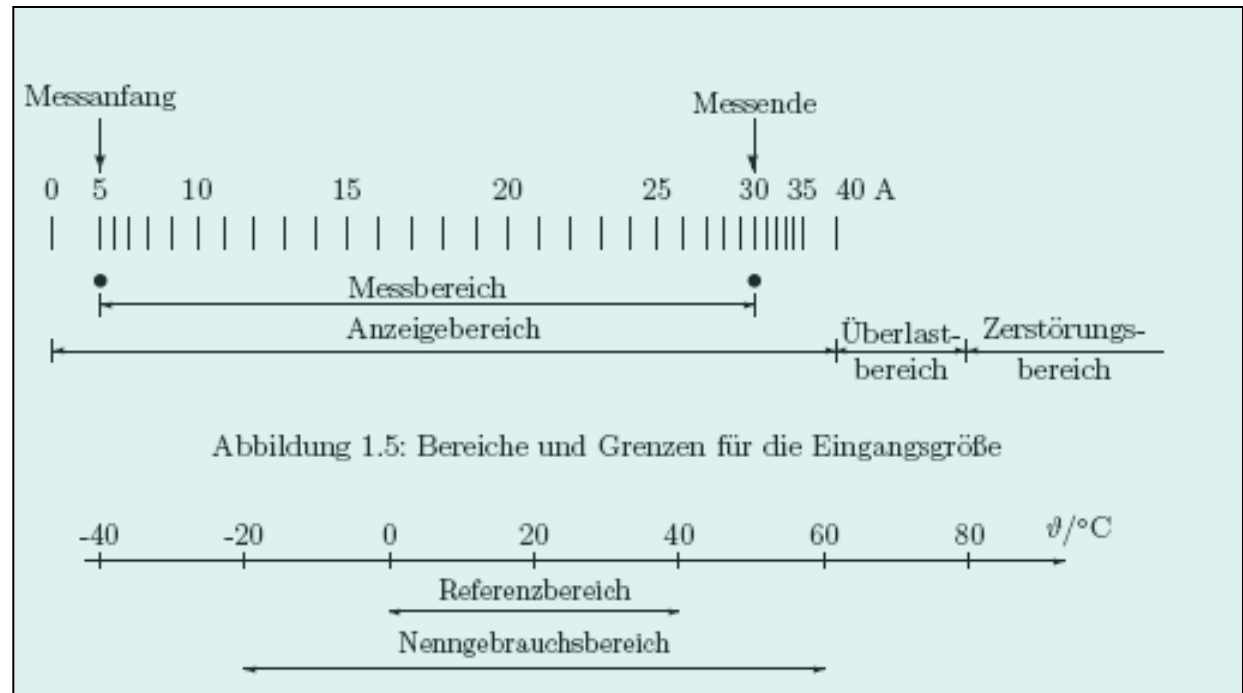
Kennwerte analoger Messgeräte

- Statische Empfindlichkeit E
- Skalenfaktor S
- Ansprechschwelle
- Auflösung
- Bereiche und Grenzen

$$S=1/E$$

Bsp.:

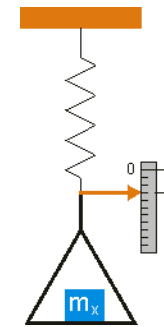
$E=100\text{SKT}/30\text{V}=3,3\text{SKT/V}$
 $S=0,3\text{V/SKT}$



Vergleichsmethoden

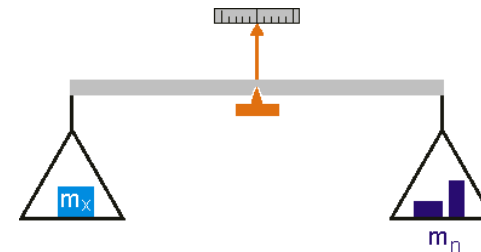
■ Ausschlagverfahren

- Die Messgröße steuert die Ausgangsgröße
- Energie kommt von der Messgröße
- Hohe Rückwirkung



■ Kompensationsverfahren

- Energie kommt von der Hilfsquelle
- Rückwirkung wird minimiert



Digitale Messung und Verfahren

- **Sprachlich:** digit(us) = Finger/Ziffer
Darstellung des Messwertes direkt in Ziffernform.
- **DIN 1319-2:** Messmethode, bei welcher der Messwert durch stufenweise Verarbeitung des Mess-Signals ermittelt wird.
- **Probleme auch hier:** Nichtlinearität? Offset (Nullpunktabweichung)?
Messgeschwindigkeit?



Gaszähler



Stückzähler



Stromzähler



Digitaluhr (HP 1977)



Soundkarte (SB Live)



Digital-
Multimeter

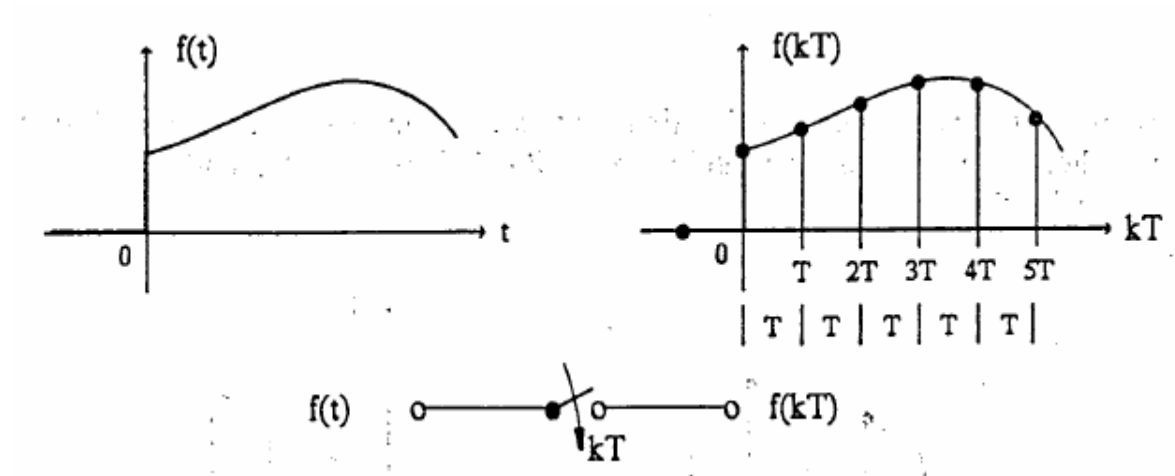


Digital-Speicher-Oszilloskop

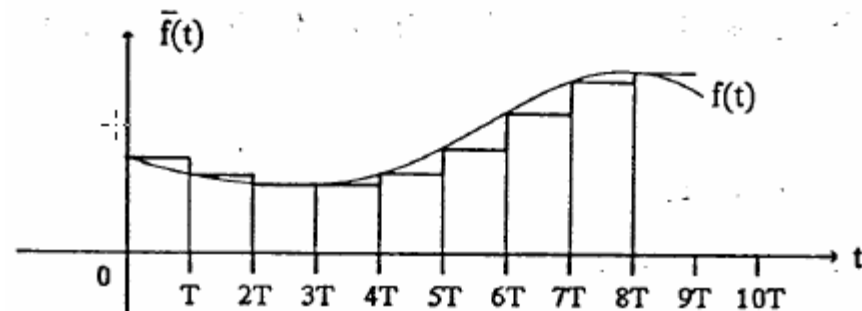


Signalabtastung und -quantisierung

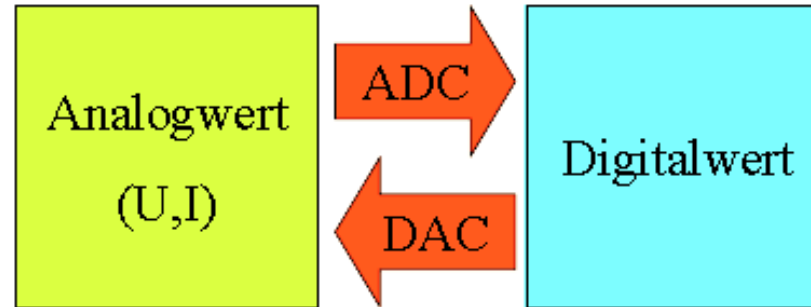
■ Zeitdiskret



■ Wertdiskret



Signaldigitalisierung



Analogwert (bipolar, allg.) $\rightarrow$

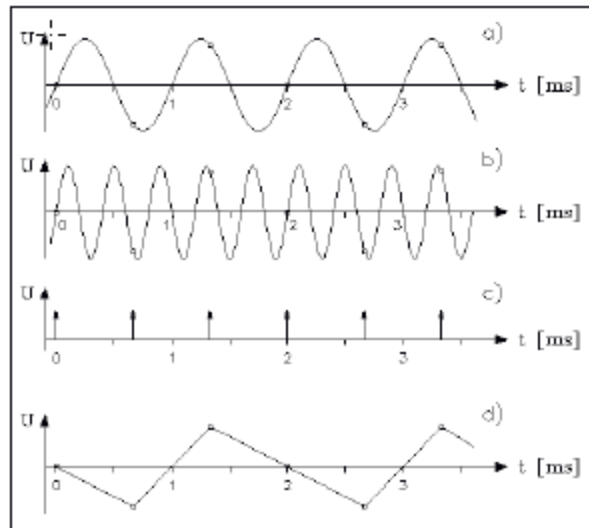
$$U = U_0 + V_U \cdot \sum_{i=0}^{N-1} b_i \cdot 2^i \quad \text{mit} \quad b_i = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

Offset $\rightarrow U_0$
 Verstärkung/Skalierung $\rightarrow V_U$
 binäre Stelle $\rightarrow b_i$
 i. Bit $\rightarrow i$
 Bit nicht gesetzt $\rightarrow 0$
 Bit gesetzt $\rightarrow 1$
 Binärzahl mit N Bit $\rightarrow \sum_{i=0}^{N-1} b_i \cdot 2^i$

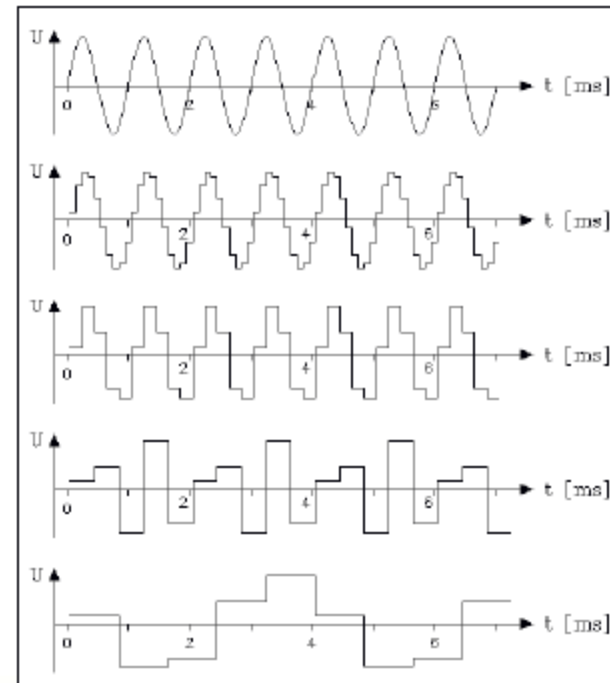
MSB $\rightarrow$ 0010000001 $\leftarrow$ LSB
 Dezimalzahl: $129_d \Leftrightarrow$ Binärzahl mit 10 Bit: 0010000001_b
 Wertigkeit $\rightarrow$

Abtasttheorem: Nyquist-Shannon

- Abtastfrequenz muss größer als die doppelte der im Signal enthaltenen Maximalfrequenz sein

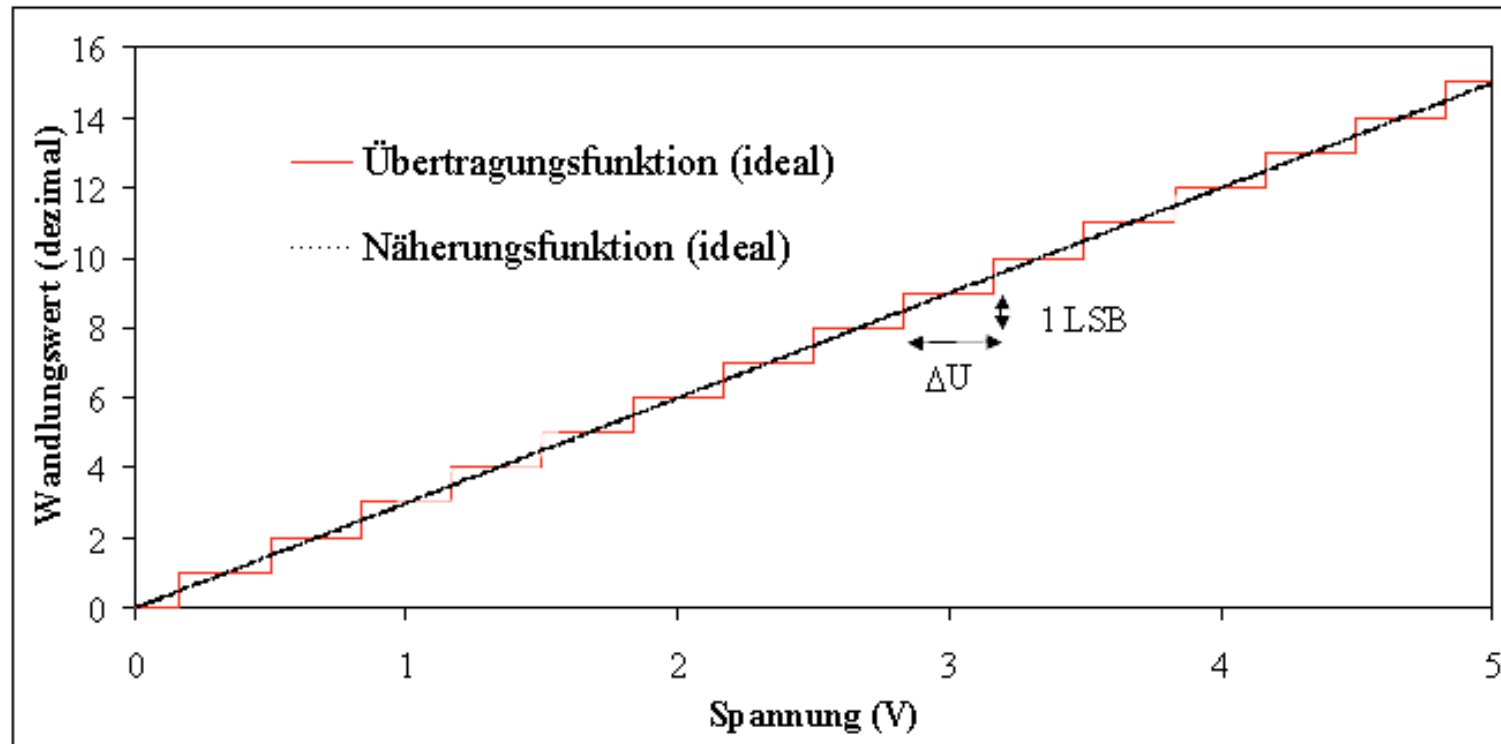


„undersampling“



Nyquist-Theorem: Falls ein Signal keine Frequenzkomponenten oberhalb einer Frequenz $f_{\max}$ beinhaltet, kann dieses Signal durch Abtastwerte mit einer Frequenz von $>2 \cdot f_{\max}$ eindeutig wiedergegeben werden.

Signalquantisierung: Quantisierungsfehler



Quantisierungs- bzw. Diskretisierungsfehler: $\pm \frac{1}{2} \text{ LSB}$
 Spannungsfehler: $\pm \frac{1}{2} \Delta U$
 (von der Auflösung des Wandlers abhängig, nimmt mit wachsender Auflösung ab)

Exkurs: Dezibel 1

Bemerkung:

Dezibel/Bel ist **KEINE** Einheit, sondern eine "Rechenvorschrift" für Pegel-Verhältnisse von Leistungen (P) oder Spannungen (U) :

Leistung: $1\text{dB} = 10 \log (P/P_0)$

$$\Rightarrow \text{Umrechnung} \quad \frac{P}{P_0} = 10^{\frac{\text{dB-Wert}}{10}}$$

$$\frac{P}{P_0} = \left\langle 10 \log \frac{P}{P_0} \right\rangle \text{dB}$$

Spannung: $1\text{dB} = 20 \log (U/U_0)$

$$\Rightarrow \text{Umrechnung} \quad \frac{U}{U_0} = 10^{\frac{\text{dB-Wert}}{20}}$$

$$\frac{U}{U_0} = \left\langle 20 \log \frac{U}{U_0} \right\rangle \text{dB}$$

BezugsPegel:

$$\text{dB}_m \Rightarrow \text{Bezug } 1 \text{ mW} \quad P = \left\langle 10 \log \frac{P}{1\text{mW}} \right\rangle \text{dB}_m$$

$$\text{dB}_W \Rightarrow \text{Bezug } 1 \text{ W}$$

$$\text{dB}_V \Rightarrow \text{Bezug } 1 \text{ V} \quad U = \left\langle 20 \log \frac{U}{1\text{V}} \right\rangle \text{dB}_V$$

$$\text{dB}_U \Rightarrow \text{Bezug } \sqrt{600\Omega \cdot 0,001\text{W}} \approx 0,77 \text{ V}$$

$$\text{Schallleistungspegel dBA} \Rightarrow 10^{-12} \text{ W}$$

$$\text{Schalldruckpegel dBA} \Rightarrow 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

Exkurs: Dezibel 2

Man spricht von ...dB Dämpfung oder Verstärkung
Z.B. **3 dB-Dämpfung** bedeutet:

Leistungspegel:

$$-3 = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{"Dämpfung" = Abfall} \Rightarrow \text{Negativ!}$$

$$\frac{-3}{10} = \log \frac{P}{P_0}$$

$$10^{-\frac{3}{10}} = \frac{P}{P_0}$$

$$P = \sqrt{10^{-\frac{3}{10}}} P_0 \rightarrow P \approx 0.5 P_0$$

mit $P \propto U^2$ folgt :

$$U^2 \approx 0.5 U_0^2 \rightarrow U \approx \frac{1}{\sqrt{2}} U_0$$

Spannungspegel:

$$-3 = 20 \log \frac{U}{U_0}$$

$$\frac{-3}{20} = \log \frac{U}{U_0}$$

$$10^{-\frac{3}{20}} = \frac{U}{U_0}$$

$$U = 10^{-\frac{3}{20}} U_0 \rightarrow U \approx \frac{1}{\sqrt{2}} U_0$$

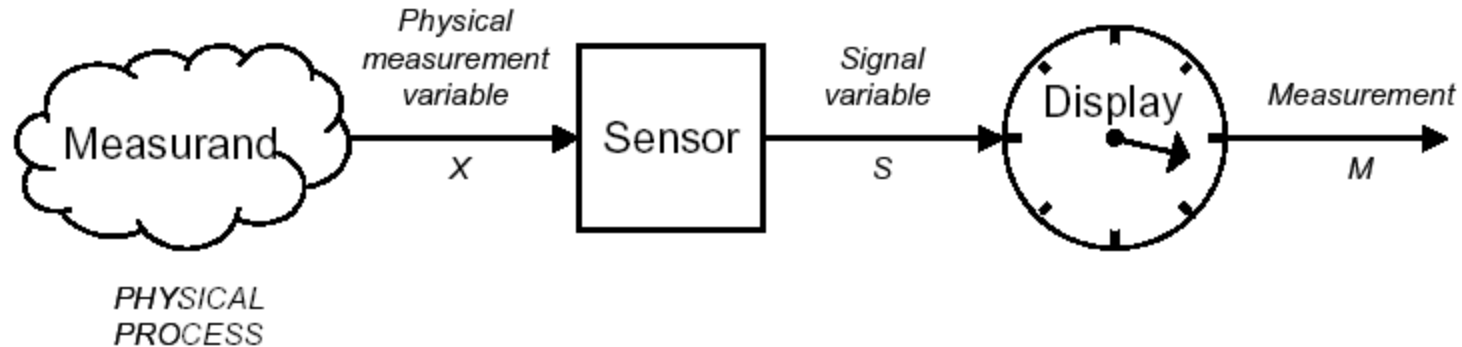
3dB Dämpfung $\Rightarrow$ Leistungsabfall auf die Hälfte, Spannungsabfall auf $1/\sqrt{2}$

(6dB Dämpfung $\Rightarrow$ Spannungsabfall auf die Hälfte)

Genauigkeitsklassen

	Betriebsmessgerät	Labormessgerät	Präzisionsmessgerät
Analog	$\pm 1,5\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,1\%$
Digital	$\pm 1\%$	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,001\%$

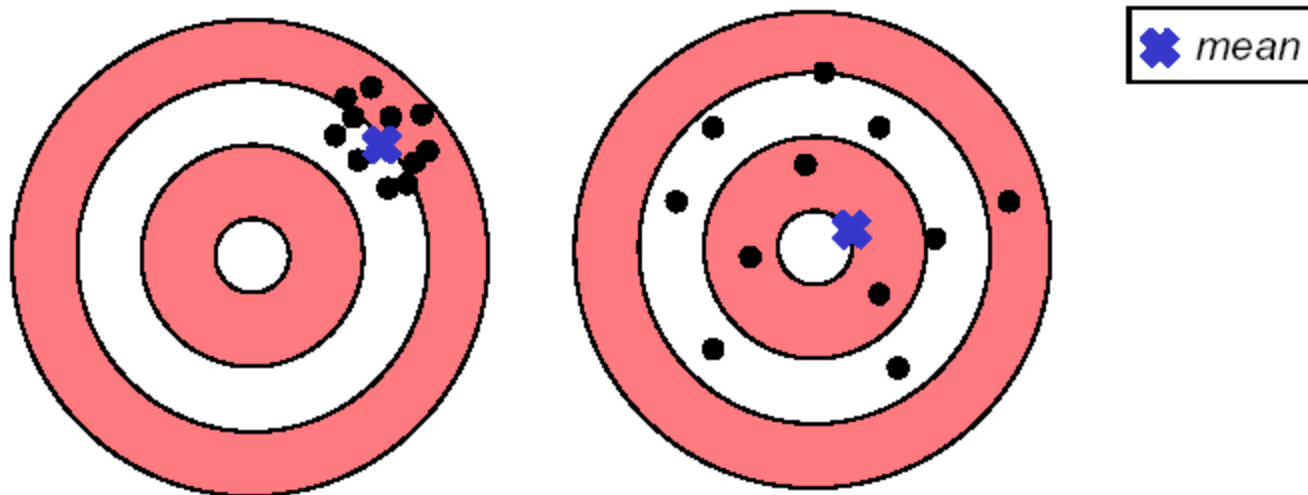
Begriffe: Messung, Genauigkeit, Messfehler



- **Messung:** Vergleich einer unbekannten Größe mit einer Standardgröße der selben Signalform
- **Messfehler:** Abweichung der Messwerts M vom wahren Wert X
- **Absoluter Fehler:** $AE = M - X$
- **Relativer Fehler:** $RE = AE / X$
- **Auflösung:** minimale Änderung dX , welche eine Änderung des Messwerts M verursacht

Begriffe: Präzision und Genauigkeit

- Genauigkeit: Fähigkeit, Messwerte mit geringer Abweichung vom wahren Wert zu produzieren
(Maß für systematische Fehler, *Bias error*)
- Präzision: Fähigkeit, unter gleichen Bedingungen den gleichen Messwert zu produzieren
(Maß für zufällige Fehler, *random error*)



Begriffe: Genauigkeit, Präzision

