



## Seminarort

CCG-Zentrum, Technologiepark Argelsrieder Feld 11  
D-82234 Weßling-Oberpfaffenhofen

Eine Lageskizze sowie Hinweise für die Anreise und Übernachtung  
schicken wir Ihnen mit der Bestätigung der Anmeldung zu.

## Gebühr

EUR 1.180,-

Die CCG ist ein gemeinnütziger Verein und in Deutschland von der  
Umsatzsteuer befreit. Für Veranstaltungen an ausländischen  
Standorten gelten die dortigen Steuerregelungen.

Mitglieder der CCG erhalten 10% Rabatt. Bei Anmeldung mehrerer  
Mitarbeiter einer Firma / Dienststelle zum gleichen Seminar erhält jeder  
Teilnehmer 10%. Studentenrabatte sind auf Nachfrage verfügbar. Die  
Rabatte sind nicht miteinander kombinierbar.

Bitte zahlen Sie bargeldlos nach Erhalt der Rechnung.

## Anmeldungen

Bitte möglichst bis 3 Wochen vor Seminarbeginn an:

Carl-Cranz-Gesellschaft e.V., Argelsrieder Feld 11, D-82234 Weßling  
Tel. +49 (0) 8153 / 88 11 98 -12, Fax -19, E-Mail: [anmelden@ccg-ev.de](mailto:anmelden@ccg-ev.de)

**Internet:** [www.ccg-ev.de](http://www.ccg-ev.de)

Die Anmeldungen werden schriftlich bestätigt.

## Weitere Informationen zum Inhalt

Prof. i.R. Dr.-Ing. habil. Bernd Eissfeller, Exzellenter Emeritus,  
Universität der Bw München, D-85577 Neubiberg  
Tel. +49 (0) 89 / 6004-3017, E-Mail: [bernd.eissfeller@UniBw.de](mailto:bernd.eissfeller@UniBw.de)

## Stornierung

Bei Stornierung mündlich oder schriftlich bestätigter Anmeldungen wird  
eine Bearbeitungsgebühr von EUR 25,- berechnet. Bei Stornierungen,  
die später als 10 Tage vor Seminarbeginn eingehen, werden 25% der  
Gebühr, bei Nichterscheinen die volle Gebühr in Rechnung gestellt. Die  
Vertretung eines angemeldeten Teilnehmers ist möglich.

## Ausfall von Seminaren oder Dozenten

Die CCG behält sich vor, bei zu geringer Teilnehmerzahl oder aus  
anderen triftigen Gründen ein Seminar bis 10 Tage vor Beginn  
abzusagen. Sie behält sich weiter vor, entgegen der Ankündigung im  
Programm auch kurzfristig einen Dozenten und evtl. auch dessen Thema  
zu ersetzen. Ein Schadensersatzanspruch bleibt ausgeschlossen.

## Teilnehmer

Das Seminar richtet sich an Projektleiter und Systemingenieure, Wissen-  
schaffler aus unterschiedlichen Disziplinen, Ingenieure, Entwickler und  
Techniker. An Entscheidungsträger in Behörden und Industrie, die an den  
Grundlagen von INS und der Integration mit Satellitennavigation interessiert  
sind sowie an Mitarbeiter von Agenturen und der öffentlichen Verwaltung.

## Focus

Die Inertialnavigation (INS) nahm nach dem zweiten Weltkrieg als einzige  
bordautonome Navigationstechnologie in der zivilen und militärischen  
Luftfahrt einen großen Aufschwung. Im Rahmen der militärischen  
Programme des kalten Krieges wurden präzise Kreisel und Beschleuni-  
gungsmesser entwickelt, die heute, hochgradig miniaturisiert, auch zivil bei  
allen Transportsystemen eingesetzt werden. Heute liegen INS Systeme bei  
der Integration mit GNSS Empfängern erneut im Trend, da diese zur  
Erhöhung der Stör- und Täuschfestigkeit der GNSS Sensoren unabdingbar  
sind.

Ziel des Seminars ist es, im ersten Teil eine Einführung und einen Überblick  
über das komplexe Gebiet der Inertialtechnik mit vernünftiger Detailtiefe zu  
geben. Das Seminar beginnt mit der Darstellung der Grundlagen von  
verschiedenen INS Mechanisierungen und betrachtet die wichtigsten  
Kreisel- und Beschleunigungsmessertechnologien. Bei den Kreiseln stehen  
insbesondere auch neue technische Entwicklungen wie das Cold Atom  
Interferometer (CAI), optische Kreisel, neue High Resolution Gyros (HRG)  
und MEMS Systeme im Fokus. Im zweiten Teil des Seminars wird auf den  
Strapdown Algorithmus eingegangen, der das wesentliche Rechenelement  
ist, um aus gemessenen Beschleunigungen und Drehraten die  
Zustandsgrößen Lagewinkel, Geschwindigkeit und Position abzuleiten. Der  
Algorithmus ist anfällig für lineare und rotatorische Vibrationen in den  
Sensorachsen. Hierzu wird eine Kurzeinführung in das Themengebiet des  
„Conings und Scullings“ gegeben. Im dritten Teil des Seminars wird im  
Zustandsraum die Fehlertheorie der Trägheitsnavigation behandelt. Die  
Formulierung der Navigationsfehler als Zustandsgrößen ermöglicht die  
Integration mit GNSS Messungen auf Positions-, Rohdaten- und  
Signalebene. Hierzu wird im Normalfall das lineare Kalman Filter  
eingesetzt. Das Seminar wird durch eine System- und  
Rechendemonstration abgeschlossen. Zukünftige Trends der INS Technik  
werden zusammenfassend aufgezeigt. Die Testproblematik von INS wird  
berücksichtigt.

## Unterlagen

Jeder Teilnehmer erhält die Vortragsunterlagen.  
Die Kosten dafür sind in der Gebühr enthalten.

## Seminar SE 2.48

# Kreisel, Beschleunigungsmesser, Inertialsysteme (INS)

5. – 6. Oktober 2021  
Oberpfaffenhofen bei München

## Wissenschaftliche Leitung

Prof. i.R. Dr.-Ing. habil. Bernd Eissfeller  
Universität der Bw München, Neubiberg

## Seminarprogramm

**Dienstag, 5.10.2021**  
**10.15 – 16.30 Uhr**

10.15 – 10.30	Begrüßung, Organisation
10.30 – 11.15 B. Eissfeller	<b>Grundlagen der Inertialsensorik</b> Geschichte, Definitionen nach IEEE, Spezifikation der Sensorfehler nach IEEE (Bias & Skalenfaktor), C-SWAP (Cost, Size, Weight & Power) Anforderungen, Genauigkeitsklassen (Consumer, Automotive, Tactical, Navigation Grade), Technologietreiber & Trends, Performance.
11.15 – 12.00 B. Eissfeller	<b>Technologie: Beschleunigungsmesser</b> Grundprinzip der Beschleunigungsmessung, Übersicht über Technologien, Pendel, PIGA, Vibrating Beam/String (VBA/VSA), SOA, SIA, Fehlermodelle, Performance und Trends. Faseroptische Ansätze: Faser Bragg Gitter Technik (FBG = Fibre Bragg Grid).
13.00 -14.30 B. Eissfeller	<b>Technologie: Kreisel</b> Kreiselgleichungen (Euler), Mechanische Kreisel (SDF, TDF, ESG, DTG), Optische Kreisel (FOG, RLG), Cold Atom Interferometer (CAI), MEMS (Vibrating Beam, Vibrating Plate, Vibrating Ring & Shell), Technologie und Performance, zukünftige Trends.
15.00 – 16.30 S. Schön	<b>Quantenmechanische &amp; atomasierte Sensoren</b> Grundbegriffe aus der Quantenphysik (Zustand von Atomen und deren Manipulation mit Lasern, Materiewellen-Interferometer, Raman-Pulsfolge), Zusammenhang der Interferometerphase mit Beschleunigung und Drehrate, Bauprinzipien von Beschleunigungsmessern und Kreiseln auf Basis von kalten Atomen (Stand der Entwicklungen, Funktionsblöcke und technische Herausforderungen), erzielbare Performance, Umsetzungen für Beschleunigungsmesser und Gravimeter, Übersicht zu Entwicklungstrends und internationalen Akteuren.

**Mittwoch, 6.10.2021**  
**08.30 – 16.30 Uhr**

08.30 – 10.00 B. Eissfeller	<b>MEMS Sensoren</b> Coriolis Effekt, Elektro-Mechanisches Masse-Feder System, Systemmodelle MEMS Vibrationskreisel (CVG) & Systemmodell MEMS B-Messer, Implementierungen: Symmetrische und Anti-Symmetrische Oszillatoren, Klassen von Schwingungsmoden (Mode-Matched & Mode-Split Bedingung), Mechanisierung als Rate & Rate - Integrating Gyro, Limitierungen von MEMS Sensoren: Bias, Skalenfaktor; Temperaturabhängigkeit des Q - Faktors, Vibrationseffekte, Performance Trend: Heizen, Vakuum, Selbst-Kalibration, Materialien & Strukturen; Rauschen: Allan Varianz.
10.30 – 12.00 J. Wendel	<b>Strapdown Algorithmus</b> Aufbau 3-D Strapdown System. Terminology nach IEEE. Grundlegender Datenfluss. Algorithmus: Koordinatensysteme, Drehmatrizen, Bewegungsgleichungen, Schwerfeld, Lösungen für Lageparameter (Quaternionen), Lösungen für Position- und Geschwindigkeit. Rechengeschwindigkeiten: Coning & Sculling. Anfangsausrichtung (Initial Alignment). Stabilisierung des Höhenkanals. Fehlerfortpflanzung.
13.00 – 14.30 M. Bochkati	<b>Labor demonstration &amp; Testgeräte</b> Laborbedingung, Dreiachsiger Drehtisch, Unterschied Kalibrierung von Consumer-Grade MEMS und High-End Navigation-Grade IMU, Interpretation der Kalibrierparameter und Vergleich mit den Herstellerangaben. Einsetzbarkeit in der Sensorintegration
15.00 – 16.30 B. Eissfeller	<b>Sensor Integration</b> A-PNT (Assured Positioning, Navigation & Timing). Motivation der Sensor Integration. Grundkonzept und anwendungsabhängige Sensorauswahl. Werkzeuge der Sensorintegration: Kalman Filter, Stützung von Sensoren durch Rückkopplung. Trends.

## Vortragende

Bernd Eissfeller	Prof. i.R. Dr.-Ing. habil.	Universität der Bw München, Neubiberg
Steffen Schön	Prof. Dr.-Ing.	Leibniz Universität, Hannover
Jan Wendel	Dr.-Ing. habil.	Airbus Defense and Space, Ottobrunn
Mohamed Bochkati	Dipl.-Ing.	Universität Bw München, Neubiberg

## Weitere Seminare zum Themenbereich

- „Galileo - Stand und Weiterentwicklung“, 22.–23.6.2021 (Code SE 3.06)
- „Grundlagen der Satellitennavigation und GPS-Modernisierung“, 26.–29.10.2021 (Code SE 3.23)
- „Robustheit und Störbarkeit von Satellitennavigation“, 16.–18.11.2021 (Code SE 3.25)