



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement EJPD

Bundesamt für Metrologie METAS

# Herausforderungen für die Metrologie

B. Jeckelmann, METAS



*Windisch, 28. September 10*

**swissT.meeting**  
**Faszination Messtechnik**



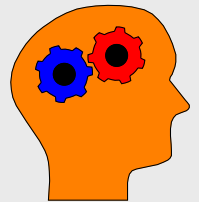
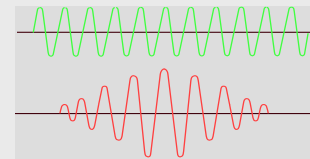
# Inhalt

- Hintergrund und Tradition
- Von der Meterkonvention zum Internationalen Einheitensystem
- Die metrologische Infrastruktur
- Aktuelle Herausforderungen



## **Messen** bedeutet aus individueller und gesellschaftlicher Sicht

- *Transposition* einer Messgrösse in sinnlich wahrnehmbare Bereiche;



- *Objektivierung* und *Vergleich* einer Messgrösse mit festgelegtem Massstab.





# Bedeutung des Messens

Auf Messungen basierende Tätigkeiten werden auf **4% bis 6% des Bruttosozialprodukts** geschätzt  
(CH: ca. 20 Mrd. Fr.).

**Messungen sind in allen Bereichen von Bedeutung**



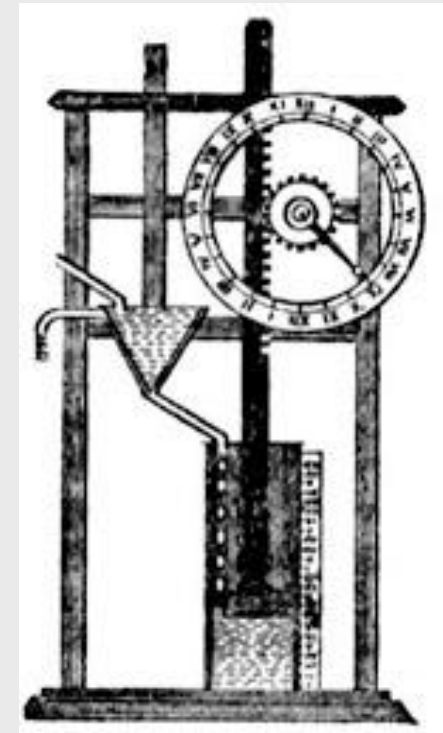
# Metrologie hat eine lange Geschichte



Längenmessung  
Vor 4600 und  
Vor 500 Jahren



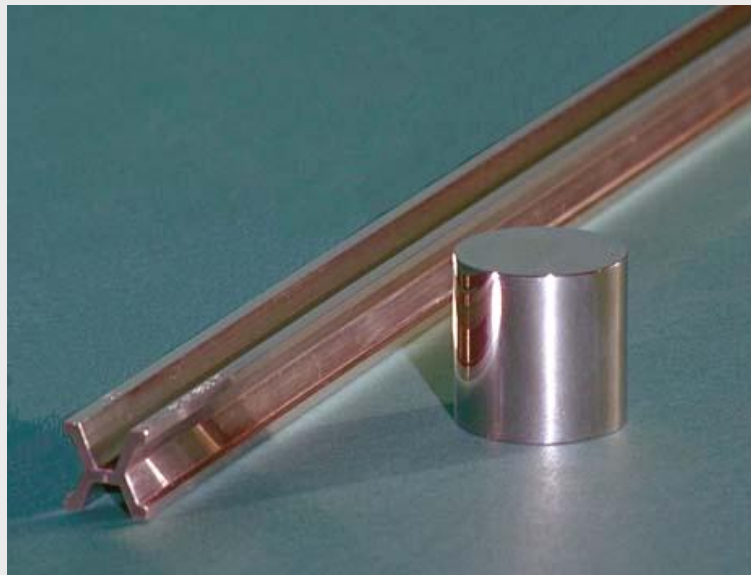
Zeit-Messung  
vor 5000 und  
vor 2000 Jahren





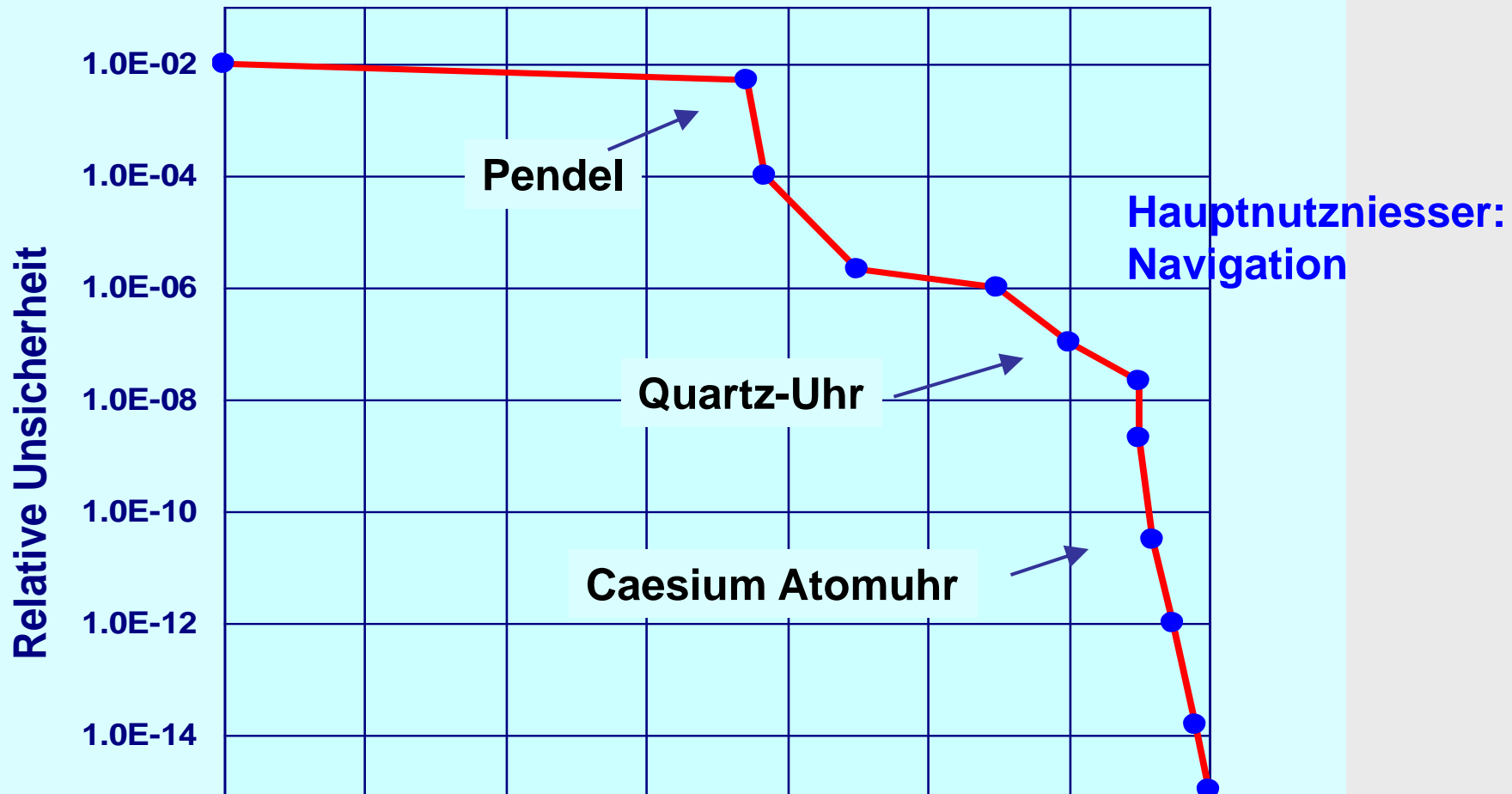
# Überregionale Masseinheiten: Das metrische System

Meterkonvention 1875



“Urmeter” und “Urkilogramm”  
werden eingeführt

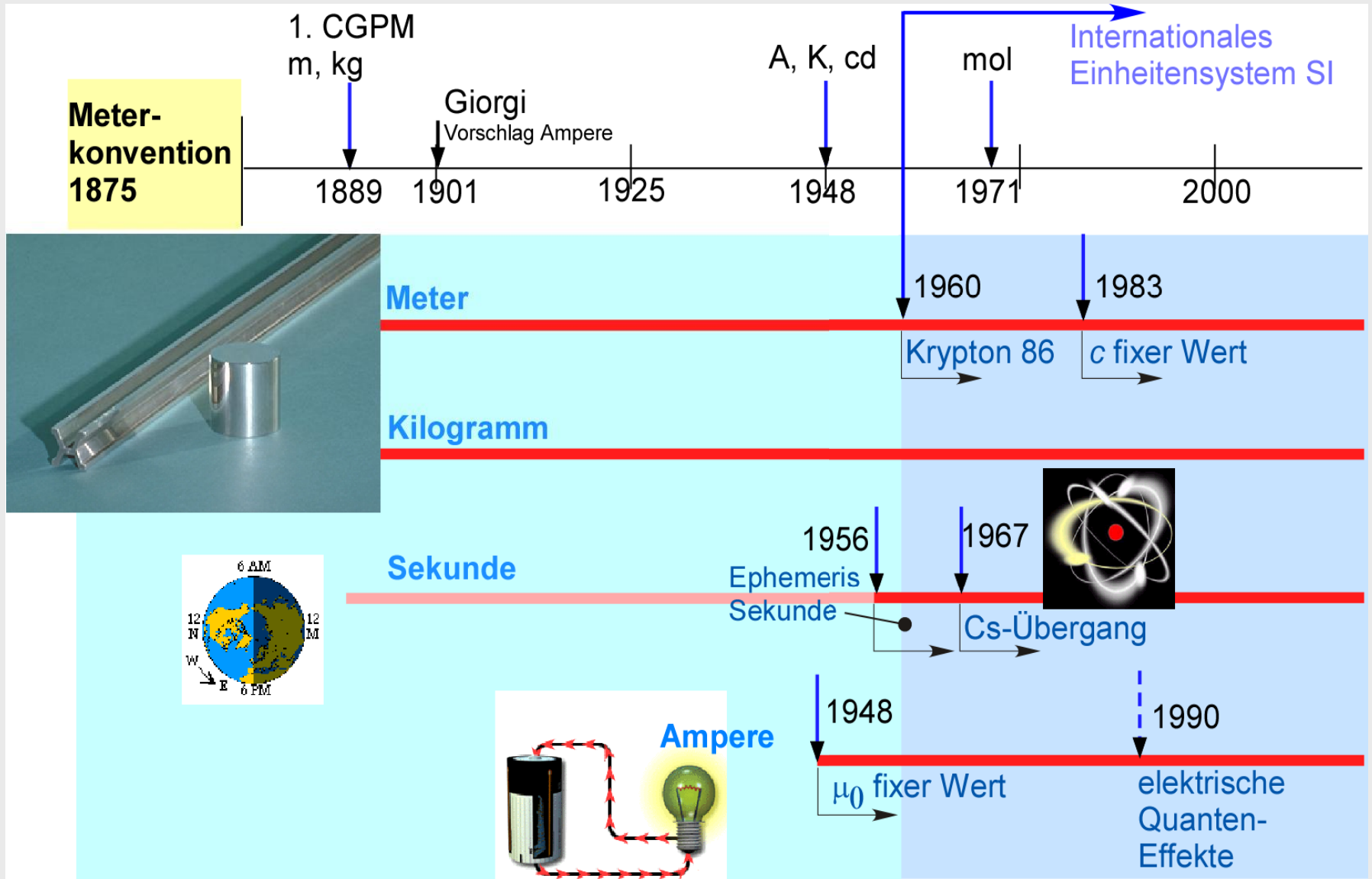
# Verbesserung der Genauigkeit: Beispiel Sekunde



**Metrologie und technischer Fortschritt stehen in enger Wechselbeziehung**



# Die Entwicklung des metrischen Systems







# Entwicklung des SI

- Abstützung der Basiseinheiten auf Fundamentalkonstanten der Natur
- Einheiten können somit jederzeit und überall mit geeigneten Experimenten realisiert werden.
- Fortschritte in der Technik erlauben genauere Realisierungen der Einheiten

# Neudefinition des Kilogramms



CGPM 1901:

Das Kilogramm ist die Masse des Internationalen Kilogramm-Prototyps (IKP)

## Nachteile

- Einheit nur an einem Ort verfügbar
- Stabilität in der Zeit nicht sichergestellt



## Neudefinition kg (2)

### Experiment **Watt-Waage**

Stellt eine Beziehung zwischen einer makroskopischen Masse und einer Naturkonstanten her (quantenphysikalische Beschreibung auf atomarer Ebene)



# Realisierung der Sekunde

Referenz ist die Übergangsfrequenz in einem atomaren Übergang im Cs-Atom

## Moderne Uhren

- Realisierung der Sekunde mit einer relativen Genauigkeit von  $10^{-15}$

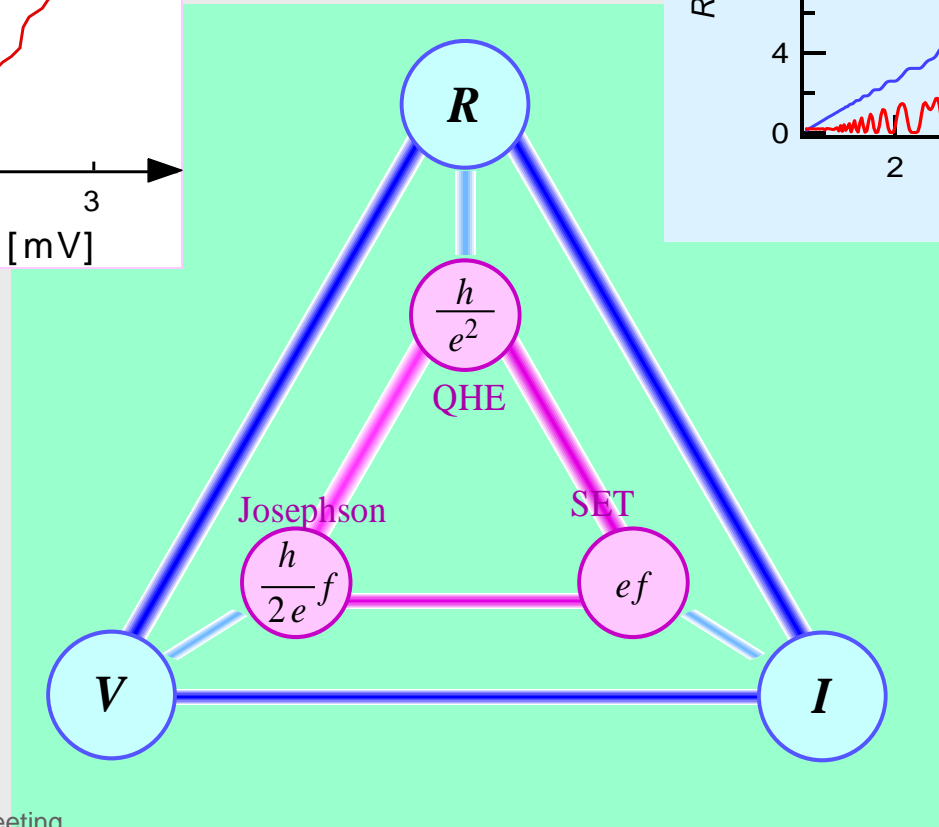
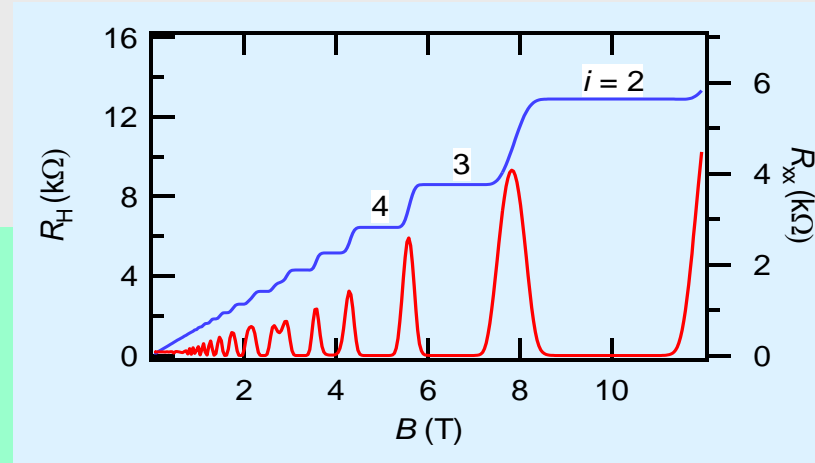
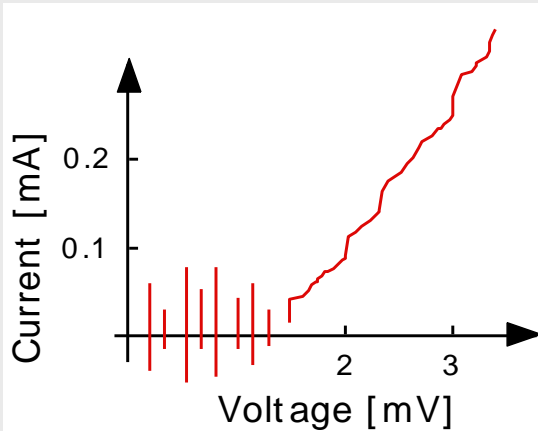


Primärnormal am  
METAS

# Elektrizität: Vom materialisierten Normal zum Quanten-Normal

Realisierung elektrischer Einheiten mit Hilfe von Quanteneffekten

→ 100 fache Verbesserung elektrischer Kalibrierungen in den letzten 15 Jahren





# Anforderungen des Marktes

## Abbau technischer Handelshemmnisse

### Messungen

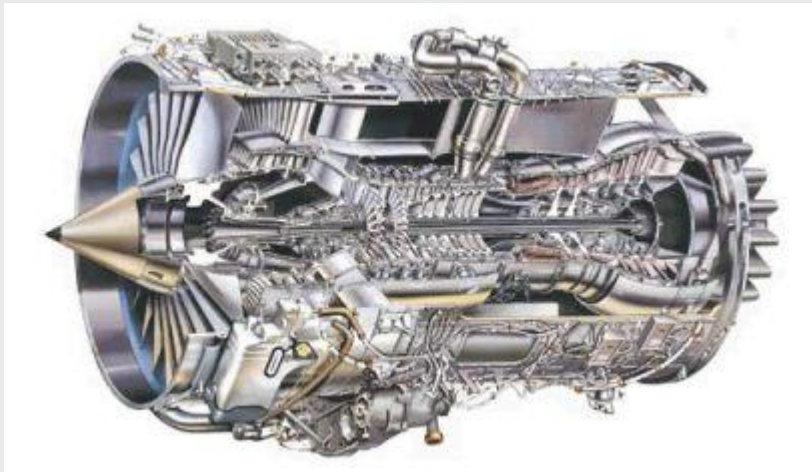
- „einmal gemessen, weltweit anerkannt“

### Produkte

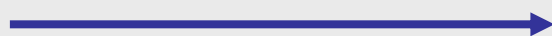
- eine weltweit gültige Produktnorm
- weltweit eine Zertifizierung
- weltweit eine Messung oder Prüfung



# Metrologie: Grundvoraussetzung für einen modernen Industriestaat

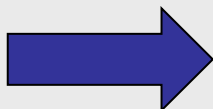


Hersteller  
(Land A)



Endprodukt  
(Land B)

Geforderte Toleranzen werden ohne Mehrfachprüfungen eingehalten



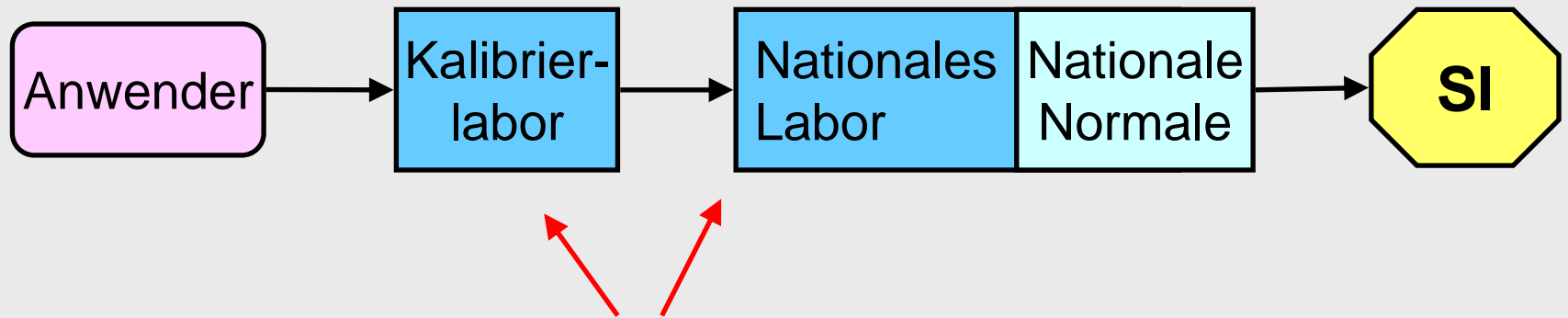
**Metrologische Infrastruktur notwendig**



# Rückverfolgbarkeit

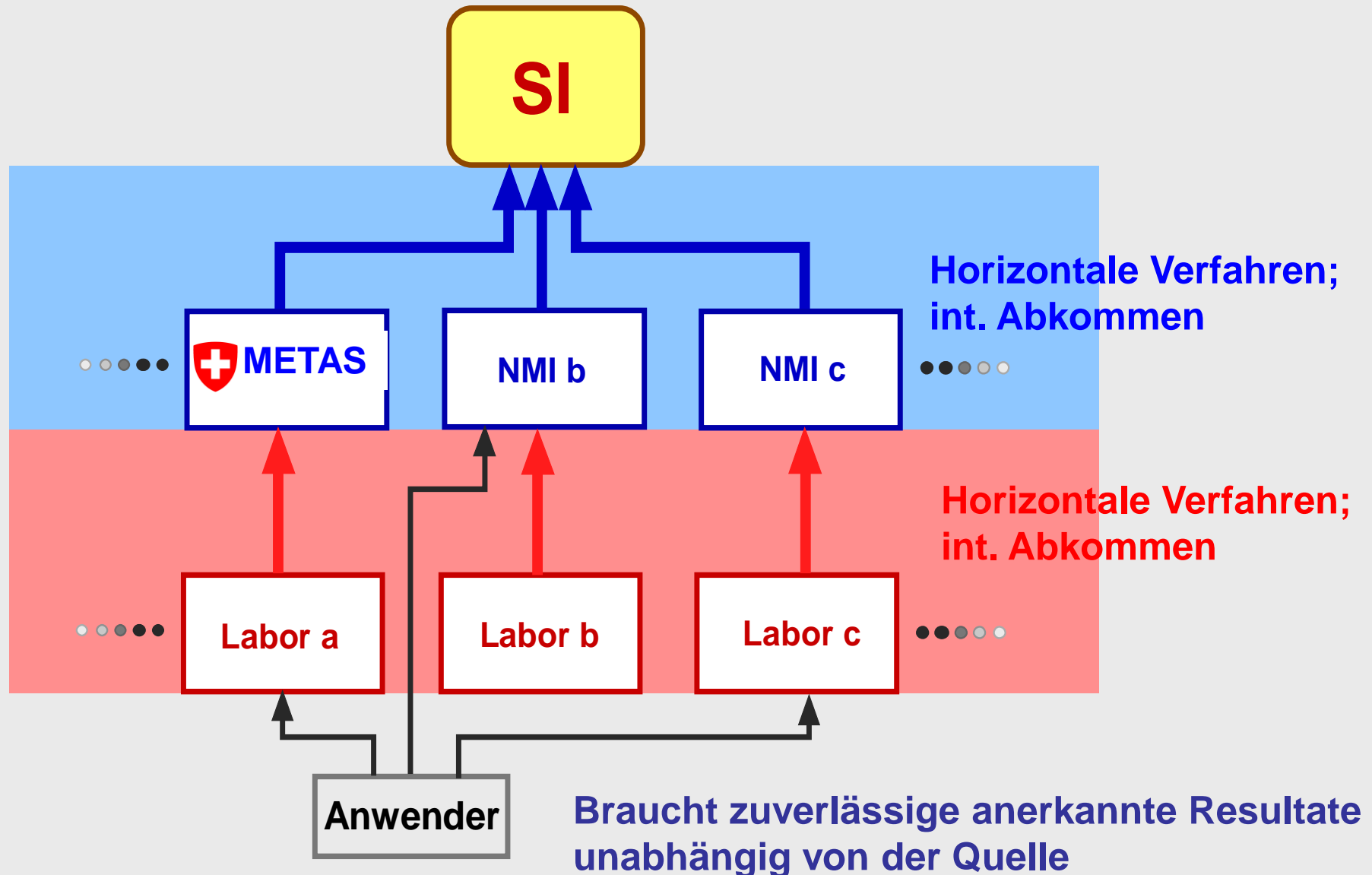
Messungen müssen objektiv, eindeutig, verlässlich, genügend genau und vergleichbar sein.

Ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen vom Anwender zu einem anerkannten Normal



- Anerkannte Stellen
- Anerkannte und dokumentierte Verfahren
- Berechnung der Messunsicherheit nach anerkannten Verfahren

# Überregionale Rückverfolgbarkeit



# Metrologische Infrastruktur





# Metrologie für fairen Handel

Fairer Handel basiert auf korrekten Messungen:

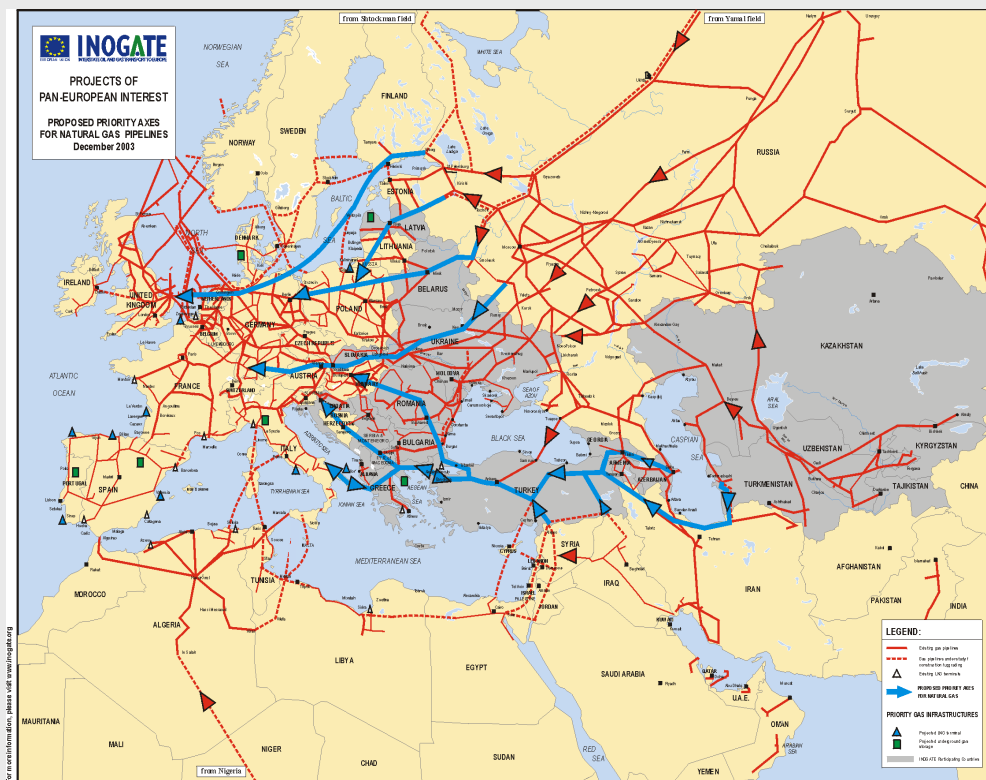
Beispiel: Erdgas

Verbrauch in Deutschland  
40 Milliarden € /Jahr

Gas-Meter sind auf Nationale  
Normale rückverfolgbar (irgend ein  
NMI in Europa)

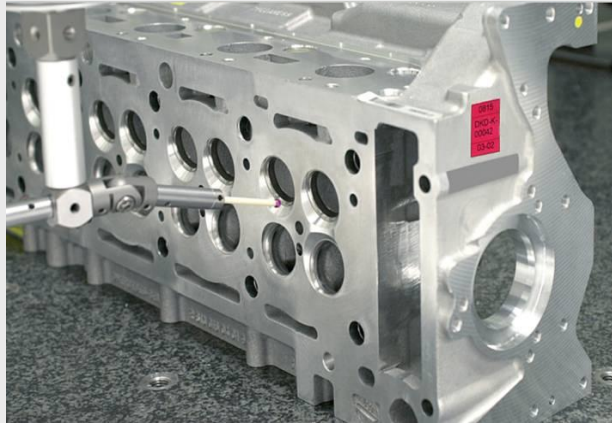
Bis 1999 konnten Netzbetreiber  
einen Unterschied von 0.3%  
(= 12 Mio €/Jahr) zwischen DE und  
NL legal ausnützen!

Lösung: Harmonisierte Normen für  
Erdgas



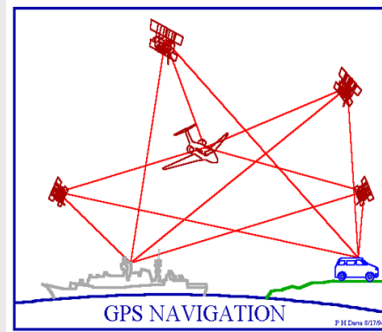
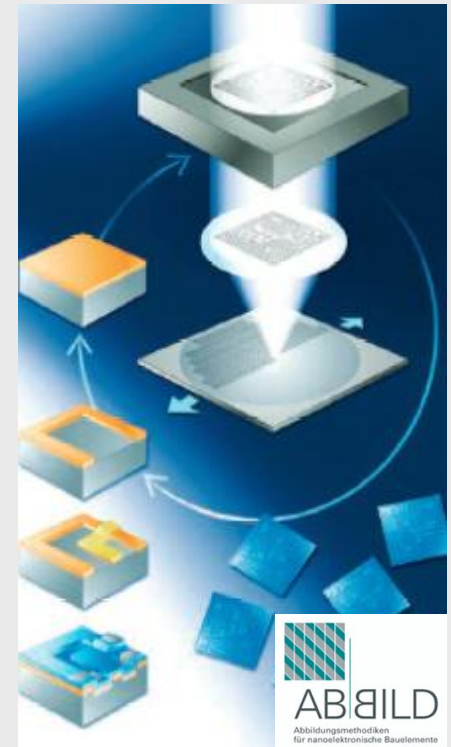


# Metrologie für die Industrie



Nanometer  
Anforderungen  
in der Halbleiter-  
industrie

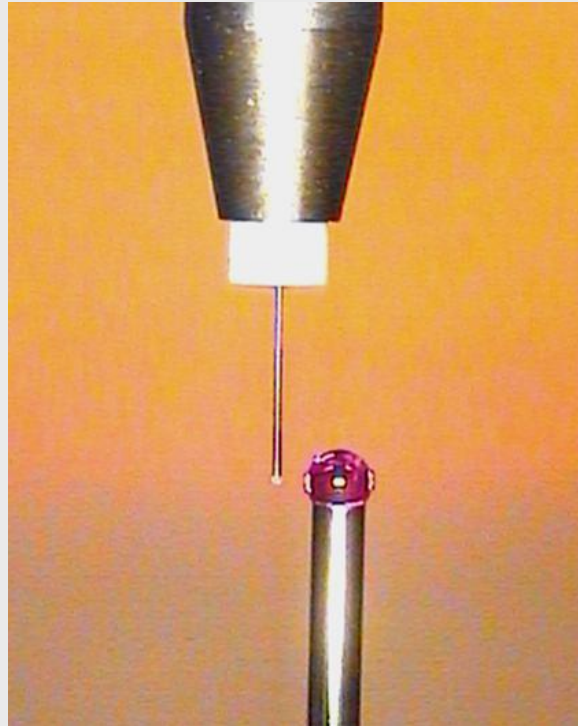
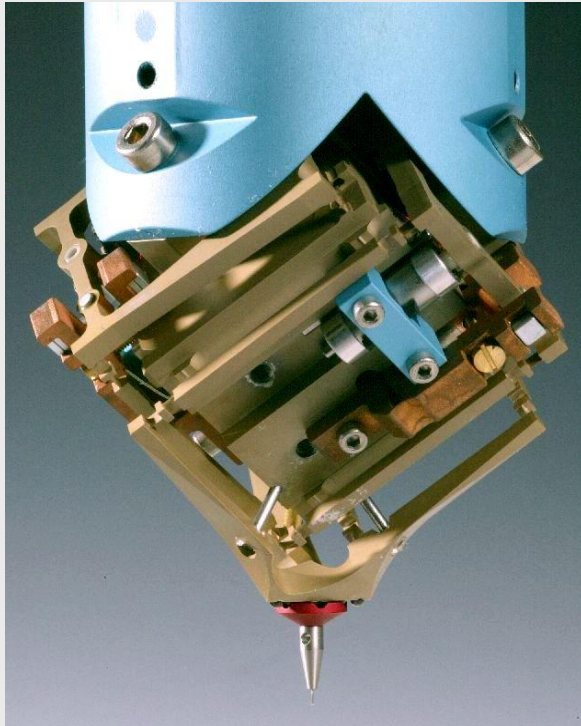
Inline Messungen  
komplexer Geometrien



Zeitmessung auf Quanten-Basis für  
die Navigation



## Beispiel $\mu$ CMM am METAS



**Unsicherheit 30 nm**

Taster: Durchmesser  
ab 125  $\mu$ m

### Anwendungen:

- Mikrotechnologie
- Glasfasertechnik
- Datenspeicherung
- Uhrenindustrie
- Medizinaltechnik
- Automobilindustrie



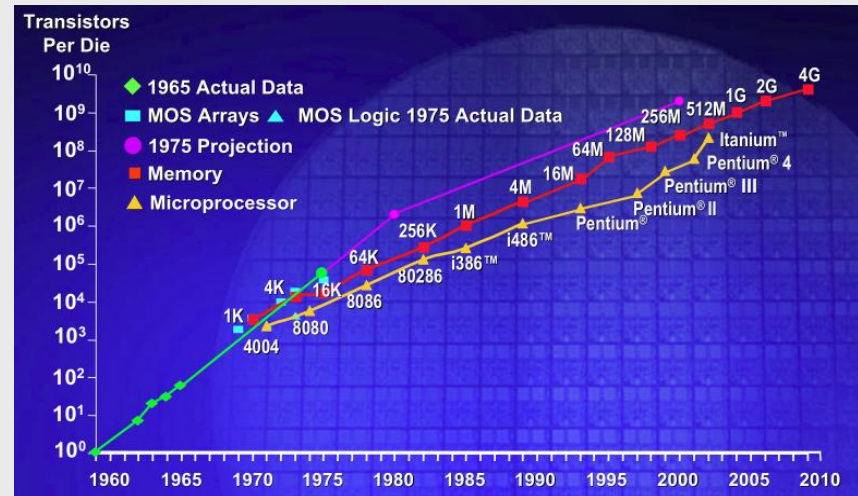


# Hochfrequenztechnik

Messtechnik für räumliche und zeitliche Skalierung von elektronischen Bauteilen

→ Rückverfolgbare Netzwerkanalyse bis 100 GHz

- Neue Verbinder und Übertragungslinien
- Streuparameter-Messungen bei beliebiger Referenzimpedanz
- On-waver Messungen



Gesetz von Moore

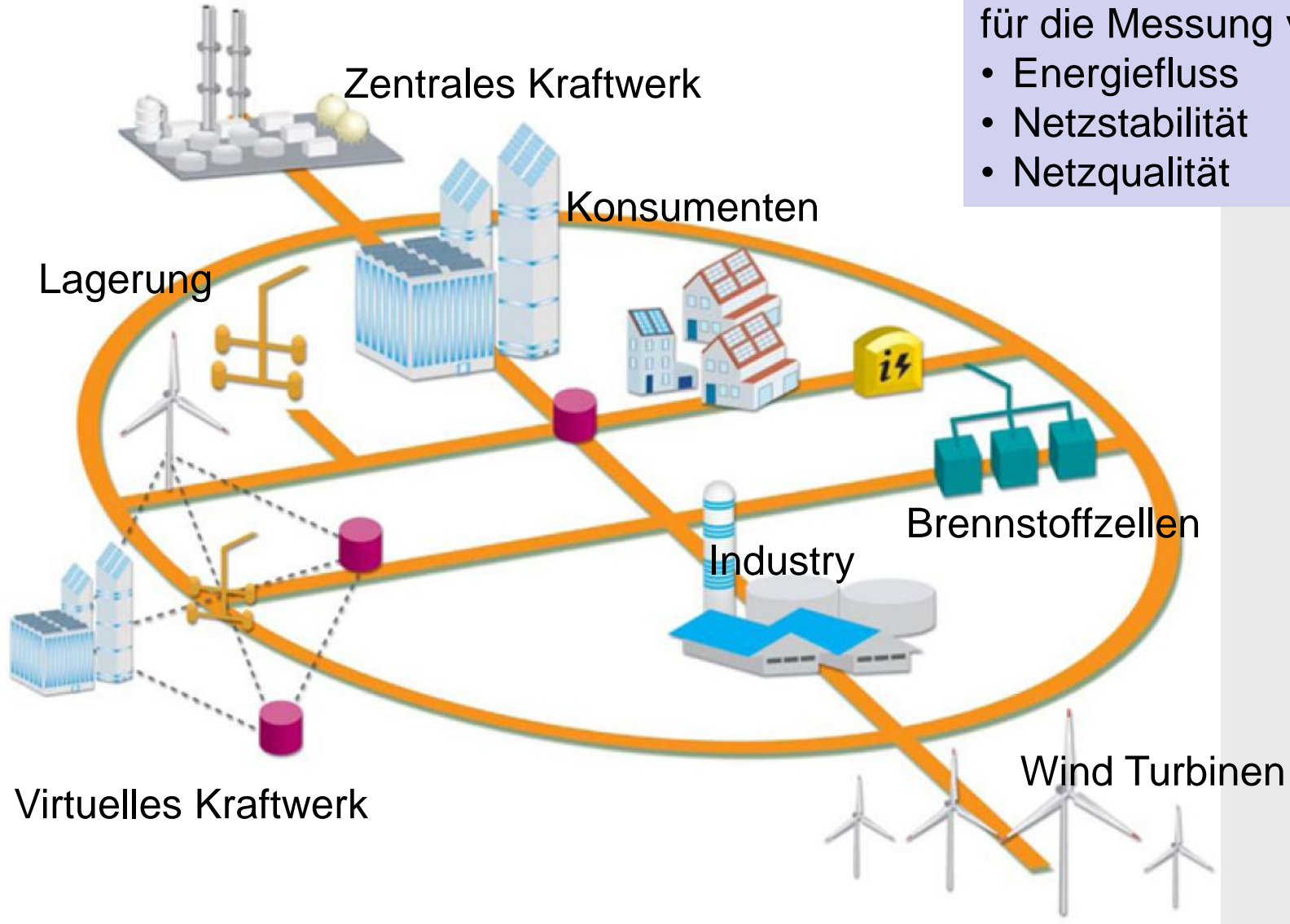


# Energietechnik

## “Smart Electrical grids”

Methoden und Werkzeuge für die Messung von:

- Energiefluss
- Netzstabilität
- Netzqualität





# Metrologie für die Umwelt

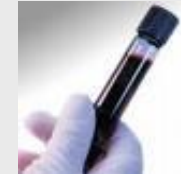
CH-Verordnungen (z.B. Luftreinhalte-Verordnung) und europäische Direktiven legen Grenzwerte für Schadstoffe fest:

- Nitratkonzentration im Trinkwasser
- Ozongehalt in der Luft
- Russpartikel / Feinstaub in der Atemluft
- ...



...EU-Direktiven:

- Measuring Instruments Directive (2004)
- In-Vitro-Diagnostics Directive (1998)
- Water Framework Directive (2000)
- ...



Jemand muss die Einhaltung der Grenzwerte sicher und zuverlässig kontrollieren!

→ **METROLOGIE**

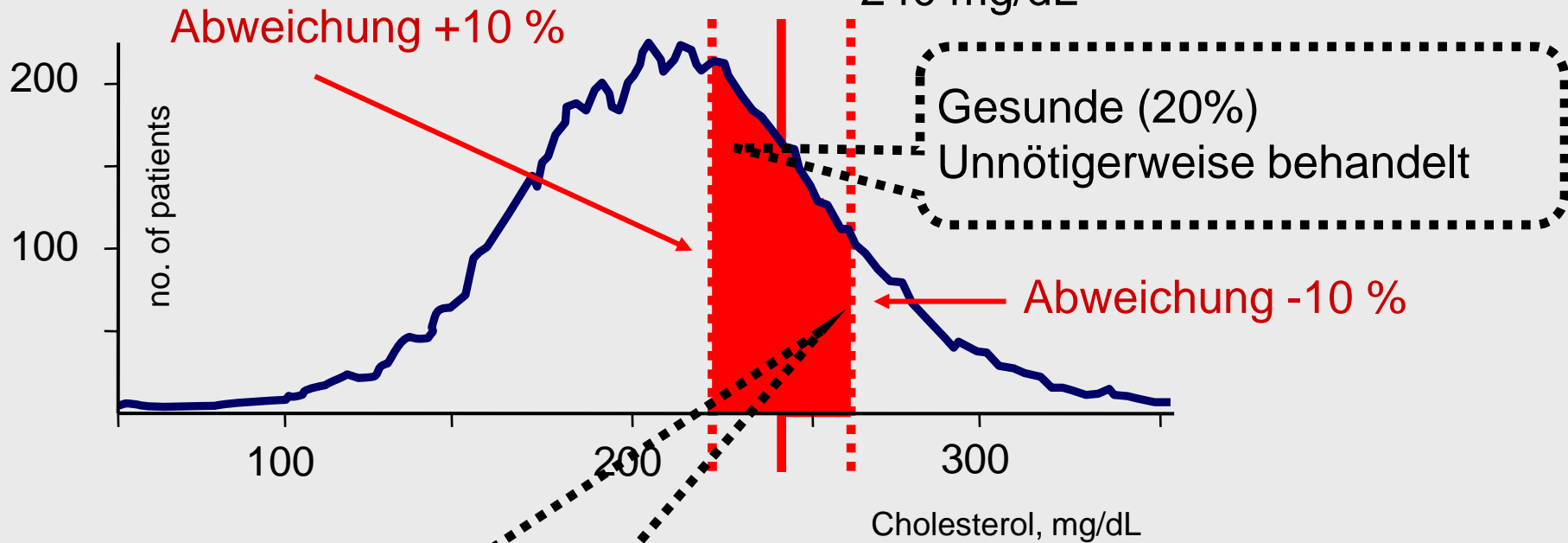


# Metrologie im Dienste der Gesundheit

## Konsequenzen ungenauer Messungen: Cholesterol

Resultat > 20.000 Pers.

Grenze für Entscheid:  
240 mg/dL



Mayo Clinic patients  
data from: W. May (NIST) with kind permission



# Labormedizin: Die Praxis

Black:  
Acceptance limits of DGKL  
based on  
IDMS reference method

Coloured squares:  
method-dependent limits

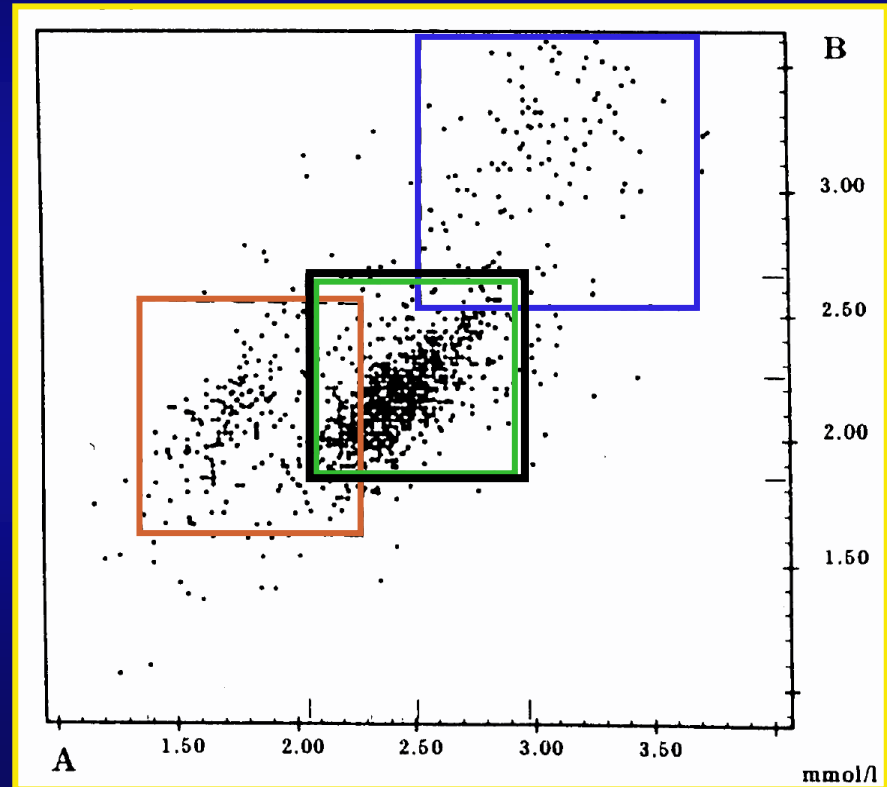
Blue:  
Liebermann-Burchard method

Green:  
CHOD-PAP method

Red:  
CHOD-Iodide method

From: L. Siekmann  
Proc. Meas.Trac., Gaithersburg, Nov.2000  
with kind permission

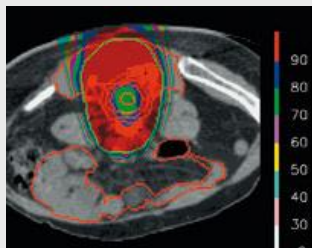
YOUDEN Diagram  
(round robin test of DGKL for cholesterol (1987))





## Metrologie im Dienst der Gesundheit (2)

Ionisierende Strahlung wird zur Behandlung von Tumorerkrankungen eingesetzt.



### Neue Form der Strahlentherapie:

Die **Protonentherapie** erlaubt es, die in Tumoren deponierte Dosis räumlich besser einzugrenzen.



### Anforderung an die Metrologie

Eine wirksame und zuverlässige Strahlentherapie bedingt eine genaue Messung der applizierten Strahlendosis

- Das Dosisprofil der Protonenstrahlung soll im Patienten besser als 4% bestimmt werden können.
- Die Genauigkeit des verwendeten Primärnormals muss besser als 1% sein.



**Projekt „Primärnormal für absolute Dosimetrie gescannter Protonen mit einem Wasserkalorimeter“**



# Zusammenfassung

- **Das Know-how in der Messtechnik definiert die Grenzen unserer technischen Möglichkeiten.**
- **Was wir nicht messen können, verstehen wir in der Regel nicht richtig und können es nur beschränkt kontrollieren.**
- **Die globale Vernetzung fordert international abgestimmte Masse und international anerkannte Messresultate.**