

***Indoor Positioning – Präzise Verfahren zur
Innenraumpositionierung***

Rainer Mautz

ETH Zürich
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

Donnerstag, 10. Dezember 2009
16:15 Uhr Hörsaal L501/427



Plan to participate now!
www.ipin.ethz.ch/papers

IPIN

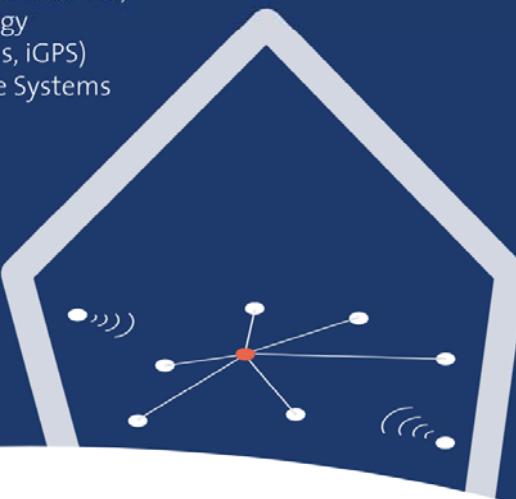
2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation

Optical / Ultrasound / Infrared Systems
RF Systems (UWB, WLAN, RFID, GSM)
GNSS Indoor (High Sensitivity GNSS, Pseudolites)
Techniques used in Industrial Metrology
(CMMs, Lasertrackers, Measuring Arms, iGPS)
Inertial Sensors, Hybrid and Innovative Systems

September 15-17, 2010

www.ipin.ethz.ch

ETH Zurich
Campus Science City
Switzerland



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich


Geodätische Messtechnik



IEEE



IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY

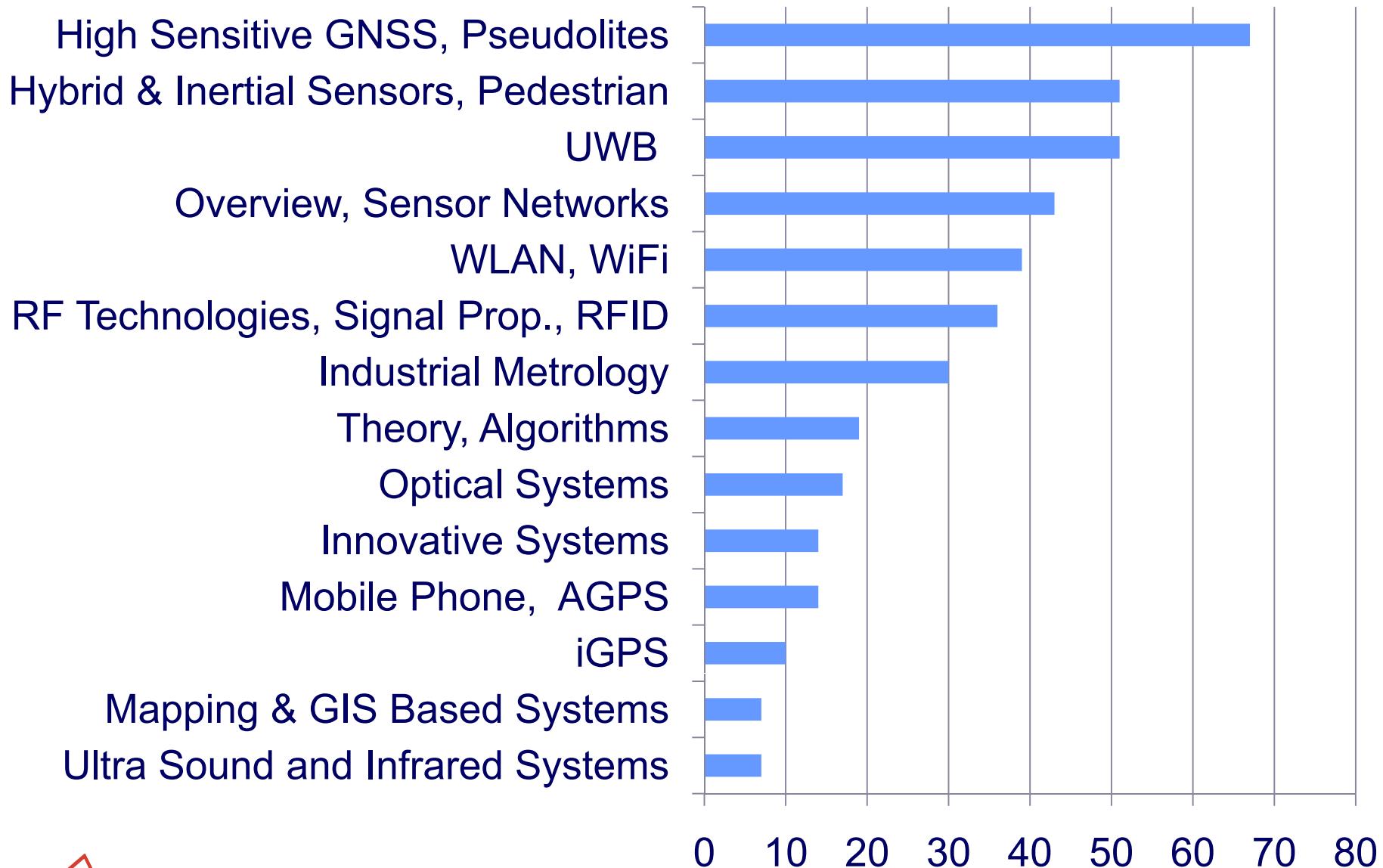


ETH Zürich

Einladungsliste

373	Mr.	Maarten	Weyn	Artesis University	Localization, LocON
374	Mr.	Sigit	Wibowo	Cork Institute	localization based on time of flight
375	Prof.	Werner	Wiesback	KIT	Wellenausbreitung Indoor, UWB
376	Prof.	Andreas	Wieser	TU Wien	Ingenieurgeodäsie, Sensors
377	Prof.	Manfred	Wieser	TU Graz	Navigation für Sehbehinderte
378	Mr.	Thomas	Wießflecker	TU Graz	indoor navigation
379	Mrs.	Verena	Willert	TU Darmstadt	Bildbasierte Positionsbestimmung
380	Prof.	Armin	Wittneben	ETH Zürich	Indoor Wireless, Position Locationing
381	Prof.	Bernd	Witzigmann	ETH Zürich	Wave Propagation, Lasers
382	Mr.	Dean	Wormell	InterSense, Inc.	Inertial Optical Tracking System
383	Mr.	Jianping	Wu	Tsinghua University	WLAN Locating Method
384	Prof.	Thomas	Wunderlich	TU München	Sensorik, Positioning
385	Dr.	Ralf	Wunderlich	RWTH Aachen	UWB Localisation
386	Mr.	Junlin	Yan	TU Delft	Least Squares for Indoor Positioning
387	Dr.	Rudolf	Zetik	TU Ilmenau	Range Based Localization, UWB
388	Prof.	Kefei	Zhang	RMIT University	Algorithms RFID/INS
389	Mr.	Stefan	Zorn	Uni Erlangen	Positionsbestimmung, GSM
390					

Anzahl der Forschungsgruppen / Firmen





Inhalt

Übersicht Positionierungssysteme

Ausgewählte Systeme:

- GNSS in Gebäuden
- Pseudoliten
- iGPS
- Ultraschall
- Ultra Wide Band
- Optische Systeme

Zusammenfassung & Ausblick

„Indoor Positioning“ ?

Innenraum-

- Positionierung
- Positionsbestimmung
- Navigation \leftrightarrow Tracking
- Ortung
- Lokalisierung

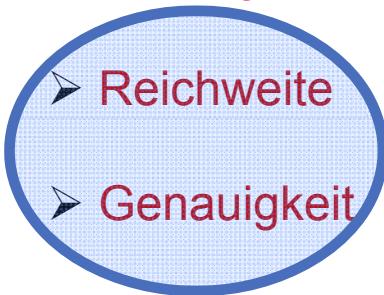
Indoor Positioning – Wozu?

- Informationsdienste (Location Based Services)
 - Tracking von Objekten (Produkte in Industrieanlagen, Facility Management)
 - Automatisierung (Robotersteuerung, Umgebungssteuerung)
 - Sensor Netzwerke
 - Fußgänger Navigation (Krankenhäuser, Feuerwehr, Sehbehinderte)
 - Augmented Reality (Einblendung von Zusatzinformationen, Gaming)
 - Messsystem



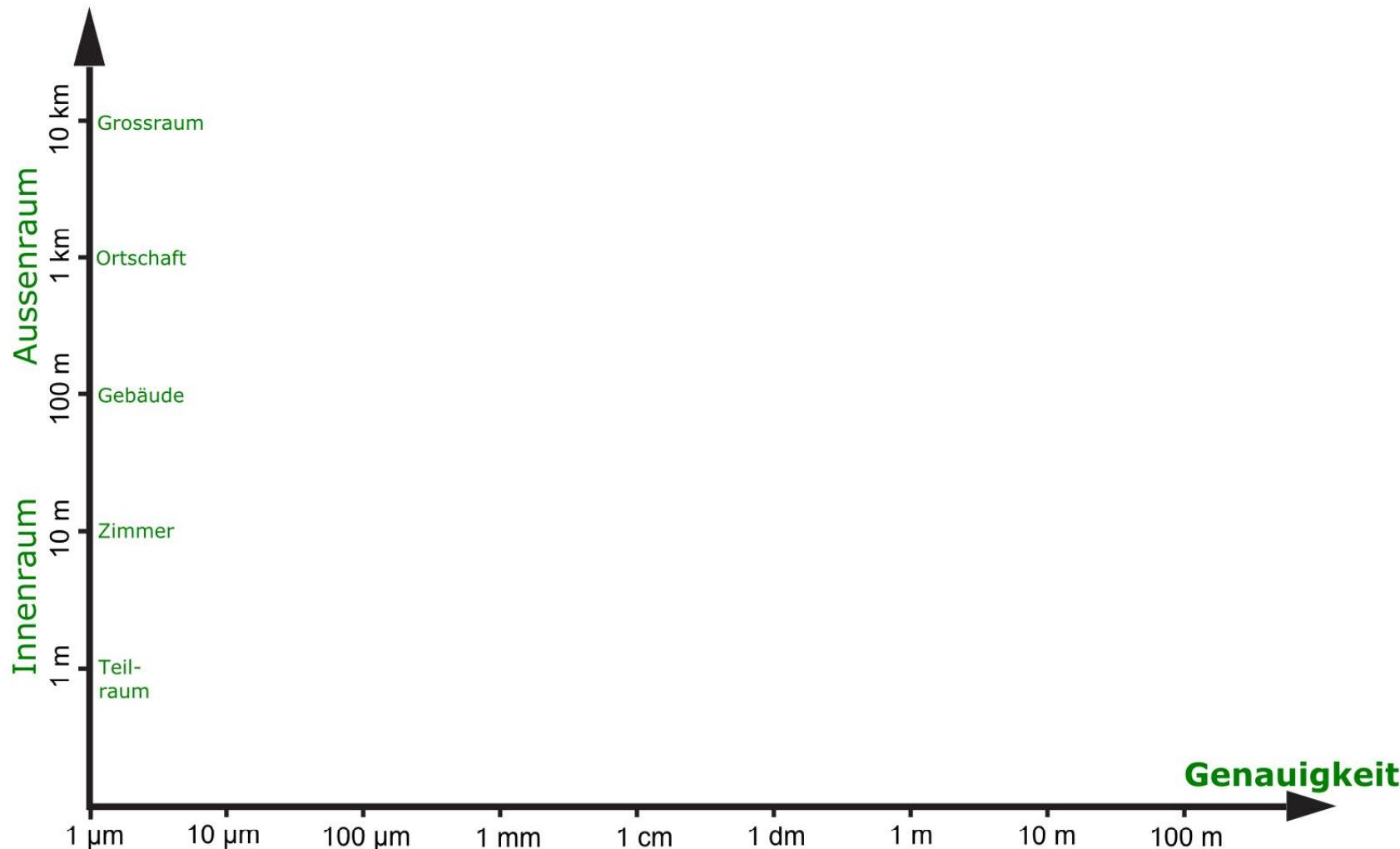
Klassifizierung von Positionierungssystemen

- **Messprinzip** (Trilateration, Triangulation, Signalstärke)
- **Trägerwelle** (Radiofrequenz, Lichtwelle, Ultraschall, Terahertz)
- **Anwendung** (Industrie, Messtechnik, Navigation)
- **Marktreife** (Entwurf, Entwicklung, Testphase, Produktion)
- **Kosten**
- **Benötigte Infrastruktur**
 - **Reichweite**
 - **Genauigkeit**



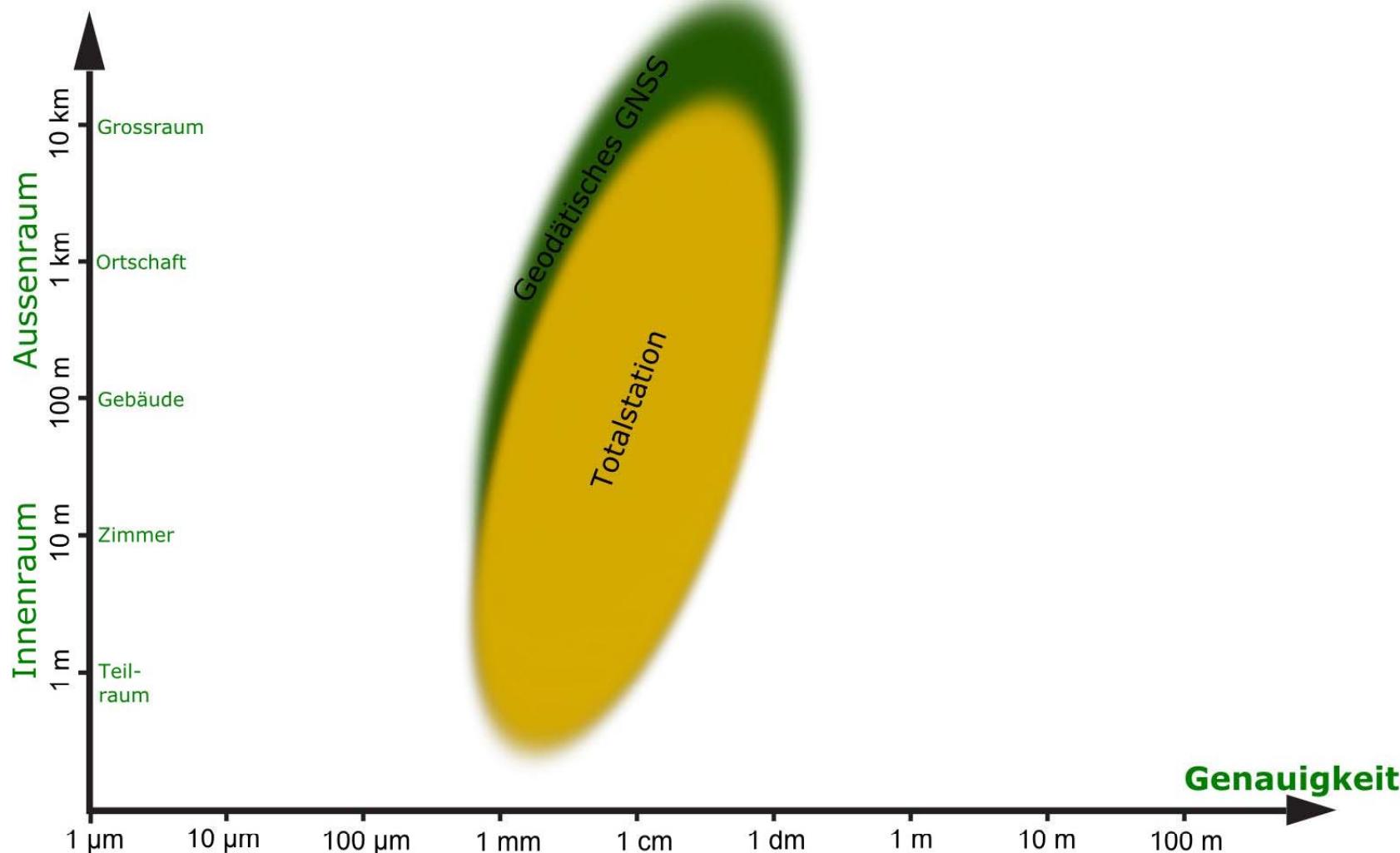
Reichweite

Graphik: Rainer Mautz



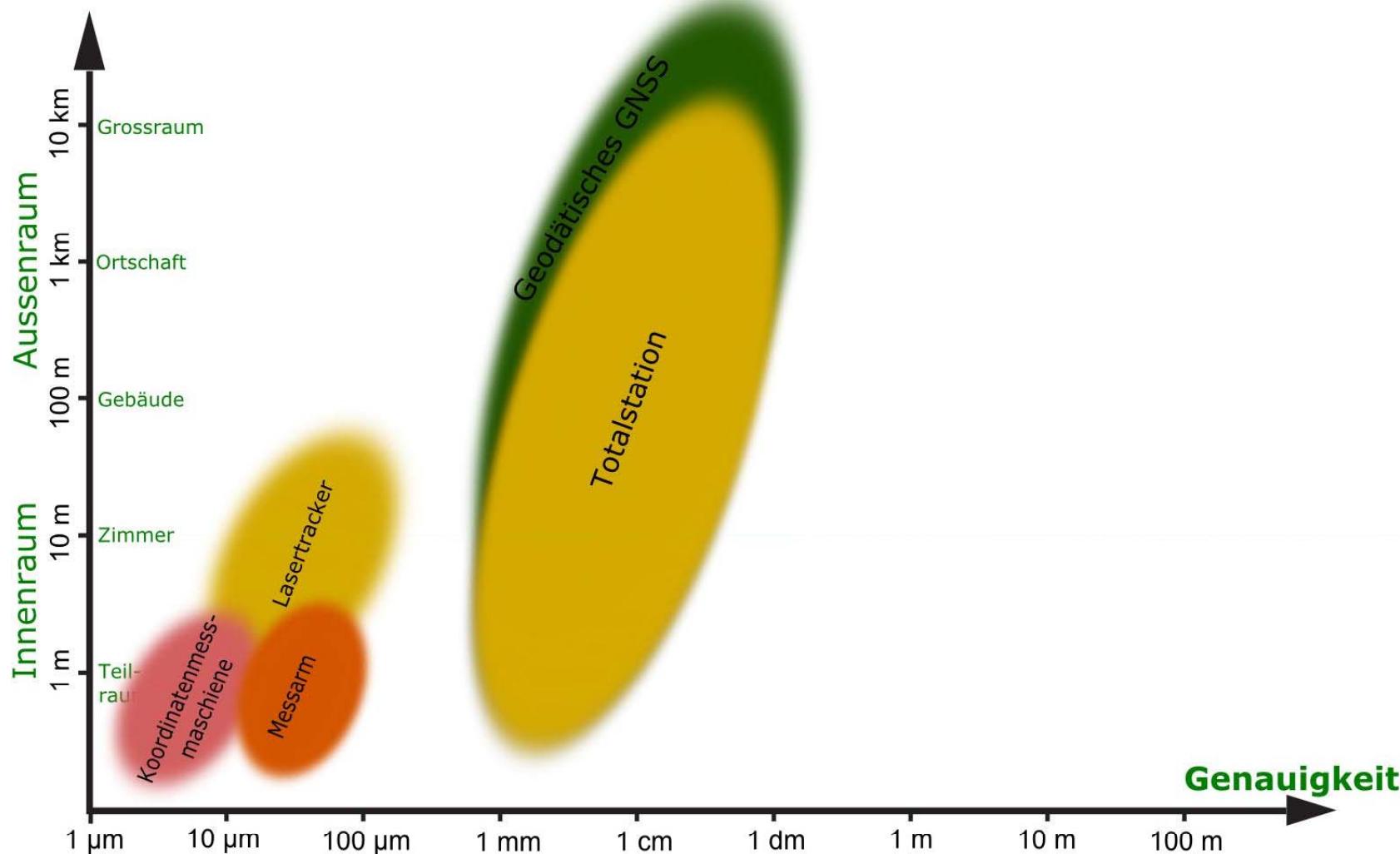
Reichweite

Graphik: Rainer Mautz



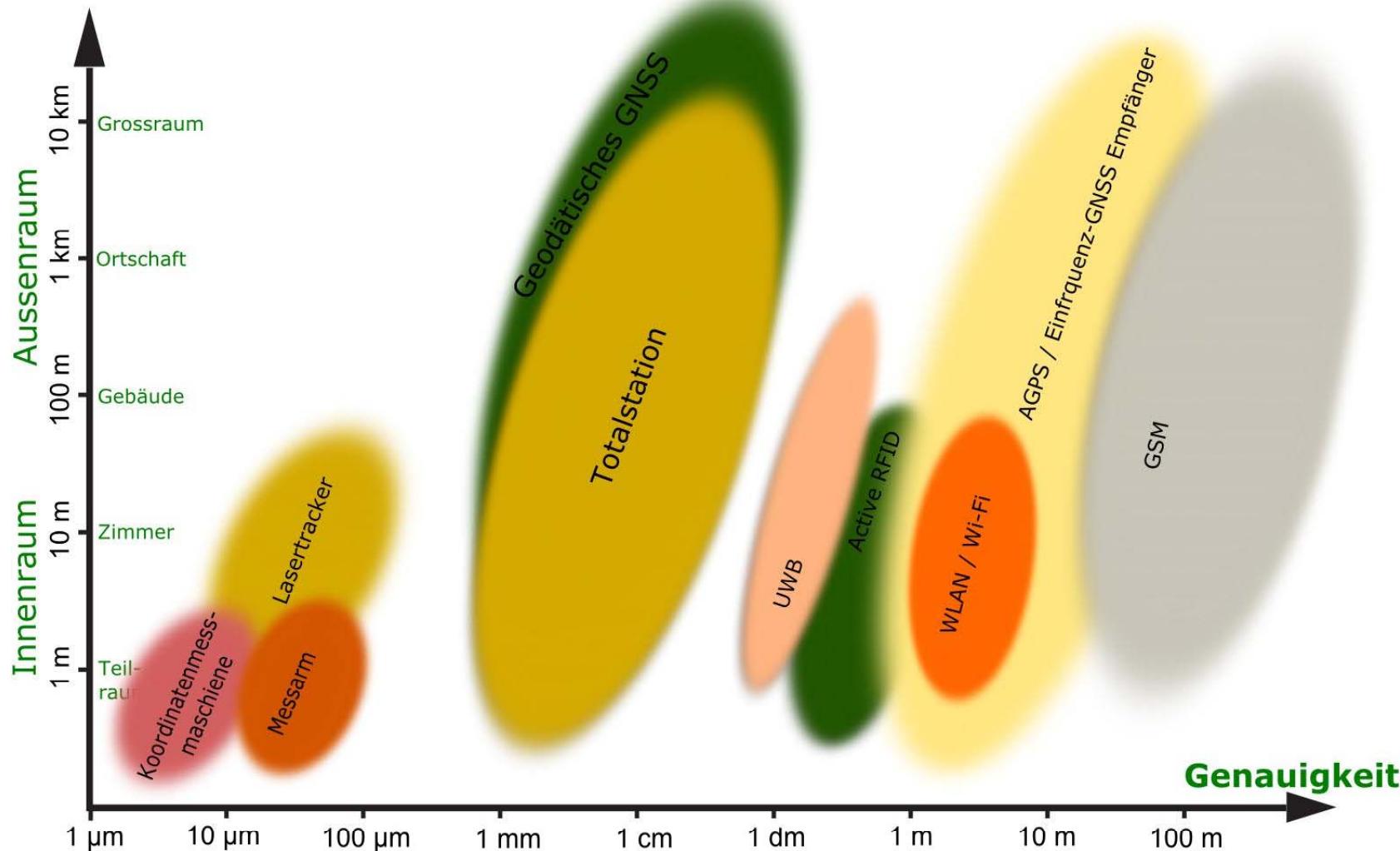
Reichweite

Graphik: Rainer Mautz



Reichweite

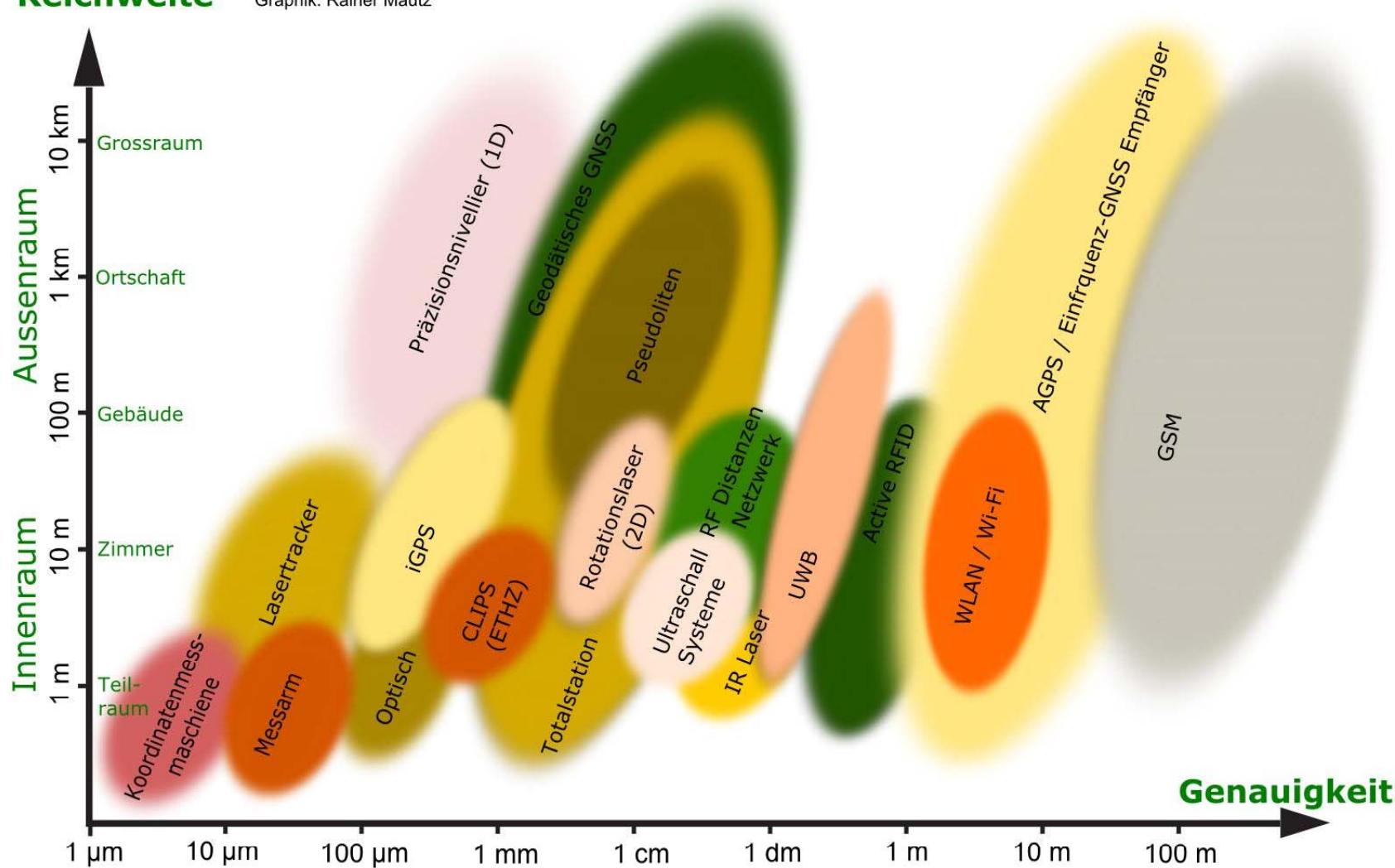
Graphik: Rainer Mautz





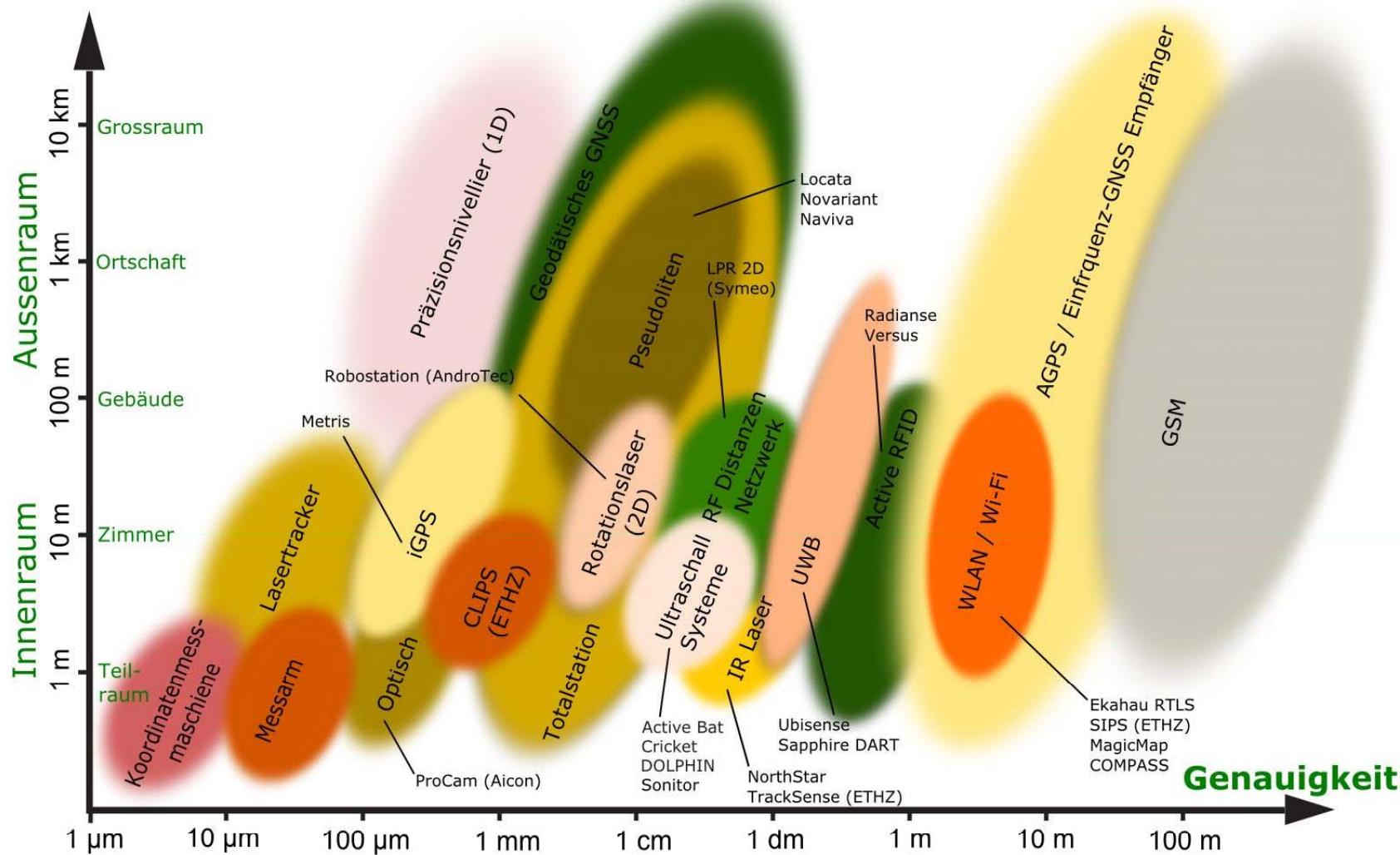
Reichweite

Graphik: Rainer Mautz



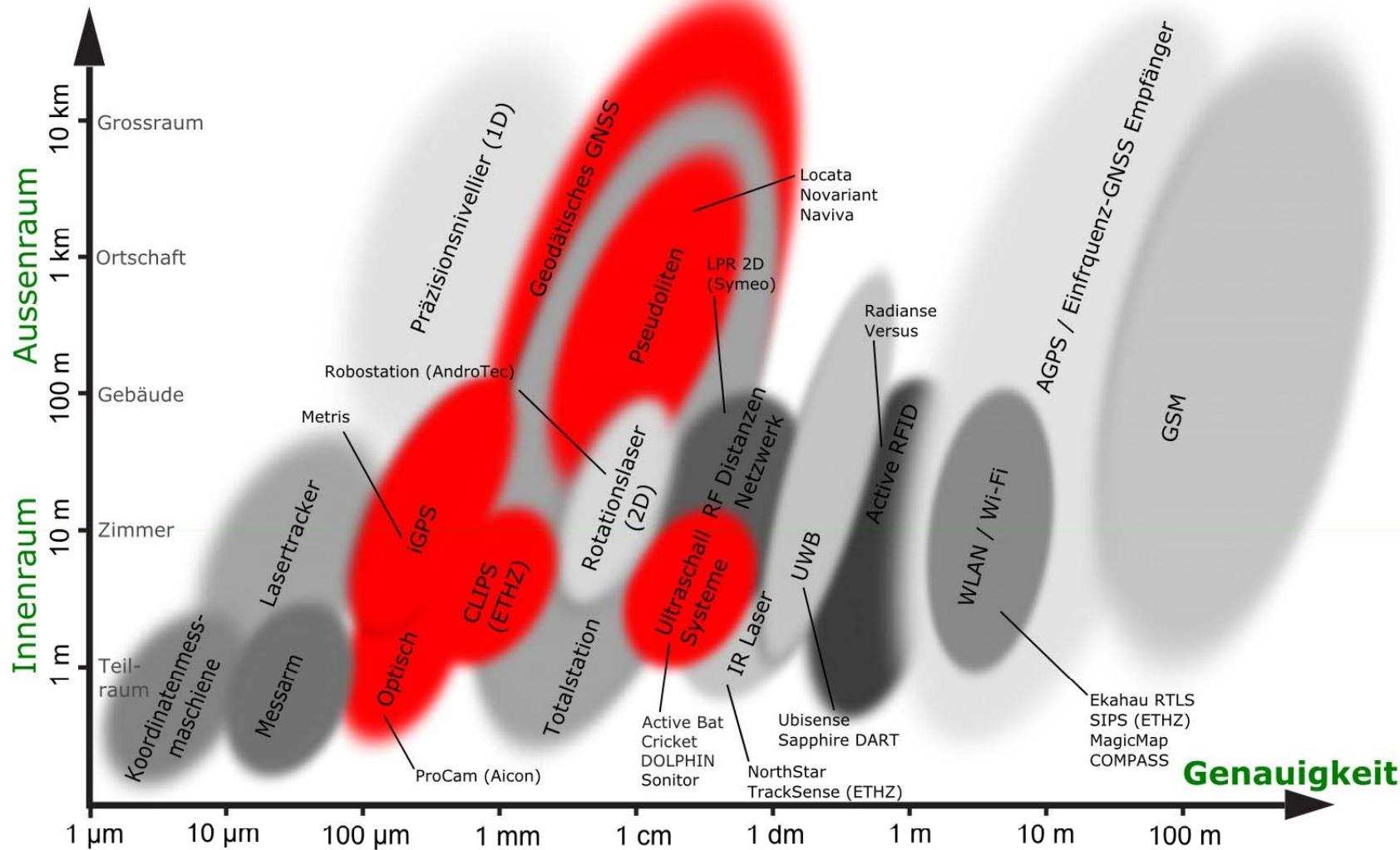
Reichweite

Graphik: Rainer Mautz



Reichweite

Graphik: Rainer Mautz

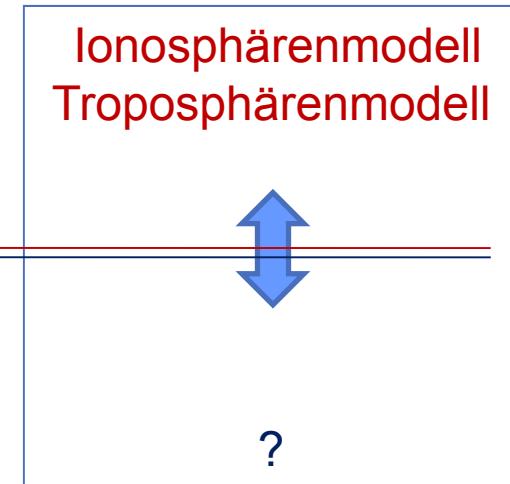


Geodätisches GNSS:

Messprinzip: Trägerphasenmessung, differentiell, Trilateration

Aussenraum: global verfügbar (ausser Schluchten...etc)
volle Marktreife
mm – cm Genauigkeit (statisch)

Innenraum: nicht verfügbar
Abschattung
Abschwächung
Reflektion
Beugung
Streuung



Mehrwegausbreitung (Multipath)

Signalabschwächung GNSS (L1 = 1575 MHz)

Material	Δ [dBW]	Faktor
Glass	1 - 4	0.8 – 0.4
Holz	2 - 9	0.6 – 0.1
Dachziegel, Backstein	5 - 31	0.3 – 0.001
Beton	12 - 43	0.06 – 0.00005
Stahlbeton	29 - 43	0.001 – 0.00005

Stone (1997)

Signalstärke in Dezibel Watt von GNSS Satelliten

Umgebung	[dBW]	
Satellit (27 Watt)	+14	Signalstärke am Satellit
Aussenraum	-160	Grenze für konventionelle Empfänger
Innenraum	-180	Grenze für hoch-sensitive Empfänger
Unterlage	-190	Grenze für ultra-sensitive Empfänger

100 mal schwächer

1000 mal schwächer

Hochsensitive GNSS Empfänger

Anwendung: Überwachung, Notruf-Positionierung, LBS

Marktreife: kommerziell erhältlich

SiRFStar III (> 200.000 Korrelatoren)

Global Locate A-GPS Chip (Assisted-GPS)

Stärken:

keine zusätzliche Infrastruktur in Gebäuden

Lösung für Umgebung von Abschattungen, PKW, Indoorbereich

Schwächen:

Lange Akquisitionszeit

TTFF: 60 s (mit Assistenz 12 s)

Hohe Rechenanforderung

Genauigkeit: 14 m (Evaluierung Thales)

6 m (Laubwald)

Wie könnte das Problem behoben werden?

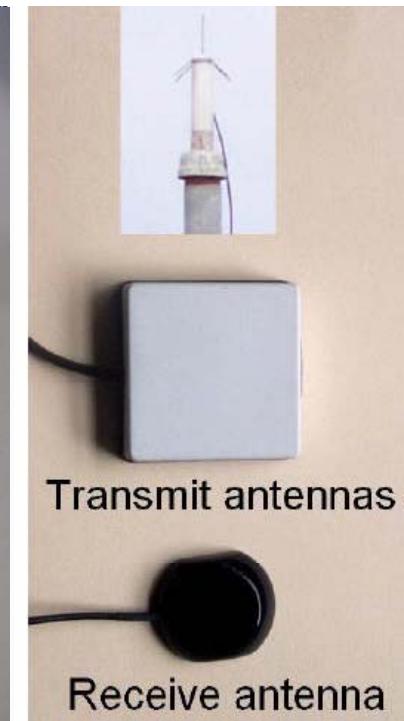
- Phasenlösung → cm
- Höhere Signalstärke am Satellit
- Parallelisierung Rechenprozess
- Ultra Wideband GNSS Signale

Alternative Positionierungssysteme - Pseudoliten

Terrestrische Pseudo-Satelliten Empfänger:

 Locata Corporation mit UNSW in Australien, Canberra
 naviva Navindoor (Finnland)
 NOVARIANT Terralite XPS

Unterstützung
von GNSS in
„schwieriger“
Umgebung



Picture from Jonas BERTSCH: *On-the-fly Ambiguity Resolution for the Locata Positioning System*,
Master Thesis, ETH Zurich, February 2009.

Pseudoliten: Locata

Anwendung: Tagebau, Maschinenführung, Monitoring, Indoor-Positionierung

2.4 GHz ISM Band, 1 Hz Messfrequenz, Marktreife: in Entwicklung

Stärken:

Statisch: 2 mm, RTK: 1 – 2 cm bei 2.4 m/s

Signalstärke grösser als bei GNSS

GNSS unabhängig: (Indoor dm)

Probleme:

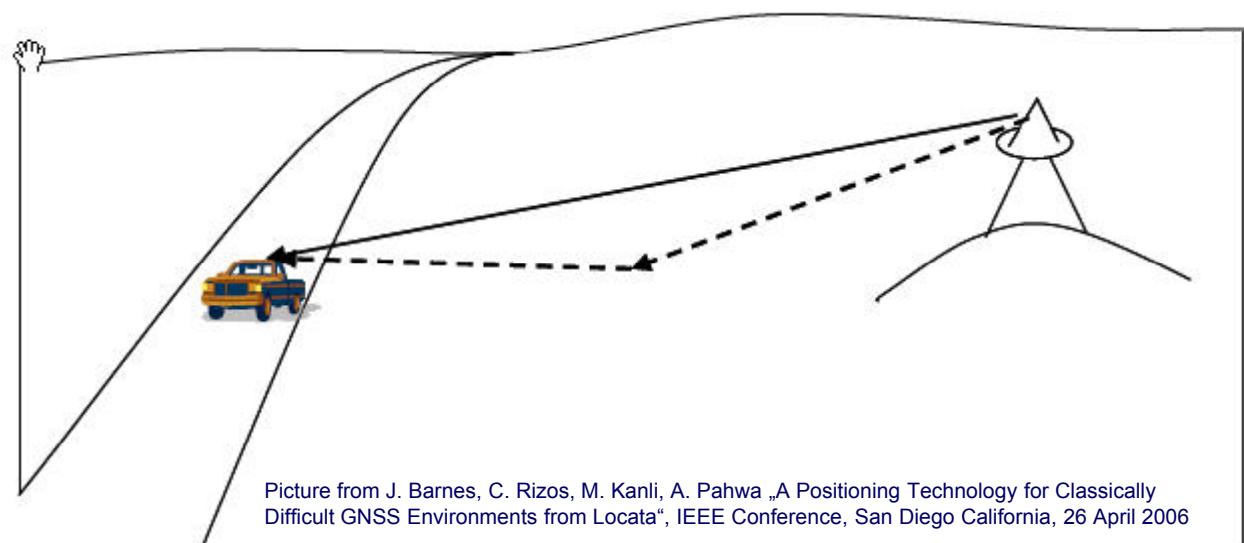
Mehrwegausbreitung

Frequenz-Freigabe

Synchronisation < 30 ps

Lösung Mehrdeutigkeiten

VDOP

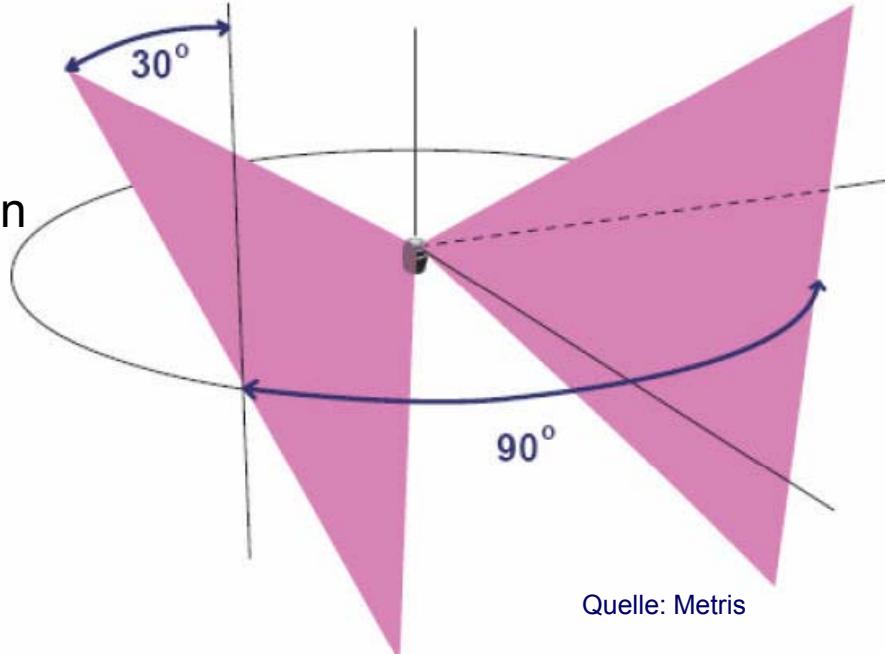


Picture from J. Barnes, C. Rizos, M. Kanli, A. Pahwa „A Positioning Technology for Classically Difficult GNSS Environments from Locata“, IEEE Conference, San Diego California, 26 April 2006

iGPS (Metris)

Funktionsprinzip:

- Transmitter senden rotierende Laserebenen
- Zeitreferenz: Infrarotsignal
- TDOA → Winkel
- Rückwertsschnitt

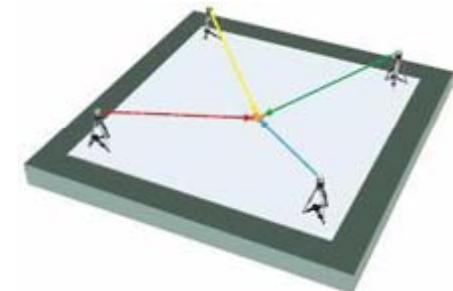


Anwendung: Luftfahrt, Industrievermessung, Robotersteuerung

Arbeitsbereich: 2 – 50 m

Genauigkeit: 0.1 mm

Marktreife: Testphase

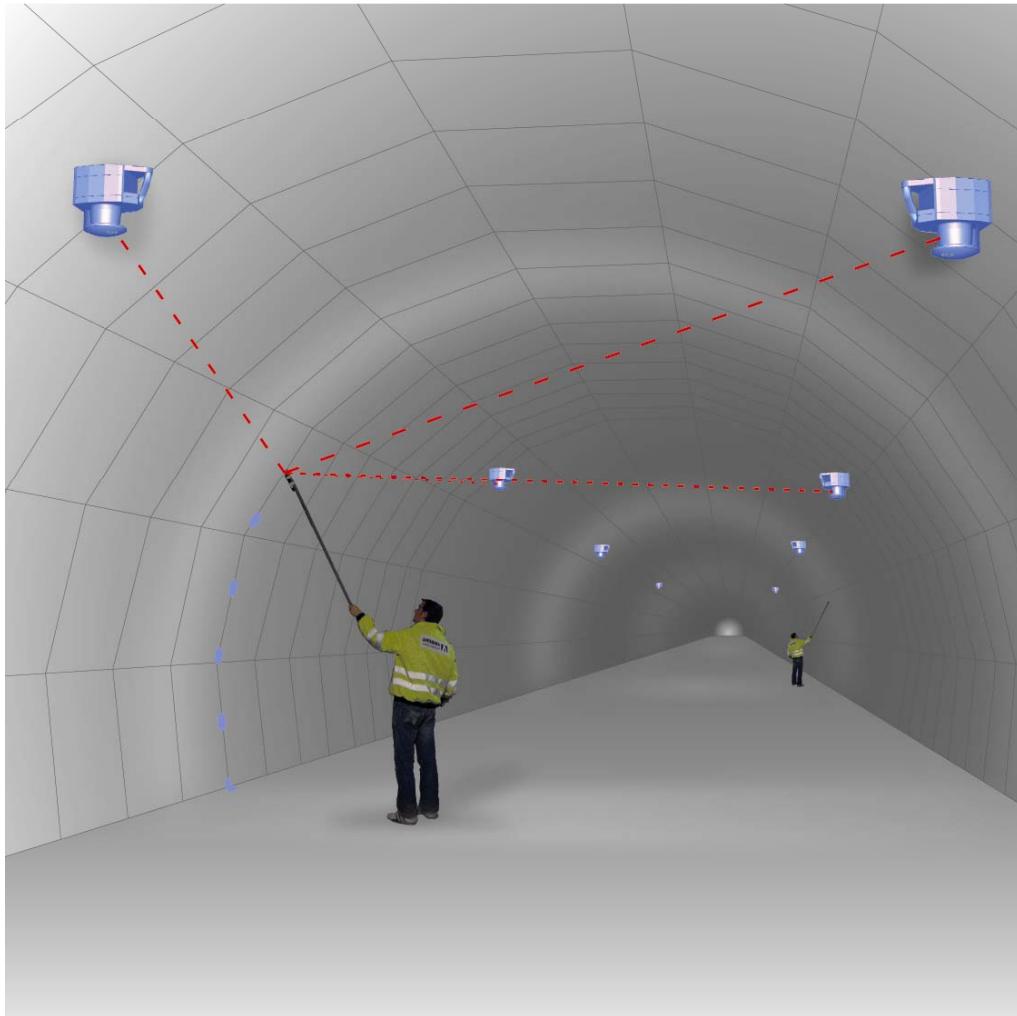


iGPS



iGPS Transmitter und Sensor während eines Tests im Tunnel

iGPS



Szenario beim Einsatz im Tunnel.

Stärken:

Hohe 3D Genauigkeit (0.1 mm)
Echtzeit, Messrate 40 Hz

Probleme:

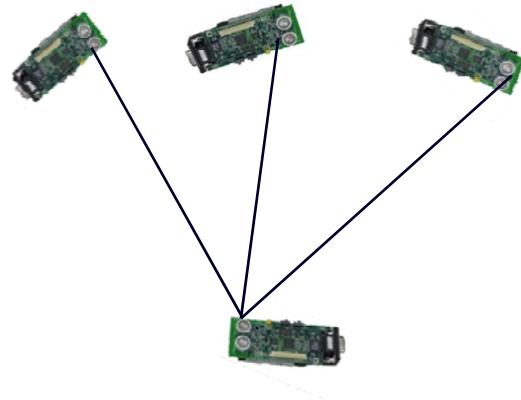
Multipath
Einfluss störender Lichtquellen
Aufwand bei Installation
Kosten

Masterarbeit, ETH Zürich DAVID ULRICH (2008):
Innovative Positionierungssysteme im Untertagebau

Ultraschallsysteme – Crickets (Active Bat, Dolphin)

Funktionsprinzip:

- TOA, TDOA (Ultraschall & RF)
- Multilateration



Anwendung: Indoornavigation, Computerspiele

Arbeitsbereich: bis 10 m

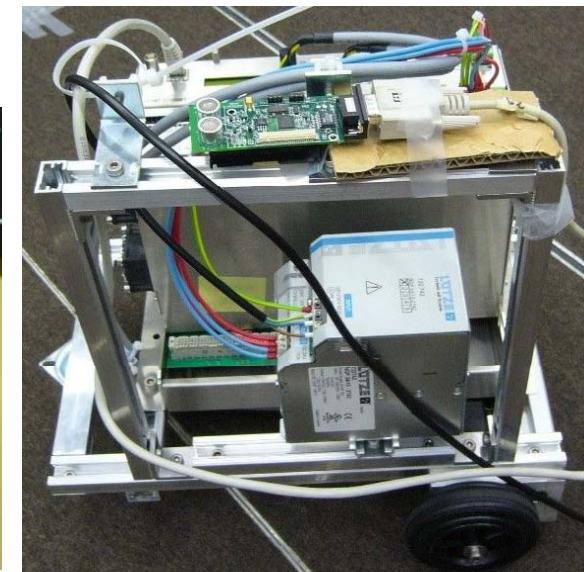
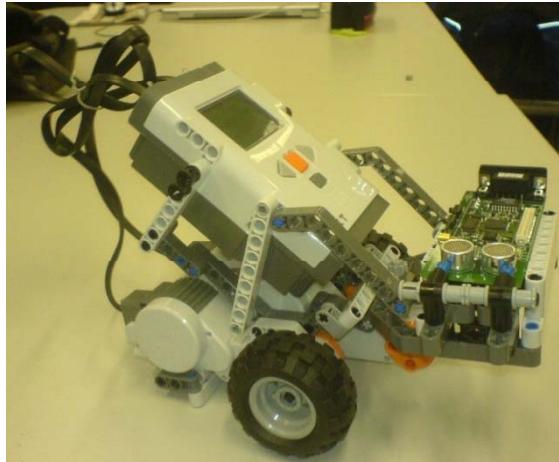
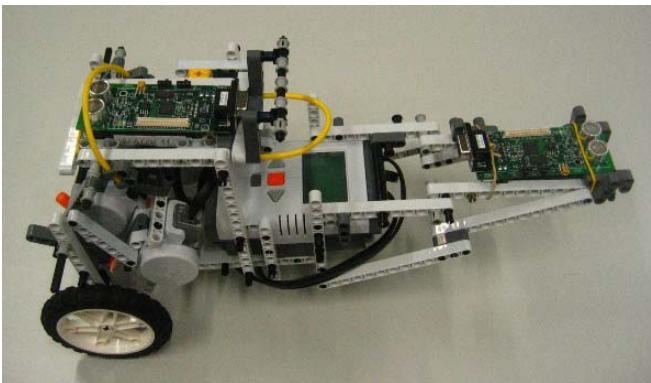
Genauigkeit: 1 - 2 cm

Marktreife: kommerziell erhältlich

Kosten: niedrig

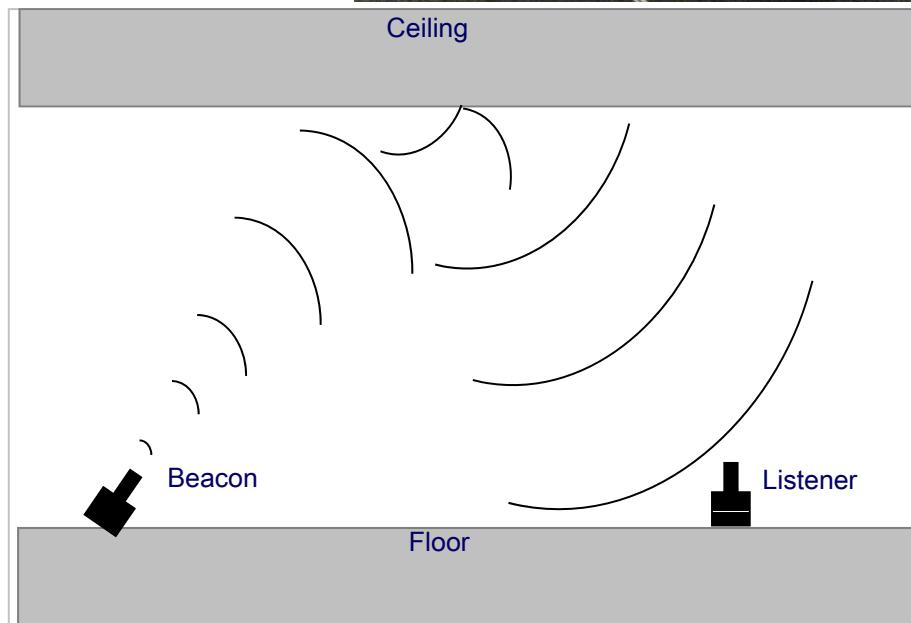
Ultraschallsysteme – Crickets

Projekt: Roboter Positionierung



Probleme:

- Temperaturabhängigkeit
- Reichweite (< 6 m)
- Installation der Referenz-Sender
- Multipath
- Verlässlichkeit
- Interferenzen mit Geräuschquellen



Ultra Wide Band (UWB)

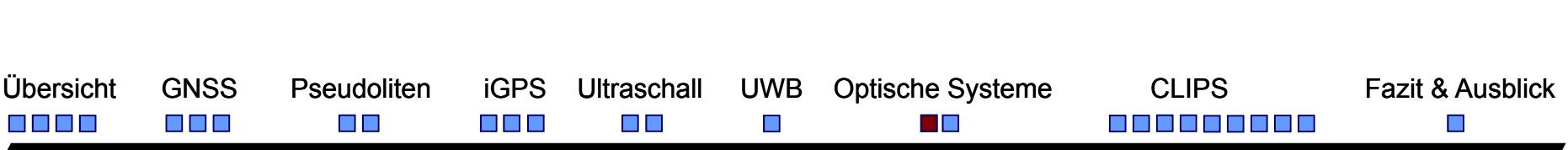
Frequenzspektrum > 500 MHz oder $> 20\%$ Breite der mittleren Frequenz

Freie Lizenz: 3.1 – 10.6 GHz

- Vorteile:** Robustheit gegenüber Multipath, Durchdringung von Baumaterialien
- Methode:** Zeitlaufmessung, Trilateration
- Arbeitsbereich:** raumweit - gebäudeweit
- Genauigkeit:** LoS cm-Bereich, NLoS dm-Bereich
- Marktreife:** kommerziell erhältlich (Thales, Ubisense, Sapphire)
- Anwendungen:** Feuerwehr, Krankenhaus, Tracking
- Probleme:** Ausreisser, Laufzeitverzögerung durch Baumaterial



Bilder aus den Websiten von Thales, Ubisense & Sapphire



Optische Systeme: Sky-Trax System

Prinzip: Positionscode an Decken installiert, mobile Kamera erkennt Codes

Anwendung: Lagerhallen, Navigation, Logistik

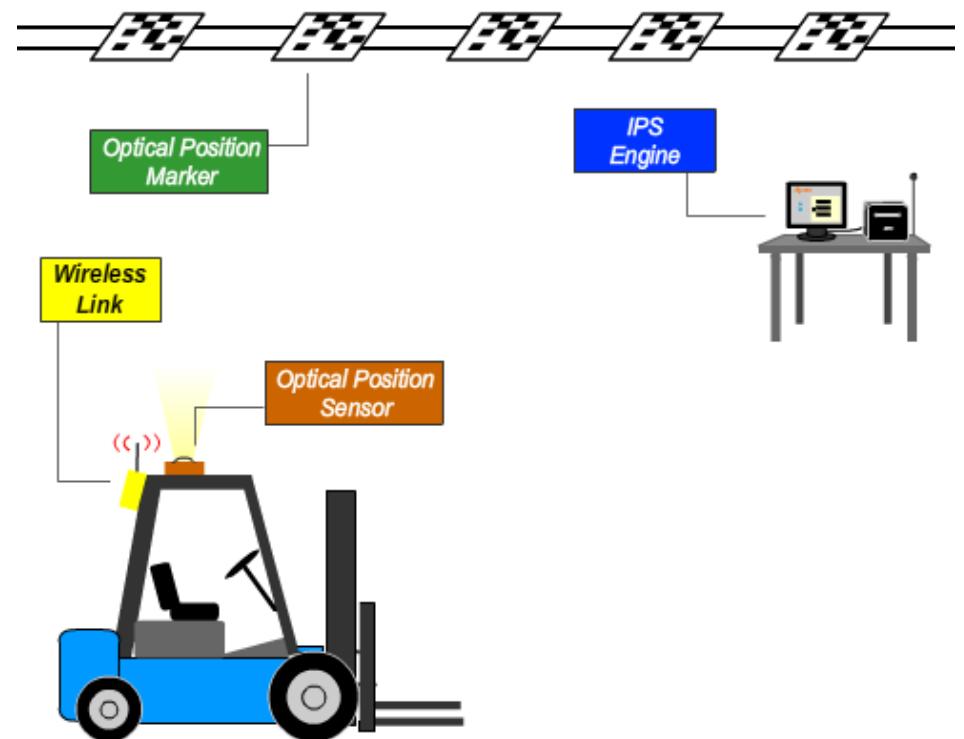
Arbeitsbereich: Hallen, Raumweite

Genauigkeit: 2 - 30 cm („inch“ bis „foot“)

Marktreife: kommerziell erhältlich

Nachteil:

Abhängigkeit von
Installationen,
geringe Flexibilität



Optische Systeme: ProCam System (AICON)

Prinzip: Mobiler Messtaster mit infrarot CCD Kamera, Blick auf Messpunktfeld

Anwendung: Crashvermessung, Industrievermessung

Arbeitsbereich: raumweit

Genauigkeit: 0.1 mm + 0.1 mm/m

Marktreife: kommerziell erhältlich

Nachteile: **Abhängigkeit von aktivem Messpunktfeld, Kabel Kosten**





Optische Systeme: CLIPS

(Camera & Laser Innenraum PositionierungsSystem)

Funktionsprinzip: Ortsfeste Laserstrahlen, relative Orientierung einer Kamera

Anwendung: Industrievermessung

Arbeitsbereich: raumweit

Genauigkeit: 1 mm

Datenrate: 30 Hz

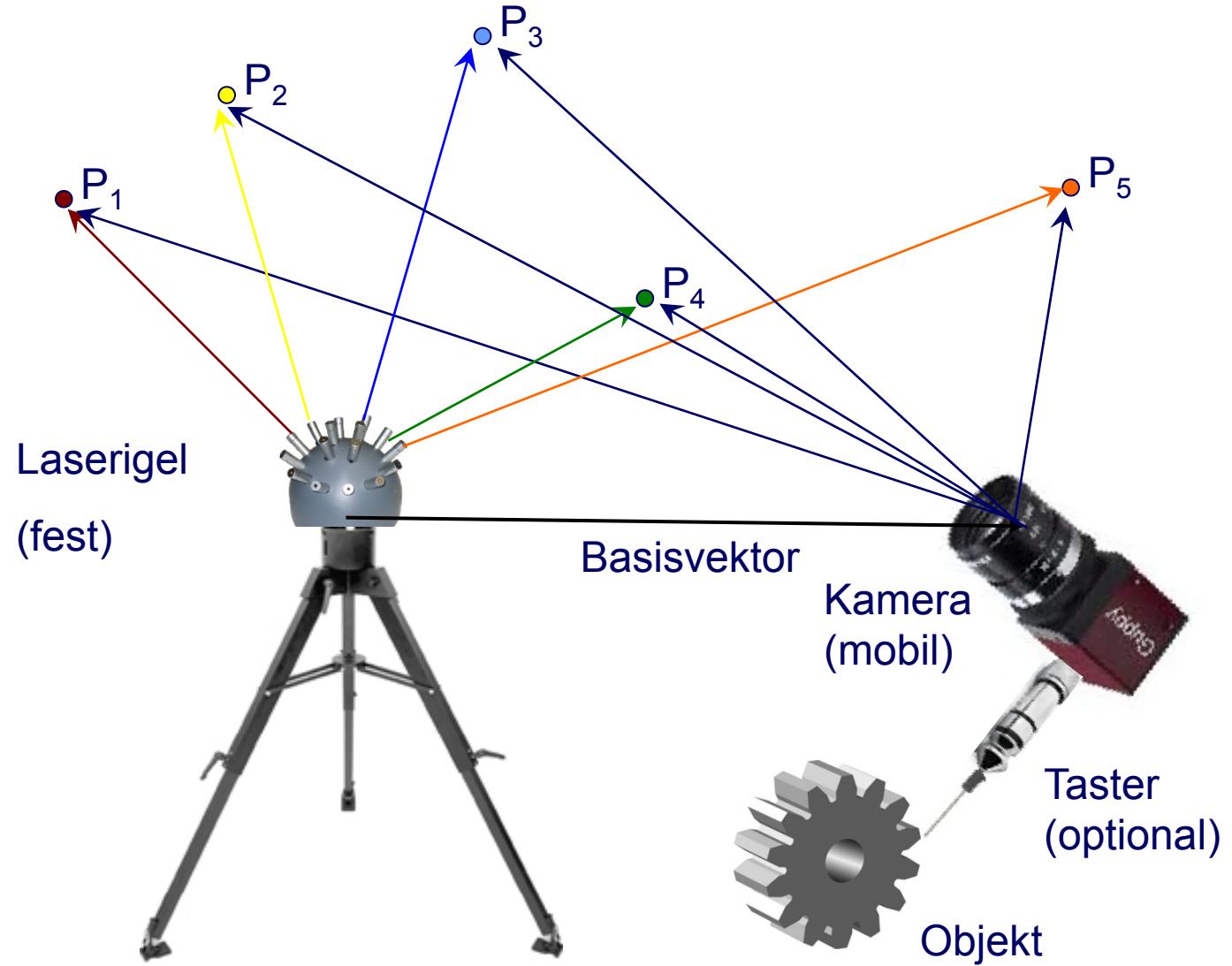
Marktreife: in Entwicklung

Kosten: gering



CLIPS

Messprinzip:

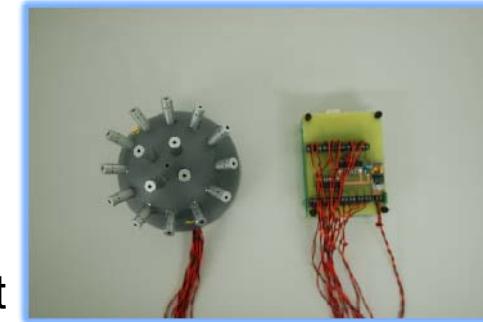




CLIPS – Aufbau

Laserigel

- PVC-Halbkugel
- 16 Laserstrahlen (LK 2) mit gemeinsamen Zentrum
- Ausrichtung der Laserstrahlen durch Kalibrierung bekannt



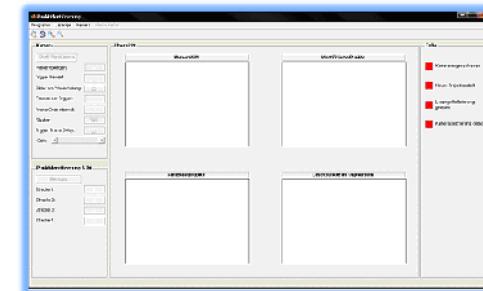
Basic Stamp

- Steuerung der Laserbeams



Digitalkamera

- AVT Guppy mit Progressive-Scan CCD-Sensor
- Canon Objektiv
- Innere Orientierung (c, xp, yp) durch Kalibrierung bekannt



CLIPS-Steuersoftware

- Steuerung der Kameraparameter
- Bestimmung der relativen Orientierung

CLIPS – Ablauf

Der Laserigel übernimmt

- die Projektion eines Referenzpunktfeldes mittels fokuserter Laserstrahlen auf jede mögliche Oberfläche und
- die Simulation einer zweiten Kamera

Aufnahme der Laserspots durch die Kamera

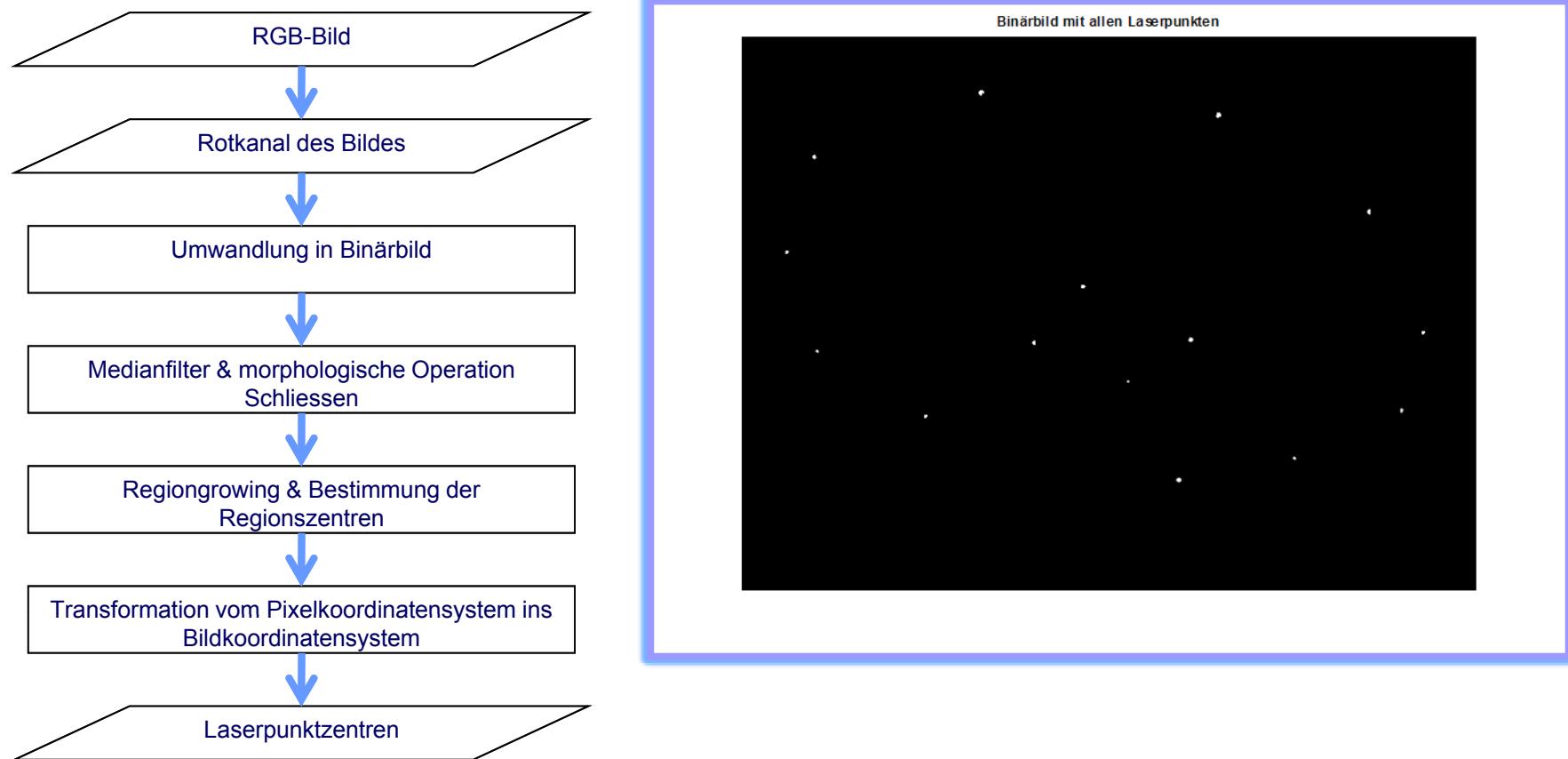
Punkterkennung der Laserspots in den Kamerabildern

Identifizierung und Herstellung von Punktkorrespondenzen zum virtuellen Bild der simulierten Kamera

Bestimmung der **Relativen Orientierung** mit Hilfe der Punktkorrespondenzen und der Epipolargeometrie

Maßstabsbestimmung

CLIPS – Punkterkennung



Punktidentifikation:

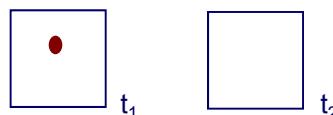
Farbliche Kodierung



Probleme:

Verfügbarkeit farbiger Laser

Zeitliche Kodierung



Zeitkritisch, min. 2 Bilder

Punktgruppen



Verzerrung durch Oberfläche

Form-Kodierung



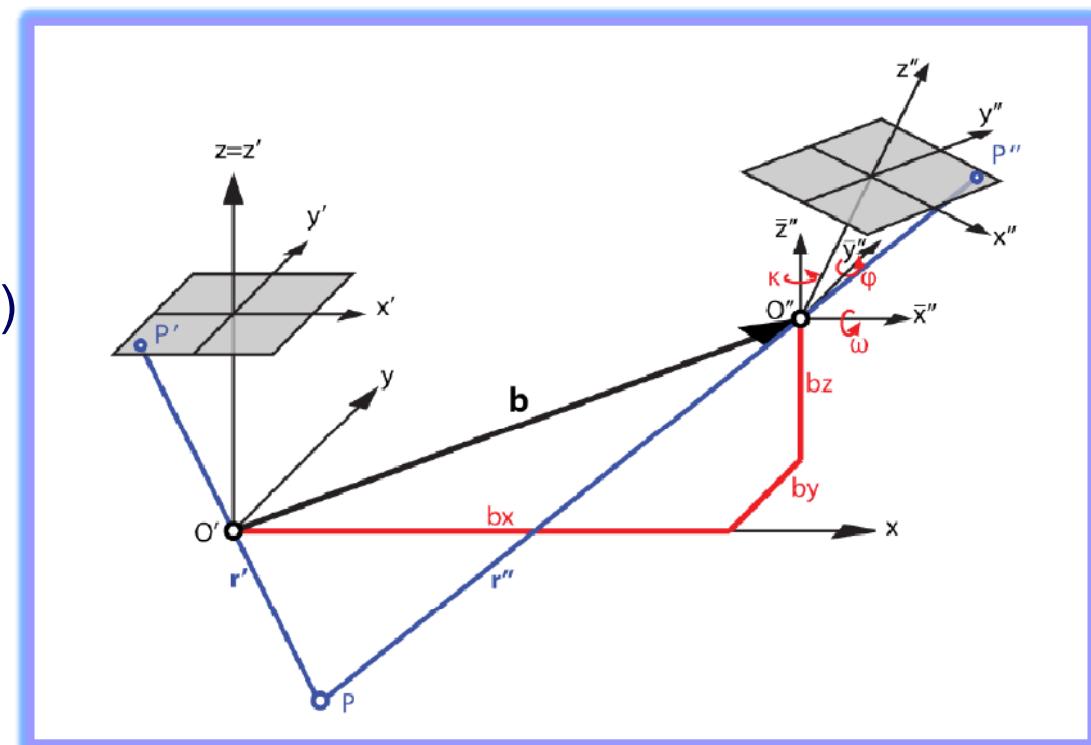
Verzerrung, Komplexität

Erkennung durch Software

Robustheit, Umsetzbarkeit

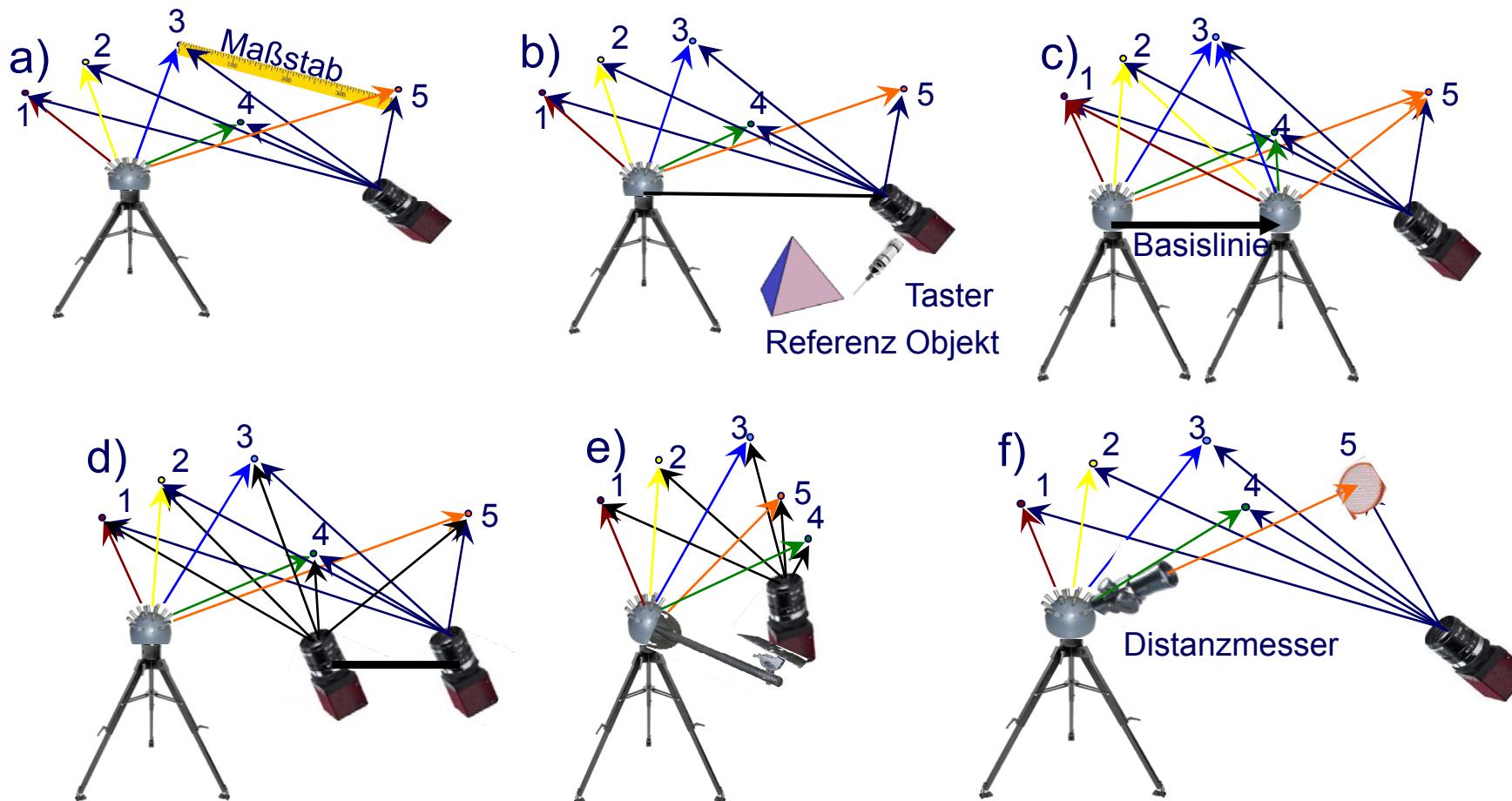
CLIPS – Relative Orientierung

- Bestimmung mittels Koplanaritätsbedingung
- Angabe der relativen Orientierung:
Basisvektor b
Orientierungswinkel $(\omega, \varphi, \kappa)$



[Luhmann, 2003]

CLIPS - Maßstabsbestimmung





CLIPS – Genauigkeit

Erste Tests: cm → mm

Potential für sub-mm

Fazit

Aussenraum: GNSS dominant

Innenraum: keine generelle Lösung, Systemwahl je nach Anforderung

Benutzer muss hinnehmen:

- geringe Genauigkeit
 - geringe Zuverlässigkeit
 - aufwendige lokale Installationen
 - geringe Reichweite
 - unangemessene Kosten

Ausblick

- Signale durchdringen Wände (ultra-sensitives GNSS)
 - Optische und hybride Verfahren
 - Für sub-dm Genauigkeit bleiben Installationen lokale unvermeidbar