



Mikrowellenfernerkundung



Wolfgang Keydel

**DLR Oberpfaffenhofen, Institut für Hochfrequenztechnik & Radarsysteme
D-82230 Wessling, Germany**

Korrespondenz Adresse:

**Mittelfeld 4., D-82229 Hechendorf, Germany
Tel.: +49-8152-980 523, Fax: +49-8152-980 525
e-mail: wolfgang@keydel.com**



Vorlesung WS-2009/10, LMU, Departement für Geographie & Fernerkundung

Sektion Geographie

Institut für Hochfrequenztechnik und Radar, W. Keydel, Vorlesung LMU, WS 2009/10



Mikrowellenfernerkundung

1. Einführung

Inhalte, Lernziele & Literatur

**Vorlesung am Department für Geo- und Umweltwissenschaften
Sektion Geographie**

der Ludwig-Maximilians-Universität München

Wintersemester 2009/10

Wolfgang Keydel

**DLR Oberpfaffenhofen, Institut für Hochfrequenztechnik & Radarsysteme
D-82230 Wessling, Germany**

Korrespondenz Adresse:

Mittelfeld 4., D-82229 Hechendorf, Germany

Tel.:+49-8152-980 523, Fax:+49-8152-980 525

e-mail: wolfgang@keydel.com

Inhalt der Vorlesung

- **Eigenschaften Elektromagnetischer Wellen** (Amplitude, Phase, Frequenz, Polarisation, Kohärenz, Eindringtiefe etc. & Messmöglichkeiten) zur Anwendung in der Fernerkundung
- **Terminologie der Fernerkundungstechnik** (Auflösung, Spektrum, Bandbreite, dezi-Bel, Slant-, Ground-Range etc.)
- **Radar- & Mikrowellenradiometrie- Verfahren & -Systeme, GPS-Reflektometrie, Funktionsweise & Messgenauigkeiten**
- **Besonderheiten in Radarbildern** (Mehrdeutigkeiten, Verzerrungen, Speckle, Bewegungsfehler, Perspektive, Plastizität, Pixelstruktur etc.)
- **Eigenschaften aktueller Fernerkundungssysteme**, (ERS-Familie, SRTM, ENVISAT/ASAR, TerraSAR, Tandem-X, S-MOS, E-SAR),
- **Anwendungsmöglichkeiten** von Radar- und Radiometriesystemen auf Flugzeugen & Satelliten (Objektklassifizierung, Digitale Geländemodelle, Wasser-Strömungen, tektonische Veränderungen etc.).

Lernziele

Vermittlung grundlegender Kenntnisse, Verbesserung der Qualifikation der Hörer

- **Neueste Literatur zur der Mikrowellen-Fernerkundung verstehen**
- **Mit Verständnis den Präsentationen auf einschlägigen internationalen Konferenzen folgen & diese beurteilen**
- **Ein Praktikum in entsprechenden Organisationen und Firmen zum Nutzen sowohl des Praktikanten als auch der Organisation absolvieren**
- **Basis für eine optimale & geringe Einarbeitungszeit bei Eintritt ins Berufsleben**
- **Grundlagen für eigene wissenschaftliche Arbeiten schaffen**



Voraussetzung: Prof. Wolfram Mausers Internetvorlesung



Geographie & Fernerkundung Internetvorlesung



Department für Geographie
Lehrstuhl für Geographie und
Geographische Fernerkundung

> Information zu den Vorlesungen



Einführung in das
Studium der
Geographie



Einführung in die
Fernerkundung



Einführung in die
Klimatologie



Einführung in die
Hydrologie



Abbildende
Spektroskopie



Physik
für Fernerkundler



Arbeitsmethoden
der Fernerkundung



Hydrologische
Modelle



Integratives
Umweltmanagement

9 Online-Vorlesungen stehen Ihnen zur Unterstützung zum Studium der Geographie und der Fernerkundung zur Verfügung.

Plugin einrichten

Zum Betrachten der Seiten ist die Installation von zusätzlichen Browser-Plugins notwendig.
Bitte beachten Sie die [Hinweise](#).

Stand: 29.06.2009
Umsetzung: [Ch. Michelbach](#)

Copyright © 1998-2009 Department für Geographie an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Alle Rechte vorbehalten.

<http://www.geographie.uni-muenchen.de/internetvorlesung/index.php>

Literatur zur Vorlesung WSS 2009/10

- [http:// keydel.com](http://keydel.com)
- **Helmut Klausing & G.Holpp (Herausgeber):**
Radar mit realer & synthetischer Apertur, Oldenburg 1999
- **Floyd M. Henderson, Antony J. Lewis, (Edit.):**
Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing,
3rd. Ed. Vol.2 John Wiley & Sons, Inc. 1998

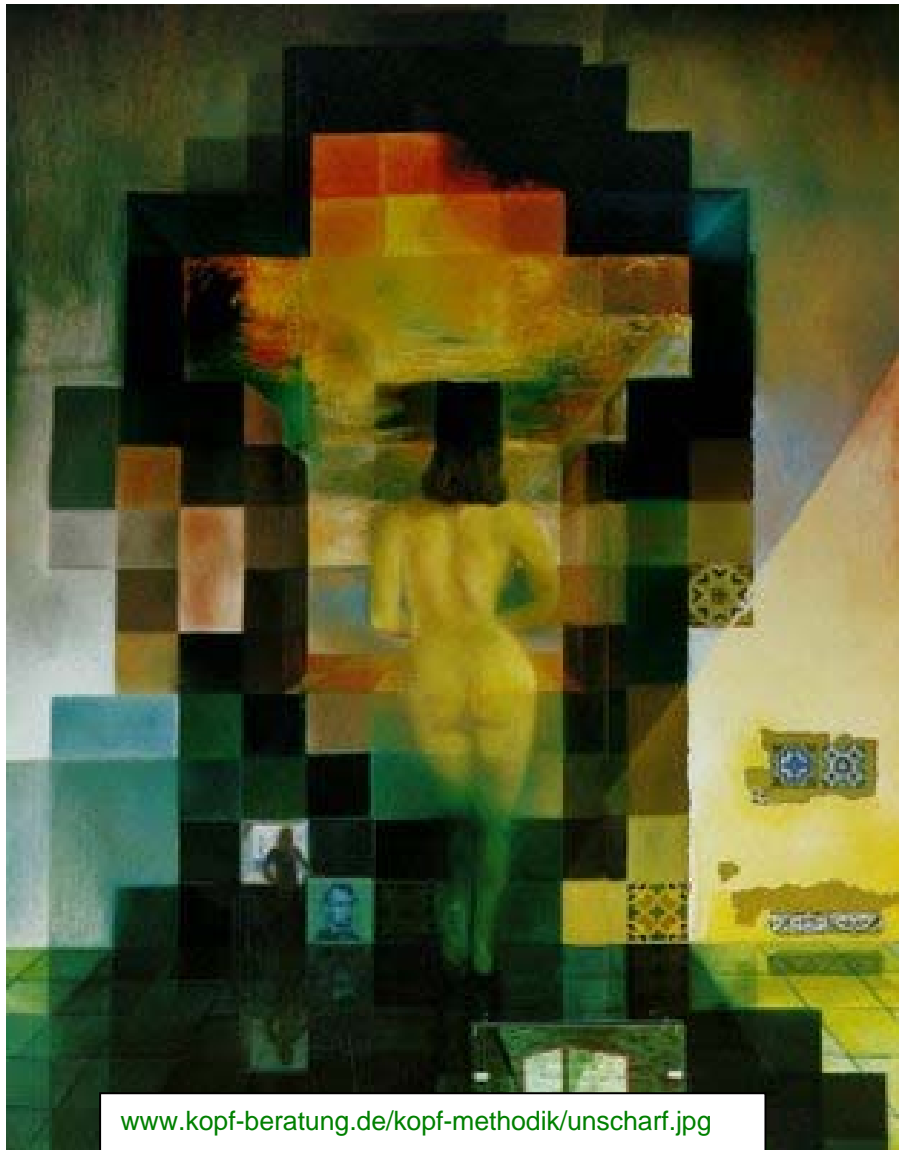
Ein großer Teil der verwendeten Abbildungen und Beispiele resultiert aus E-SAR - Messungen, den X-SAR- Shuttle-Missionen des DLR sowie aus neuen TerraSAR-X Ergebnissen aus den Instituten des DLR in Oberpfaffenhofen:

**Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (IHR),
Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF)
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD).**

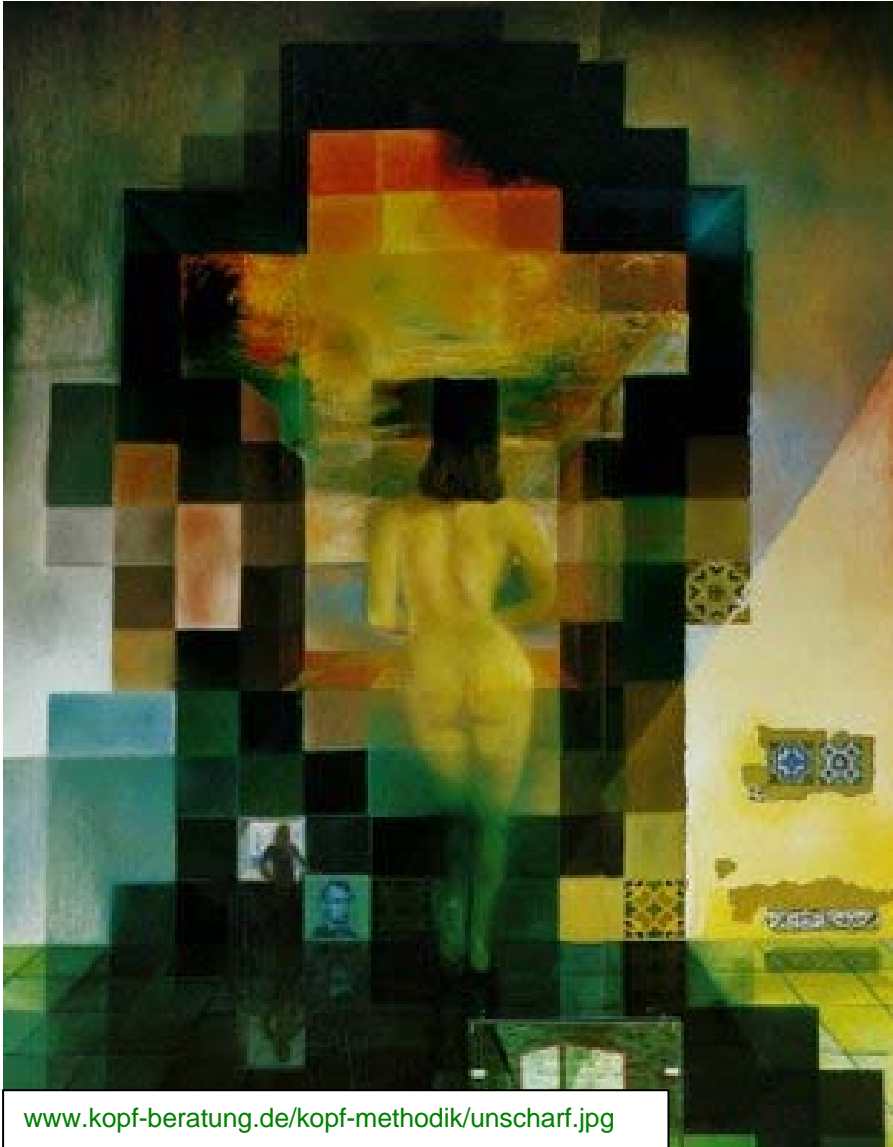
Ich danke allen für die Überlassung dieses wertvollen Materials.

Mehr dazu in <http://www.dlr.de> bzw. <http://www.dlr.de/hr>

Satellitenbeobachtung verschafft Übersicht & Einblick in Hintergründe

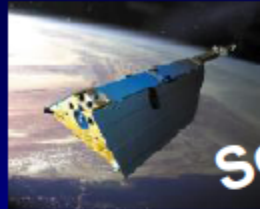


Satellitenbeobachtung verschafft Übersicht & Einblick in Hintergründe





Die Weltraum-Komponente: Satelliten

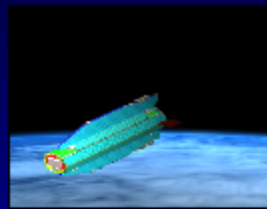


CHAMP

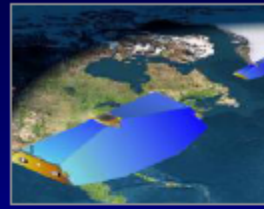


Schwerefeld

GRACE

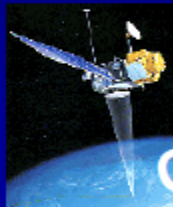


GOCE



GRACE Follow-on ?

...

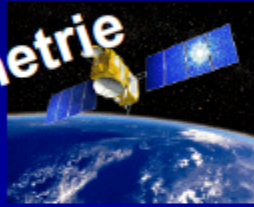


Topex/Pos.



Ozean-
Altimetrie

JASON-1



JASON-2

...

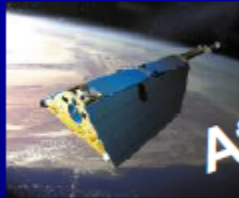


TerraSAR-X



TanDEM-X

...



CHAMP



Atmosphäre

COSMIC



MetOp

...



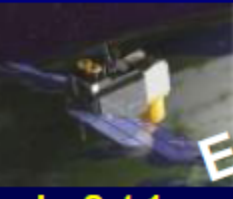
CHAMP



Magnetfeld

SWARM

...



IceSat-1



Eis-
Altimetrie

Cryosat-2



IceSat-2

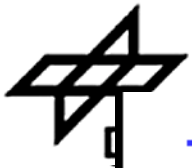
...

... und neue Missionskonzepte

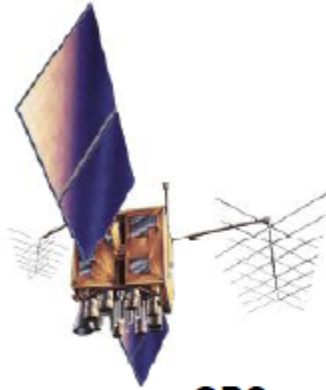
15. Fachtagung des BDVI und LGB, Neuruppin, 6. September 2008



- CHAMP:** CHALLENGING Minisatellite Payload, Schwere- & Magnetfeld, D
- COSMIC:** *Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate*, 6 Kleinsatelliten, Temperaturprofile & Feuchte Atmosphäre, USA/TAIWAN
- CRYOSAT:** Kryosphäre Eis In Polarregionen, ESA
- DORIS:** Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite, Weltnetz der Altimetrie & für Envisat
- GOCE:** Gravity field and steady-state ocean circulation explorer, Schwerefeld & Meeresströmungen, ESA
- GRACE:** Gravity Recovery And Climate Experiment, Erdschwerefeld, DLR/NASA-JPL
- IceSAT:** Ice, Cloud and Land Elevation Satellite, Eisanspannerdicken, Höhenprofilen von Wolken, Aerosolen & Vegetation, NASA
- JASON:** Meeresströmungen & -wellen, NASA-CNES
- METOP POSEIDON:** Wettersatellit, ESA
- SLR:** Satellite Laser Ranging,
- SWARM:** geplant 3 Satelliten, ESA



Die geodätischen Weltraumverfahren



GPS



GLONASS



GALILEO



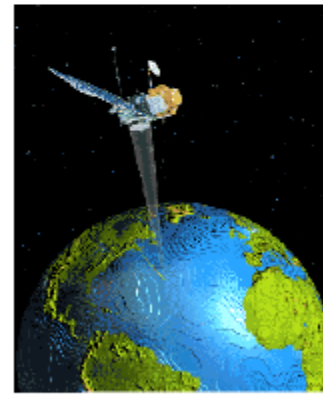
DORIS



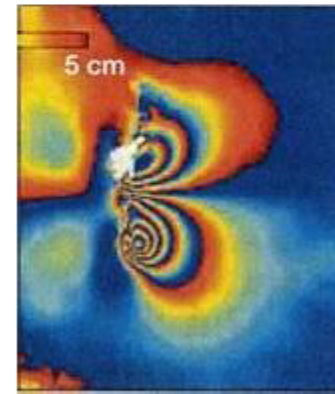
VLBI



SLR/LLR



Altimetry



InSAR

Plattformen und Instrumente



ERS-1/2; ENVISAT
C-Band SAR &
- Scatterometer
X-Band Altimeter,
MW-Radiometer



TerraSAR
X-Band SAR
AT-
Interferometer



SIR-C: L-, C-, X-Band-SAR
SRTM: C-, X-Band
SAR - Interferometer



E-SAR
P-; L-; S-; C-; X-Band
MW-Radiometer

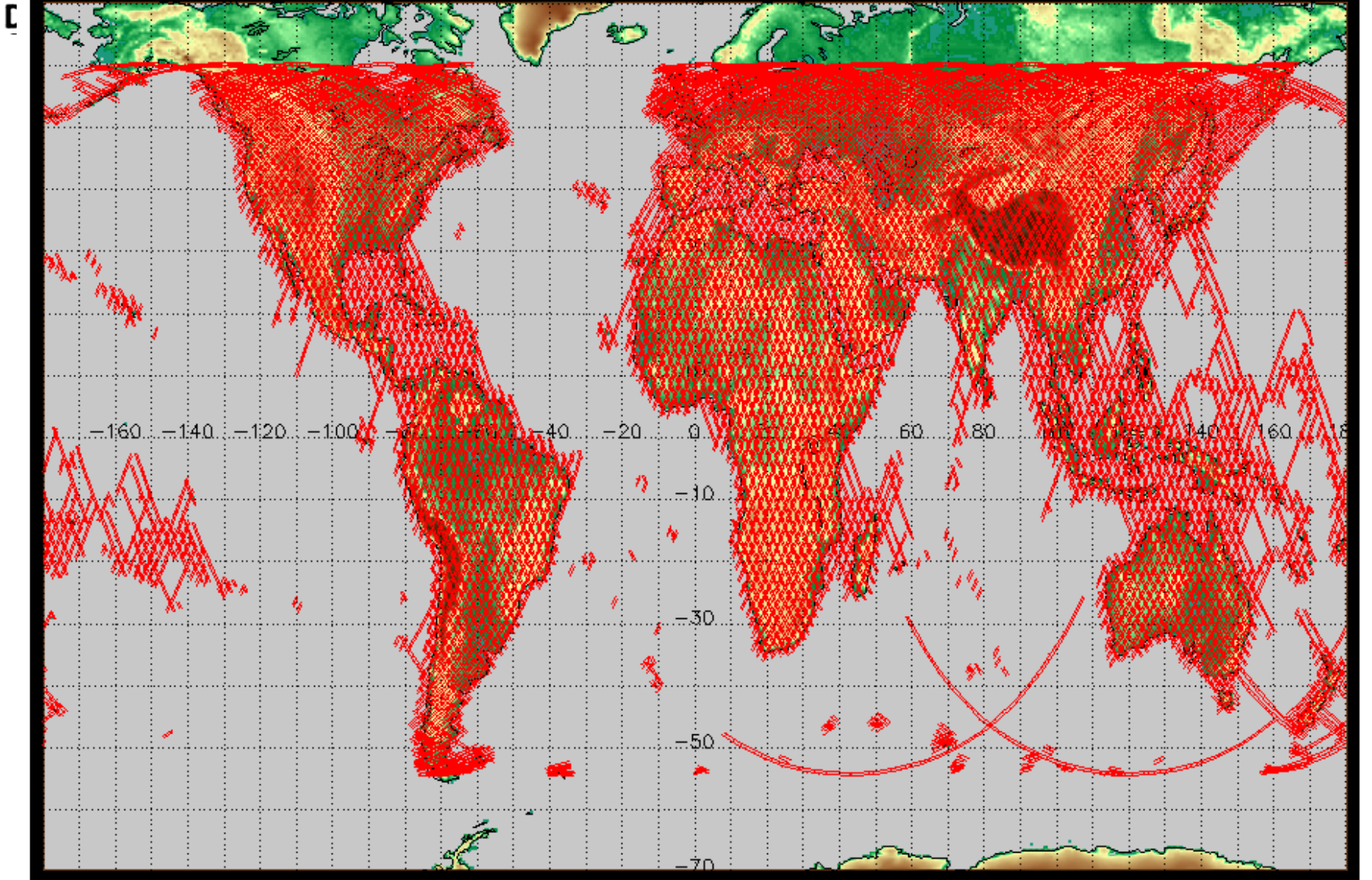


SMOS
MW-Radiometer



Satelliten-Orbiteigenschaften

Satelliten Merkmale	Formel	H=233 km	H=800 km	H=1500 km
Bahn-Geschwindigkeit	$V_s = \sqrt{\frac{gR^2}{R+H}}$	7,76 km/sec	7,45 km/sec	7,45 km/sec
Geschwindigkeit über Grund ohne Erdrotation	$V_g = \frac{R}{R+H} V_s$	7,49 km/sec	6,62 km/sec	5,76 km/sec
Umlaufzeit	$T = 2\pi(R+H) \sqrt{\frac{R+H}{gR^2}}$	1,49 h	1,41 h	1,56 h
Orbits/Tag	$N = \frac{24}{T}$	16,2	14,3	12,4
Schwadabstand am Äquator	$D = 2\pi \frac{R}{N}$	2476 km	2807 km	3 227 km

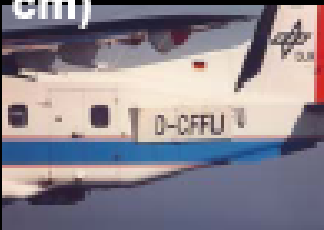




P-Band (λ 68 cm)



L-Band (λ 23 cm)



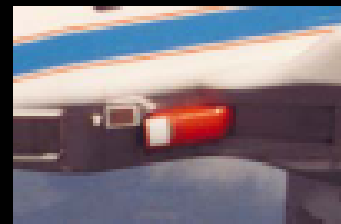
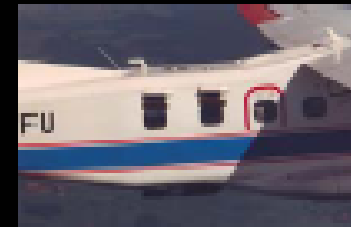
Experimental Synthetic Aperture Radar System



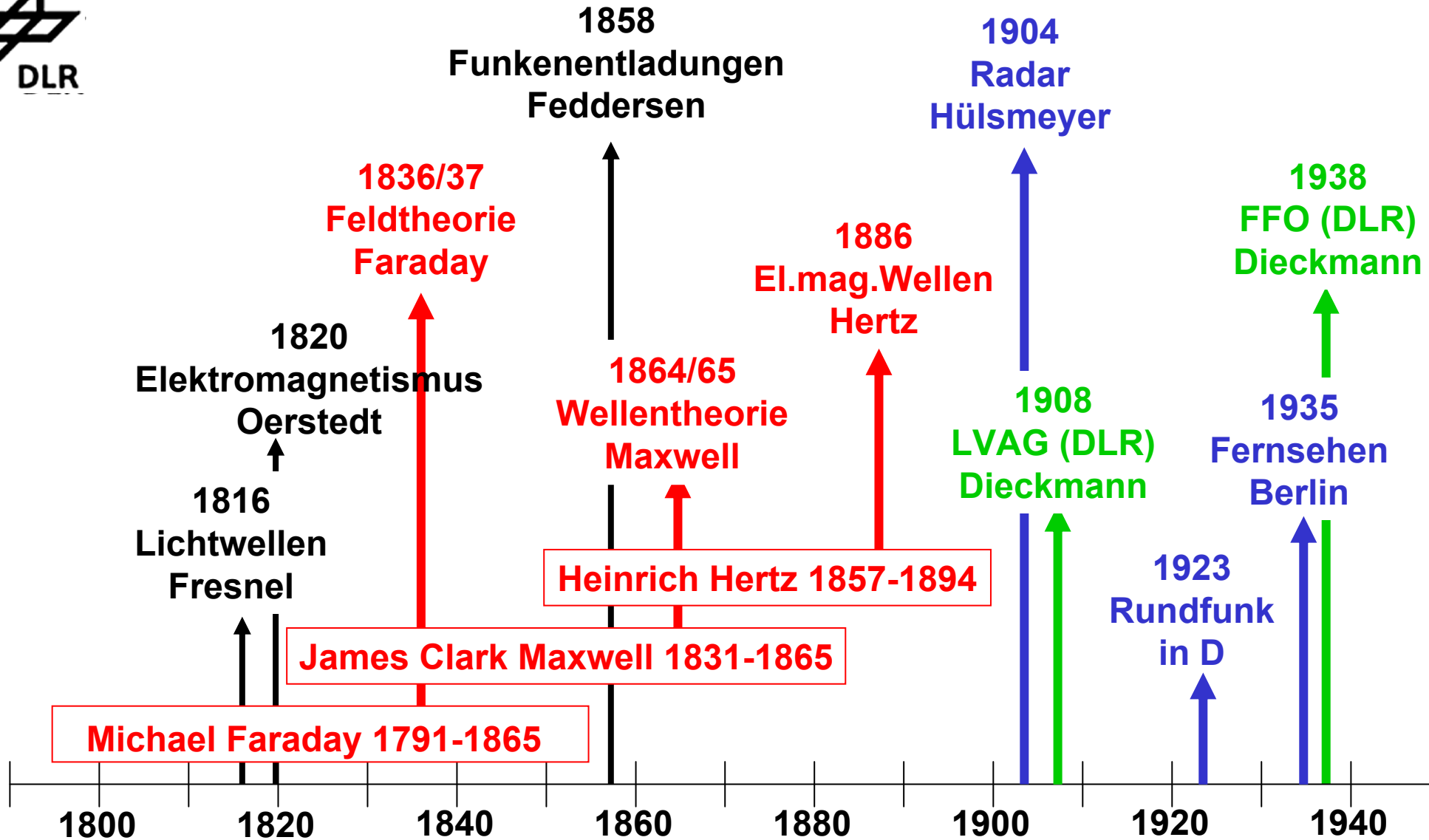
E-SAR

System Engineer Ralf Horn

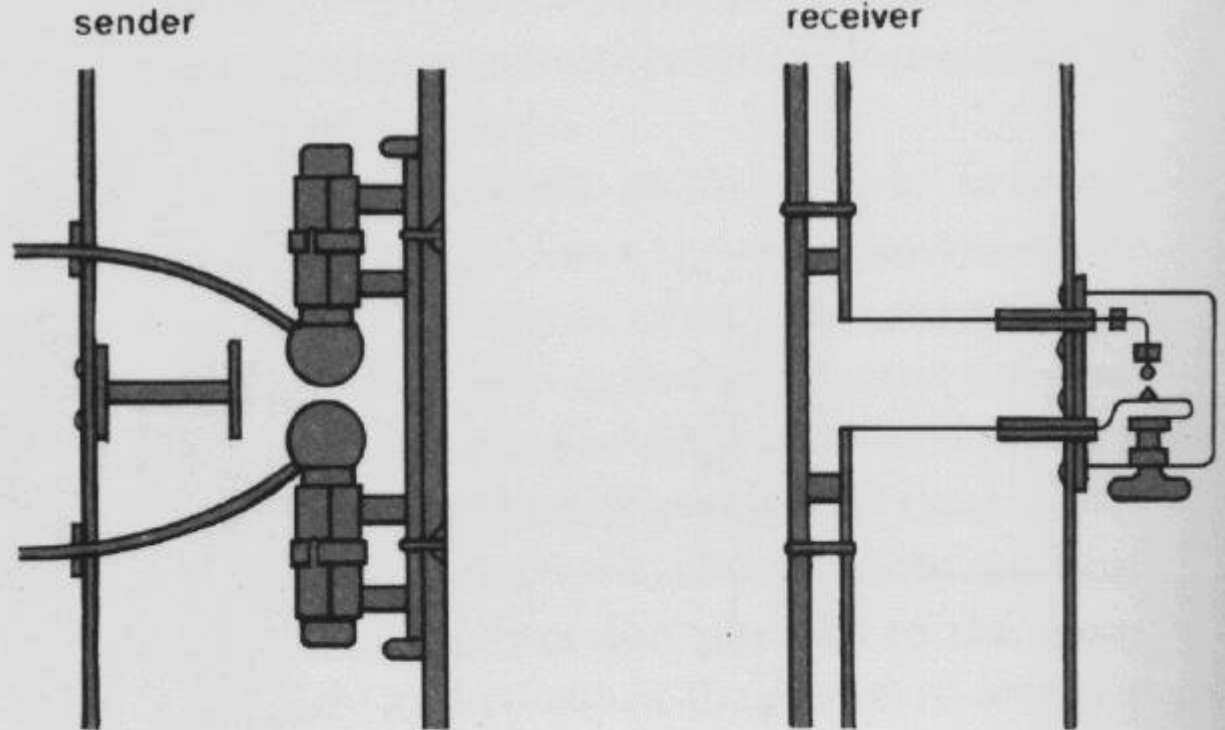
X-Band (λ 3 cm)



C-Band (λ 5 cm)



Heinrich Hertz



Once it was shown that the quantity that oscillates in a light wave is the electric field or the magnetic field, Heinrich Hertz artificially produced waves of different wave-length from those of visible light. Above are his oscillator, or sender, and his resonator, or receiver.



DLR

Christian Hülsmeier

1881 - 1957

1903

Experimente zur Ortung von Schiffen mittels Radarwellen

30.04.1904 Patent

Meldung von Schiffen bis 3000 m Entfernung





Max Dieckmann,

Assistent an der TU- münchen,

Gräfelfing bei München, Bergstraße 42
heute Prof.-Kurt-Huberstr-Straße

Gründung

14. Oktober 1908

**Drahtlostelegraphische und Luftelektrische Versuchsstation
Gräfelfing (DVG)**

Radio Telegraphic and Air Electricity Test Station

Drahtlostelegraphische und Lufterlektrische Versuchsstation Gräfelfing, DVG

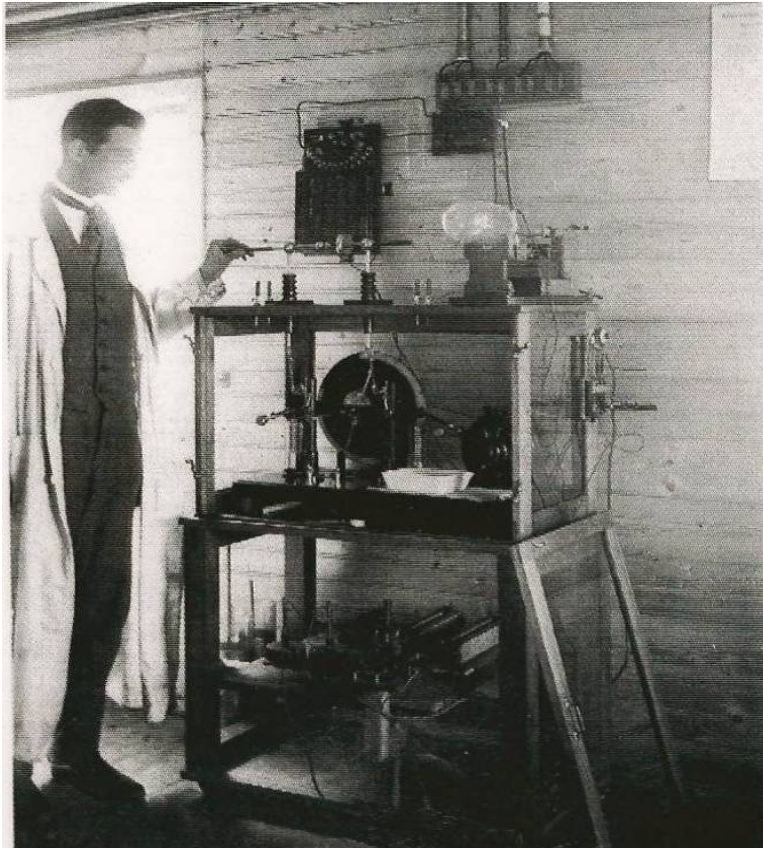
Thema

Anwendung Electromagnetischer Wellen für

- Kommunikation
- Navigation
- Ortung von Objekten

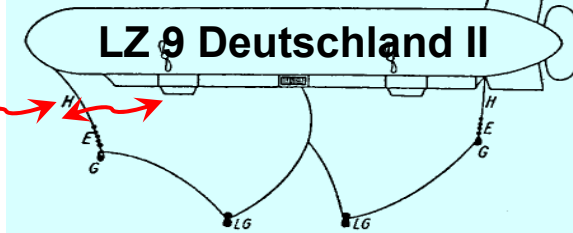
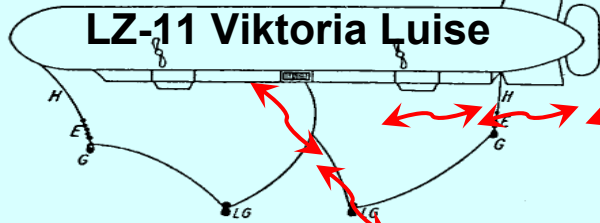
Ziele

- Entwicklung drahtloser Übertragungstechniken
- Erforschung natürlicher, electrostatischer Phänomene in der Atmosphäre
- Nutzung dieses Laboratoriums zur Ausbildung, Praktikumstation für Studenten.





1911/12 Air Borne Wireless Radio stations Telegram Exchange



Antennas

**Birth of
Airborne
Radio Communication**

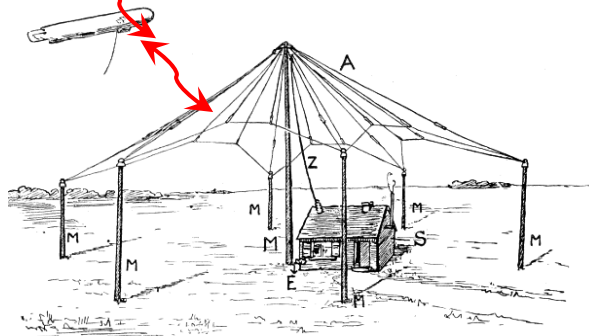


Abb. 1. Äusseres einer drahtlostelegraphischen Station.

Conditio sine qua non:

**A shielded Cabinet for the
Spark Gap Transmitter & an
adequately from the gondola
isolated antenna**

Laboratory in Gräfelfing with Frame Direction Finder for Navigation & Radio Location of Air Ships

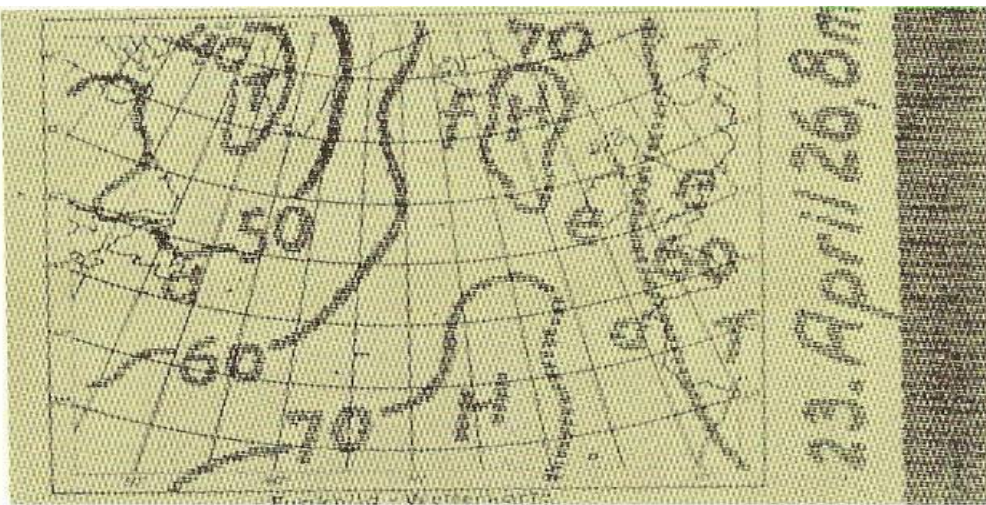
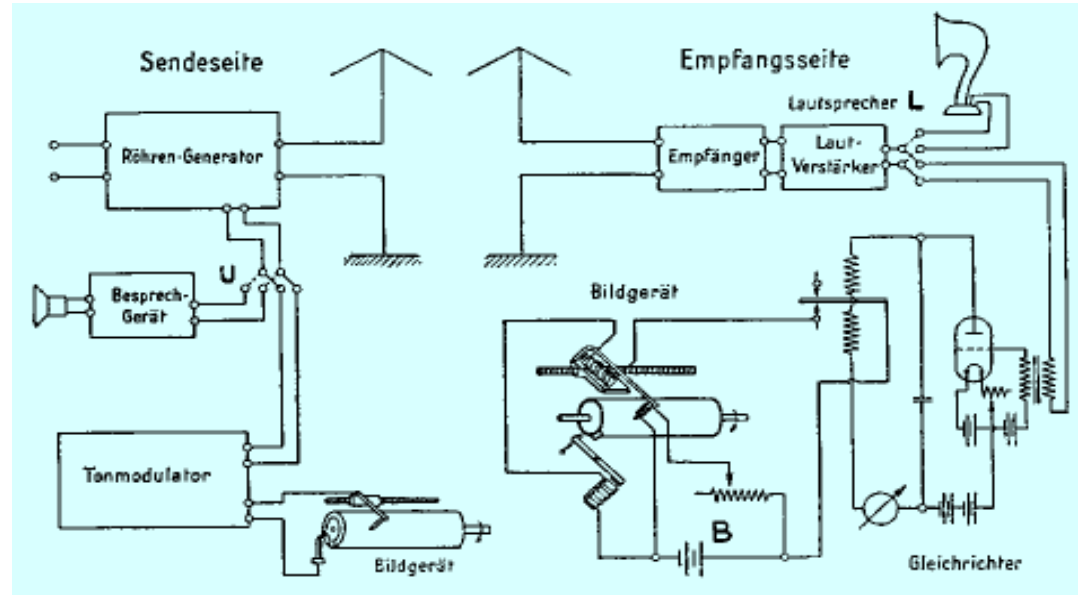




Since 1925

**Operationelle Sprach & Bild-
Übertragung zwischen
Radio Norddeich & Schiffen**

**Übertragung von Wetterkarten
1926**



1927 Color Image Radio Transmission



Experimente zur Fernsteuerung von Schiffen



Zeitungsmeldung in der “Gelsenkirchener Allgemeine Zeitung” 24 September 1928.

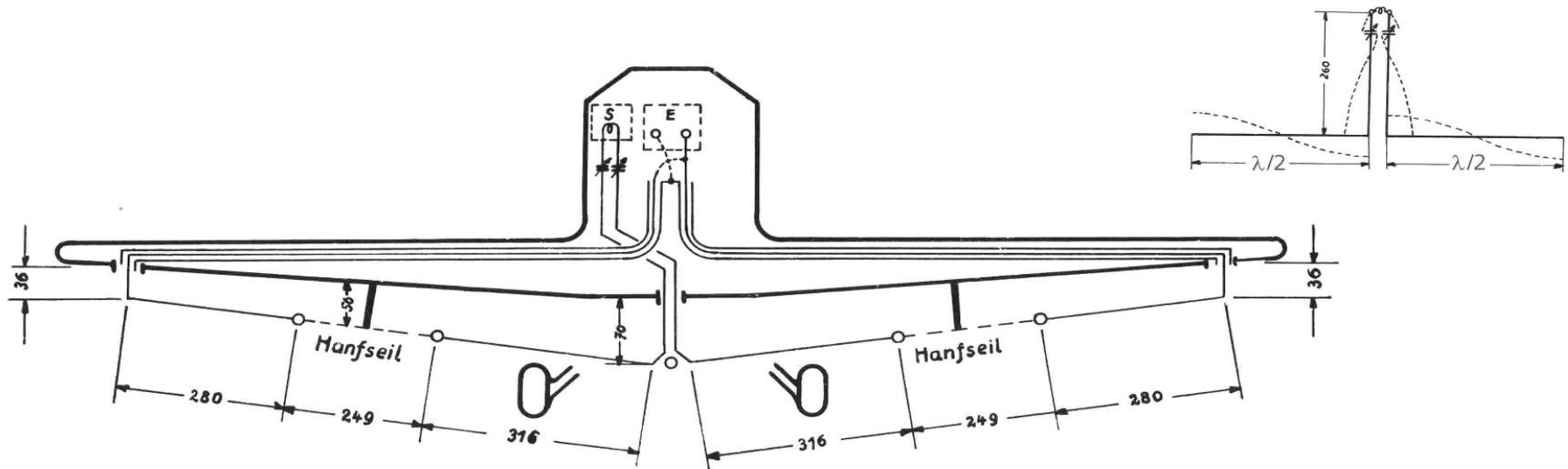
1930 Beginn mit Mikrowellen-Reflexionsexperimenten

Funkmessverfahren = Radar

1935 Radar Altimeter

Ionosphären Echo Methode von Breit and Tuve (US)
Sendung von Kurzwellenimpulsen in Zenith-Richtung

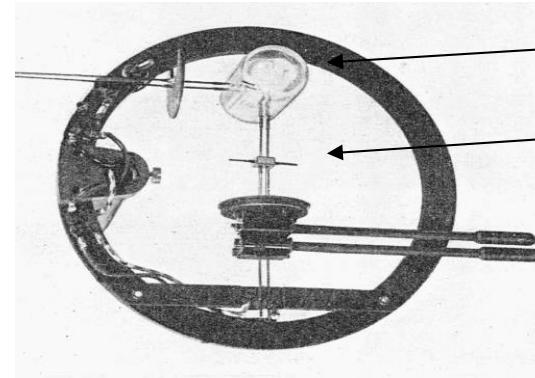
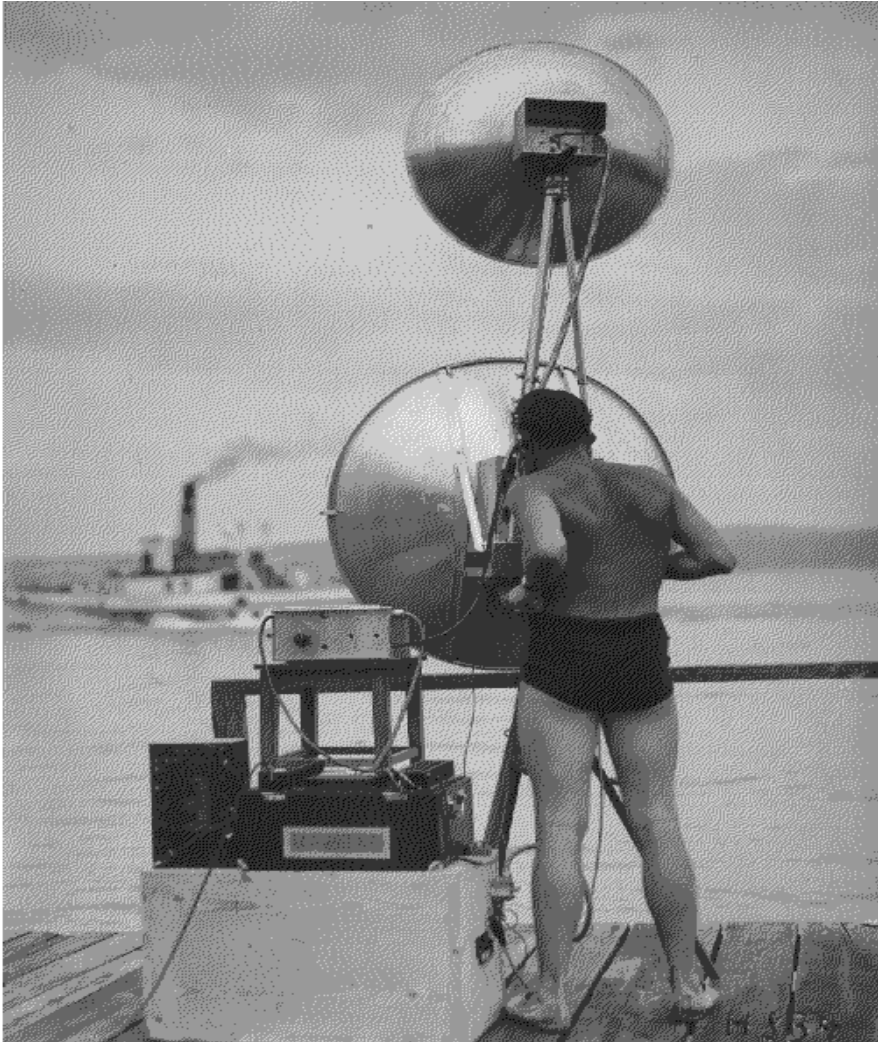
$\lambda = 7\text{m}$, Drahtantennen einer Junkers W34





1938, Radar Experimente, Ammersee, MTI

Empfangsdetektor



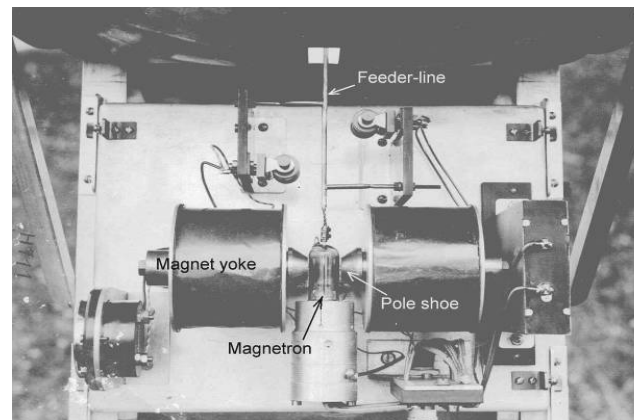
Triode

Empfangs-Dipol

Anpassung



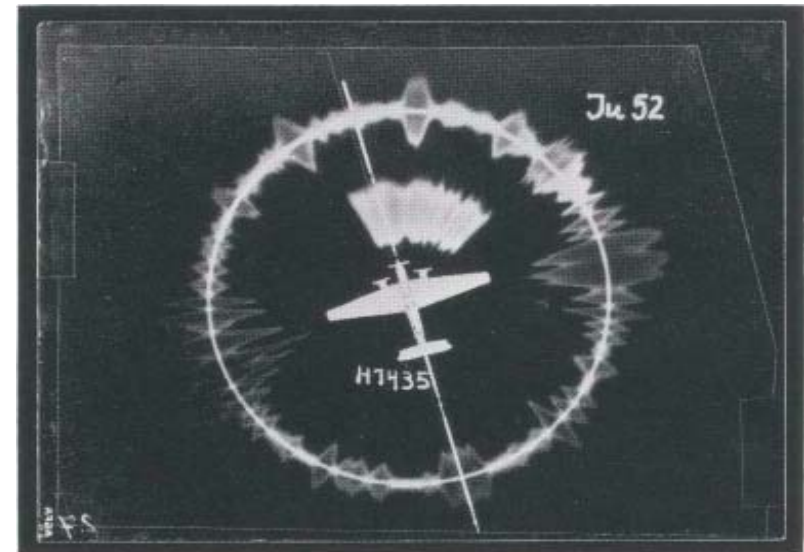
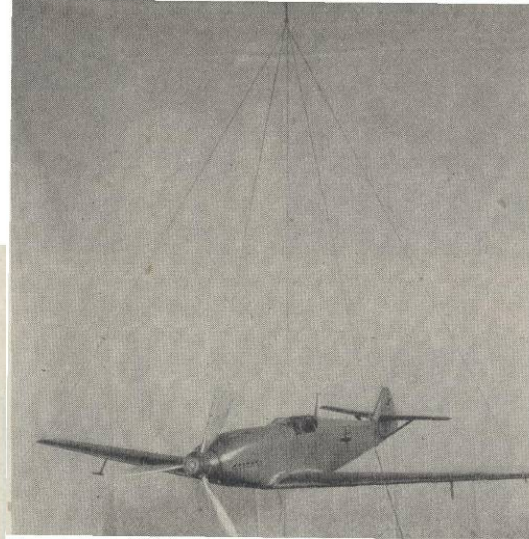
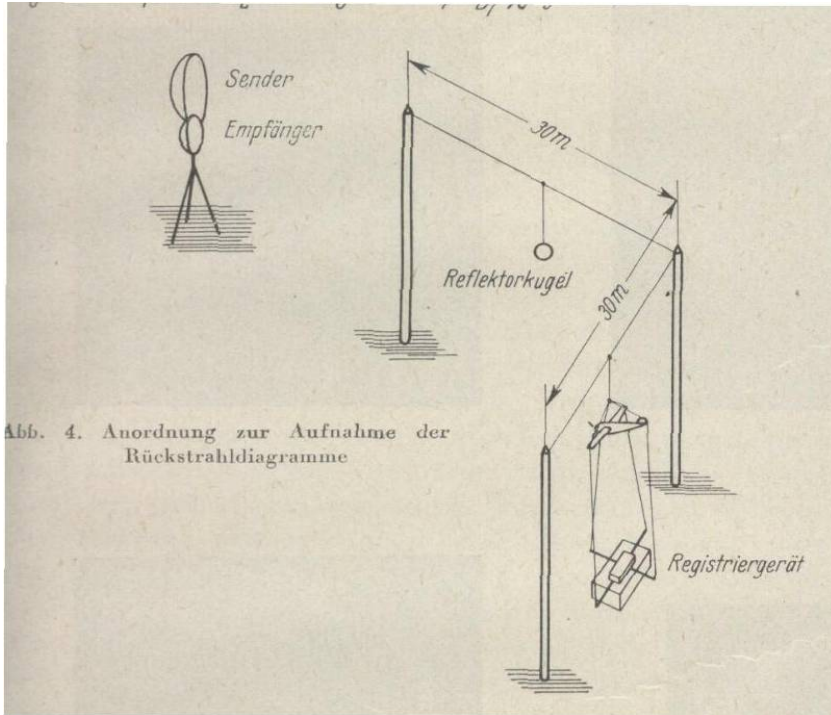
cm Wellen
Magnetron



Sender

1940/41, kalibrierte Radar- Signatur - Messungen, $\lambda = 5 \text{ cm}$

DLR



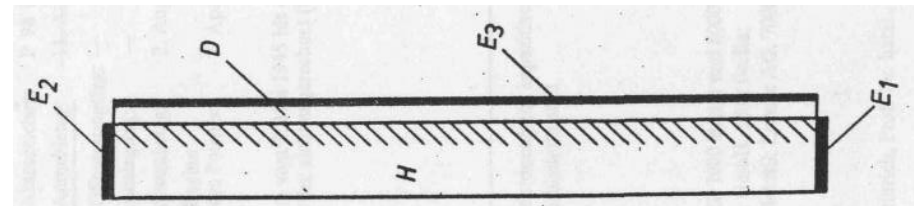
Flüge über Land und See ergaben, daß es möglich ist, aus dem Charakter des Echos den Übergang von dem einen zum anderen Untergrund zu erkennen. Im allgemeinen steht das Echo über See sehr ruhig, während es über Land etwas flackert. Flüge über gebirgigen Gegenden ergaben, wie erwartet, Mehrfachechos.

C) Anwendungsmöglichkeiten

Der elektrische Echolot-Höhenmesser kann neben der Verwendung als Höhenmesser für Navigationszwecke herangezogen werden, da es, wie erwähnt, möglich ist, aus dem Charakter des Echos auf den Untergrund zu schließen, zum Beispiel beim Überfliegen einer Küste.

**6. April 1945 (!), Feld Effekt Transistor Patent für H. Welker
Beeinflussung & Steuerung Elektrischer Ströme in Halbleitern**

21g, 11/02. F 7622. Erf.: Dr. habil. Heinrich Welker, Erlangen. Anm.: Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen e. V., München. | Beeinflussung und Steuerung von elektrischen Strömen in Halbleitern. 6. 4. 45. (T. 11; Z. 1)

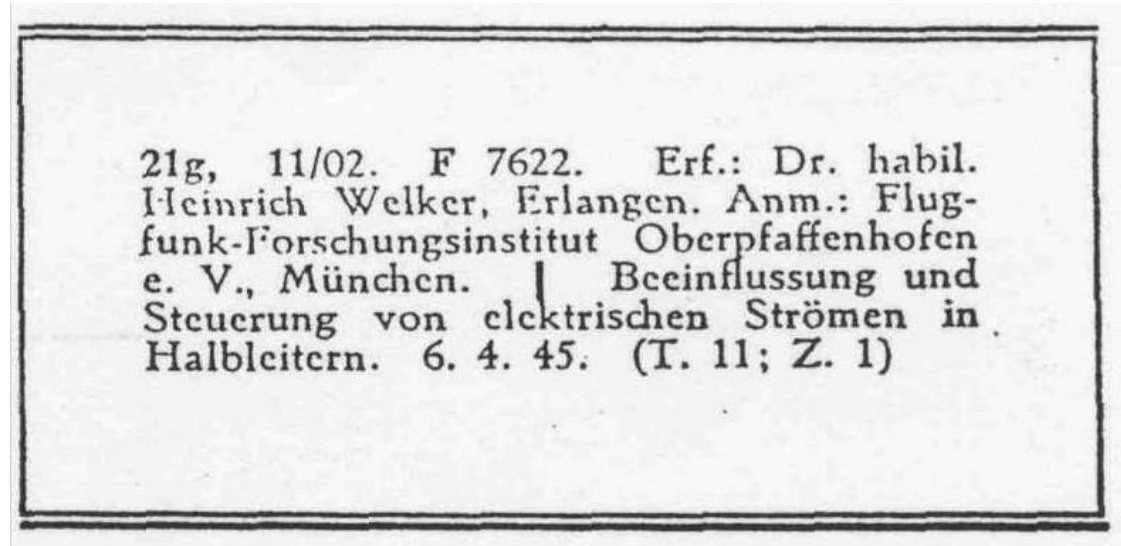
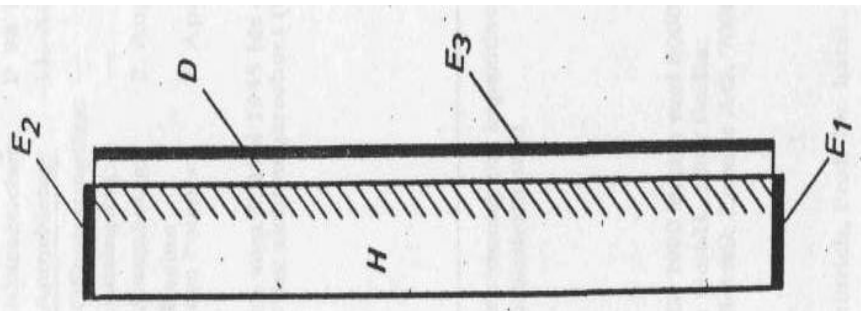


D = Isolator; E₁, E₂ = Elektroden; E₃ = Gitter, H = Chip, scattiert = Control Depletion Layer.



6. April 1945 (!), Feld Effekt Transistor Patent für H. Welker

Halbleiteranordnung: „dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem stromführenden Halbleiterkristall und der ebenfalls als Halbleiterkristall ausgebildeten Steuerelektrode eine elektronische Sperrschicht erzeugt ist“.



H = Halbleiterkristall, E1 & E2 = Elektroden, E3 = Steuerelektrode, D = Isolierschicht;
Schraffur = steuernde Sperrschicht

„Ist E_1 ein Kristall von entgegengesetztem Leitungstyp wie H, dann übernimmt die Sperrschicht auch die Aufgabe von D“

Wandfresken von Rebay, Relikte der Americanischen Besetzung



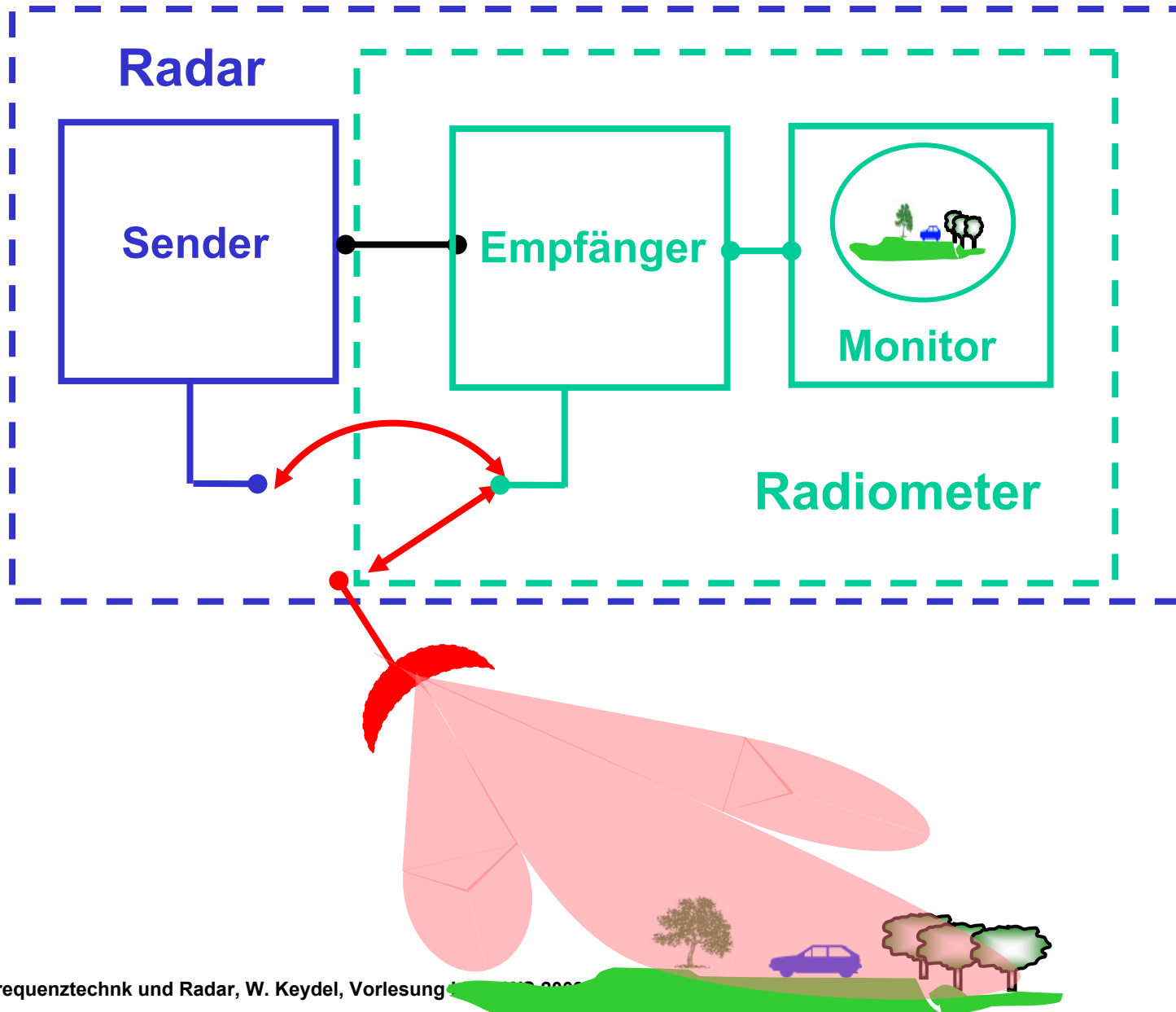
Übersicht Fernerkundungssensoren

aktiv

passiv

sichtbares Licht ~ 450nm - 780nm	Kunstlicht-Kamera	Kamera Spektrometer
nahes/fernes Infrarot ~ 780nm - 1mm	Laser-Radar	IR-Kamera IR-Radiometer IR-Spektrometer
Mikrowelle ~ 300MHz - 300GHz (1m - 1mm)	abbildendes Radar Scatterometer Altimeter	MW-Radiometer

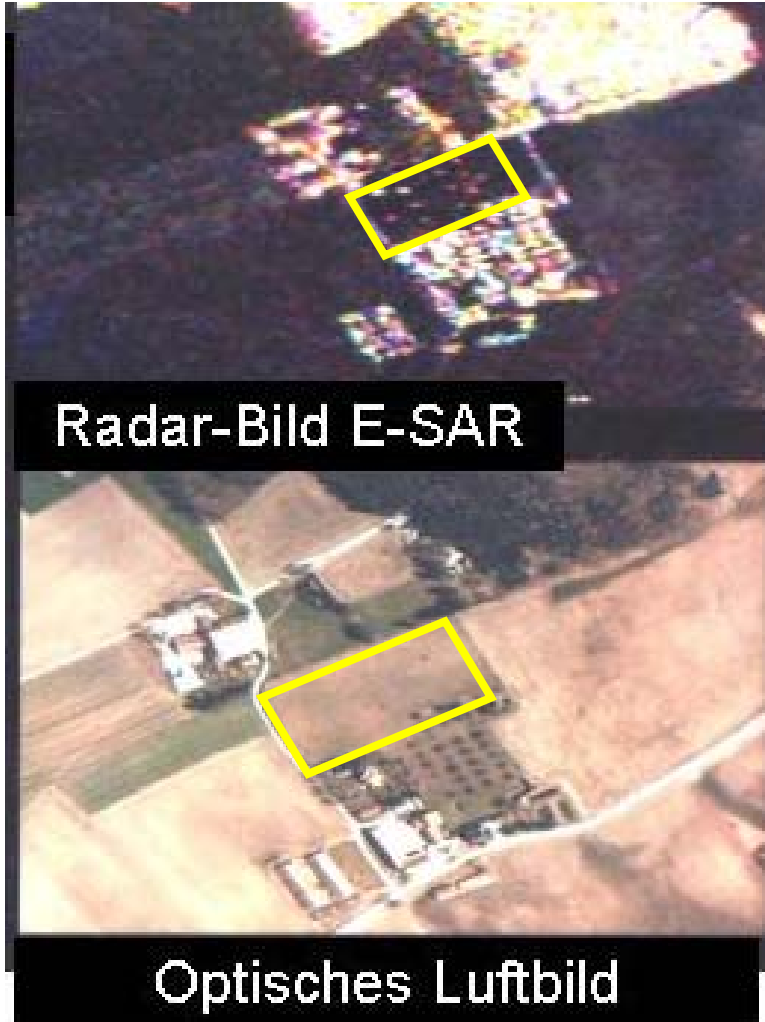
Radar & Mikrowellenradiometer



UAV's & HAV's gewinnen zunehmend an Bedeutung



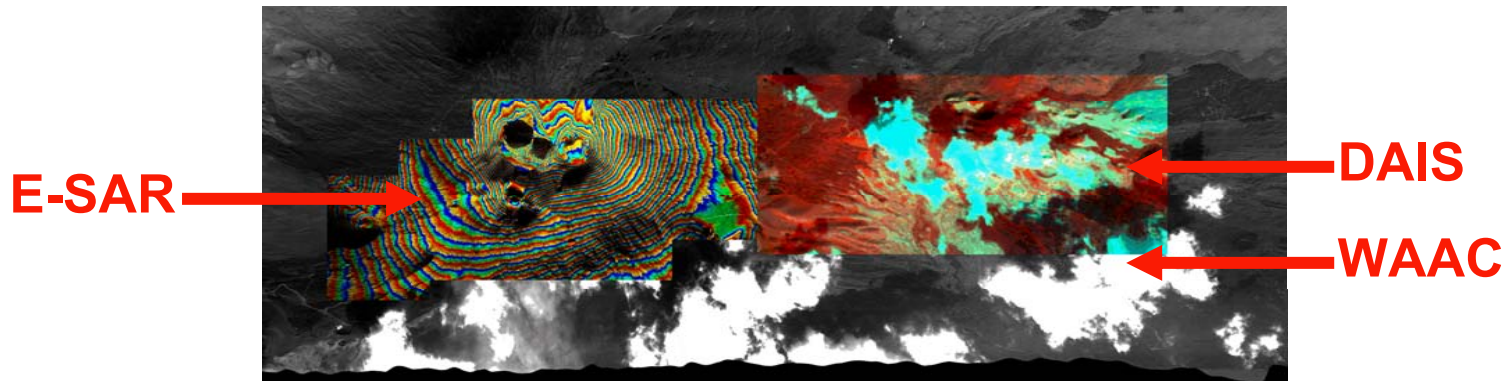
Mikrowellen sehen mehr !Manchmal!



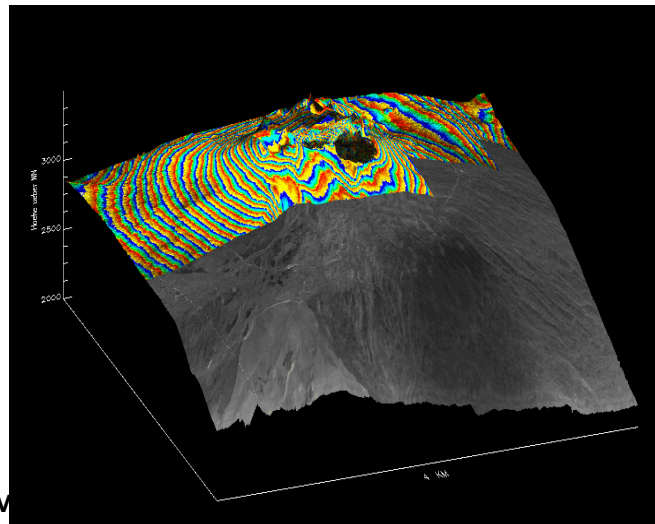
Multisensorik: E-SAR, DAIS, WAAC

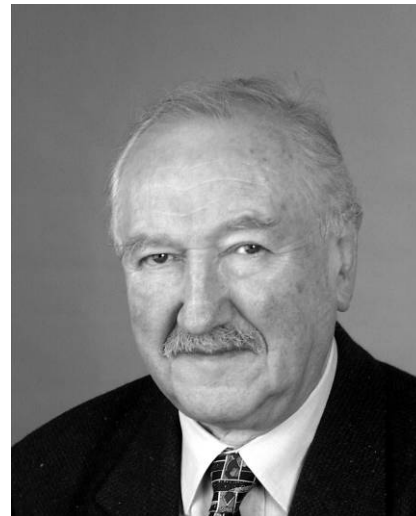
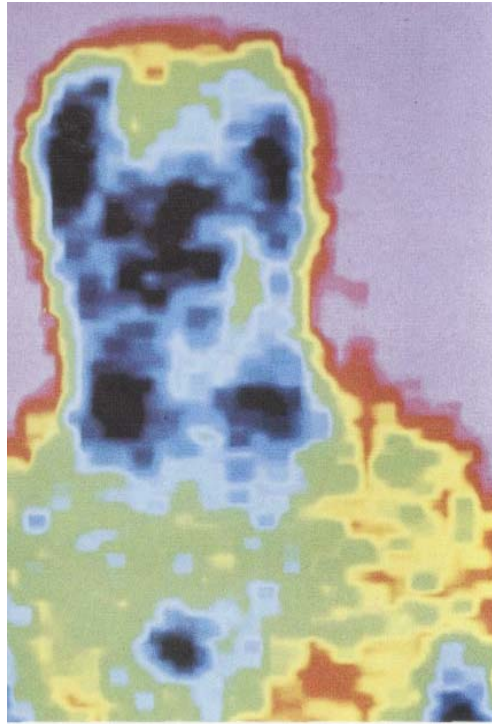
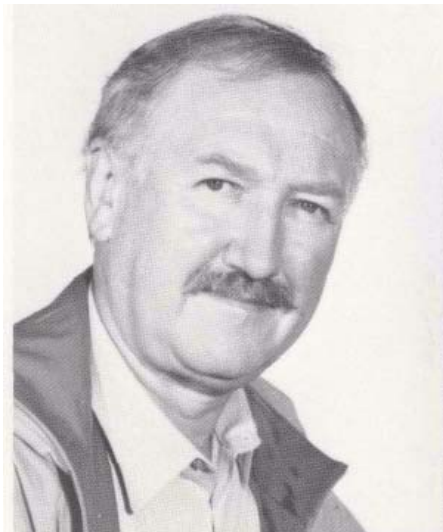
Digital Airborne Infrared Scanner, Wide Angle Airborne Camera

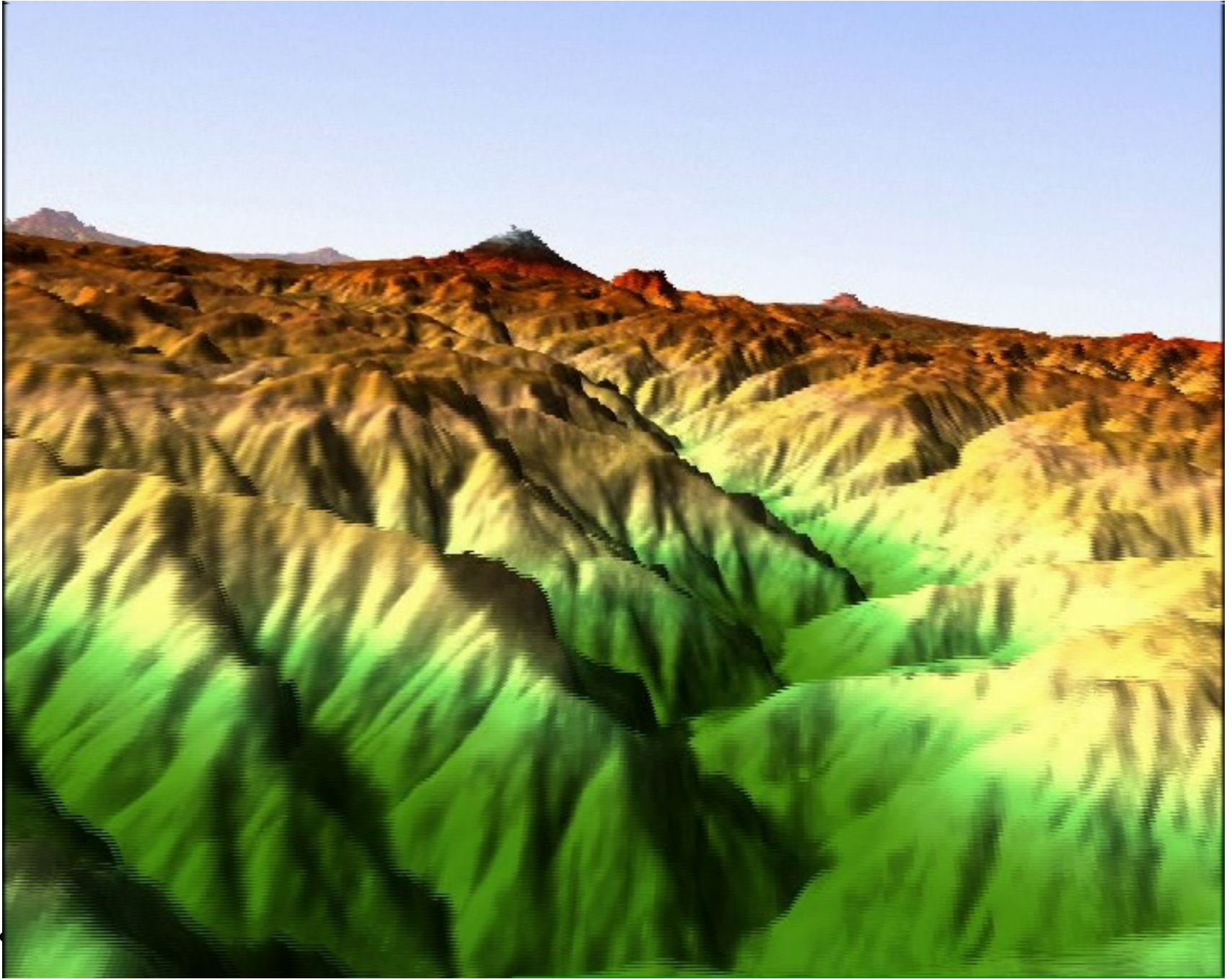
Simultane Befliegung an Ätna (oben) & Stromboli (unten)



E-SAR
WAAC,
DEM Validation



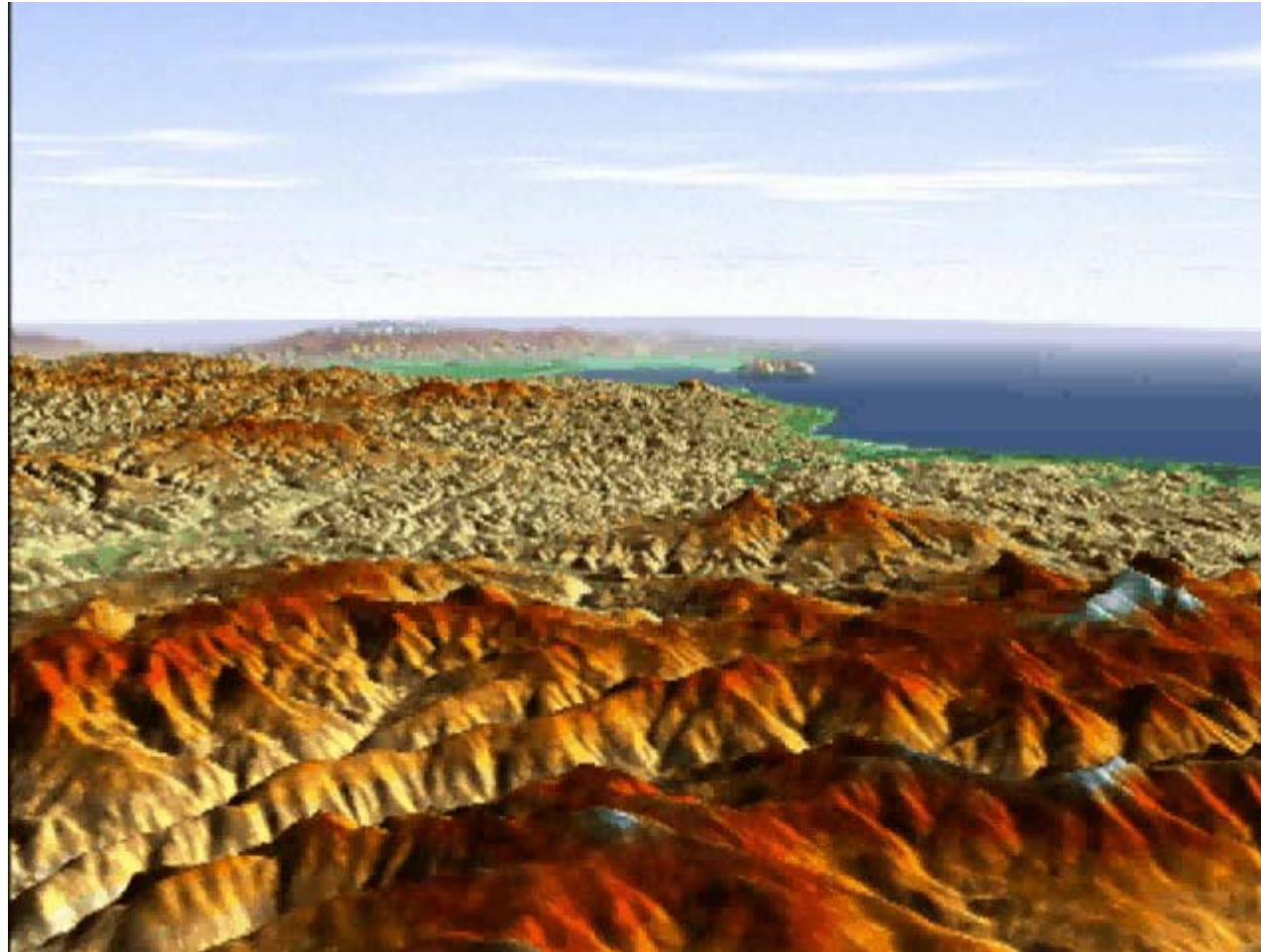


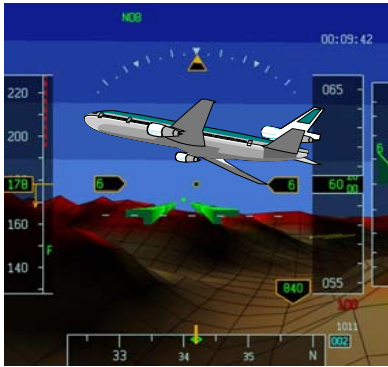




Applications

Flight over peninsula of Hokkaido/Japan with volcano Komaga-take area, SRTM/X-SAR DEM





Sicherheit im Luftverkehr



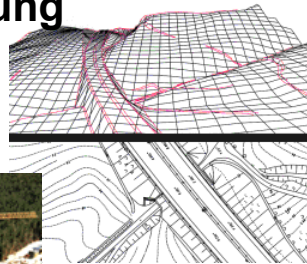
Katastrophen-Management



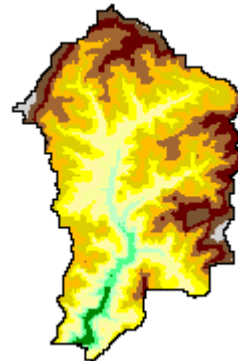
Telekommunikation

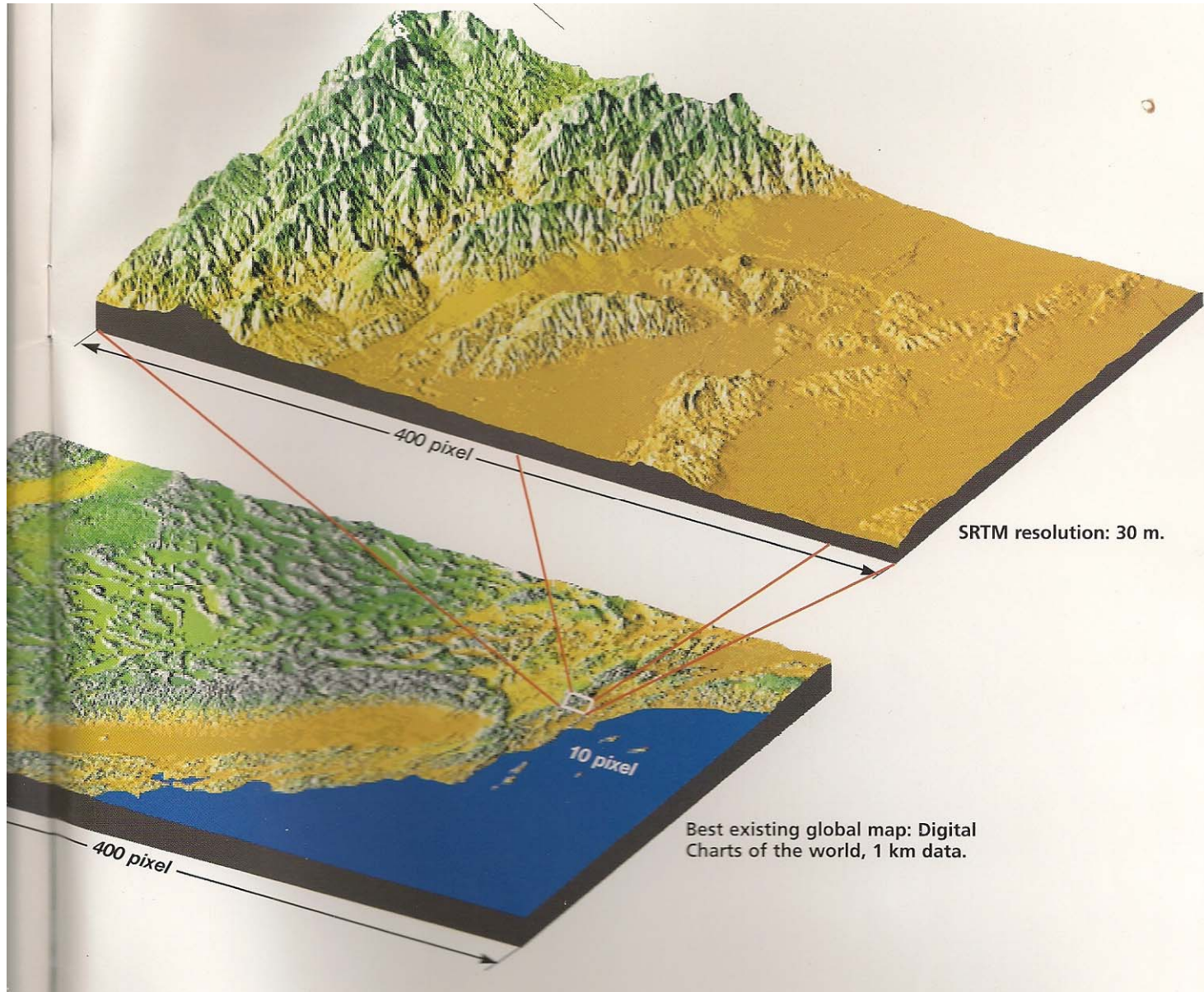
Anwendung digitaler Höhenmodelle

Infrastrukturplanung



Hydrologie



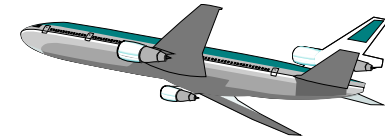




Applications for Digital Elevation Models (DEM)



Example: Air traffic Safety

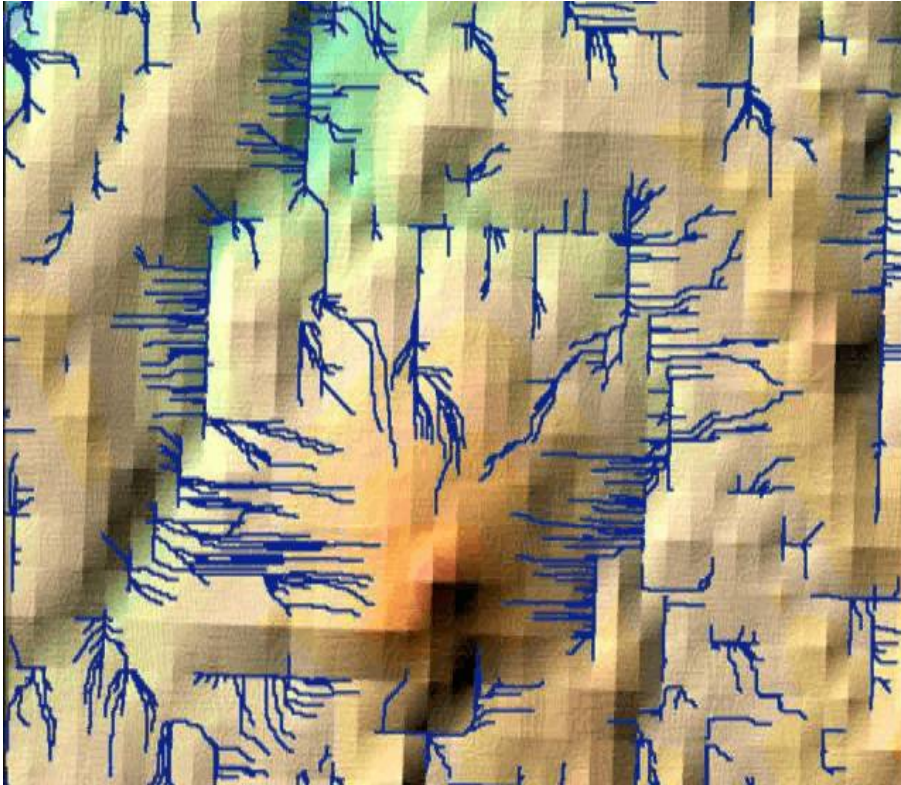


“Virtual Cockpit”

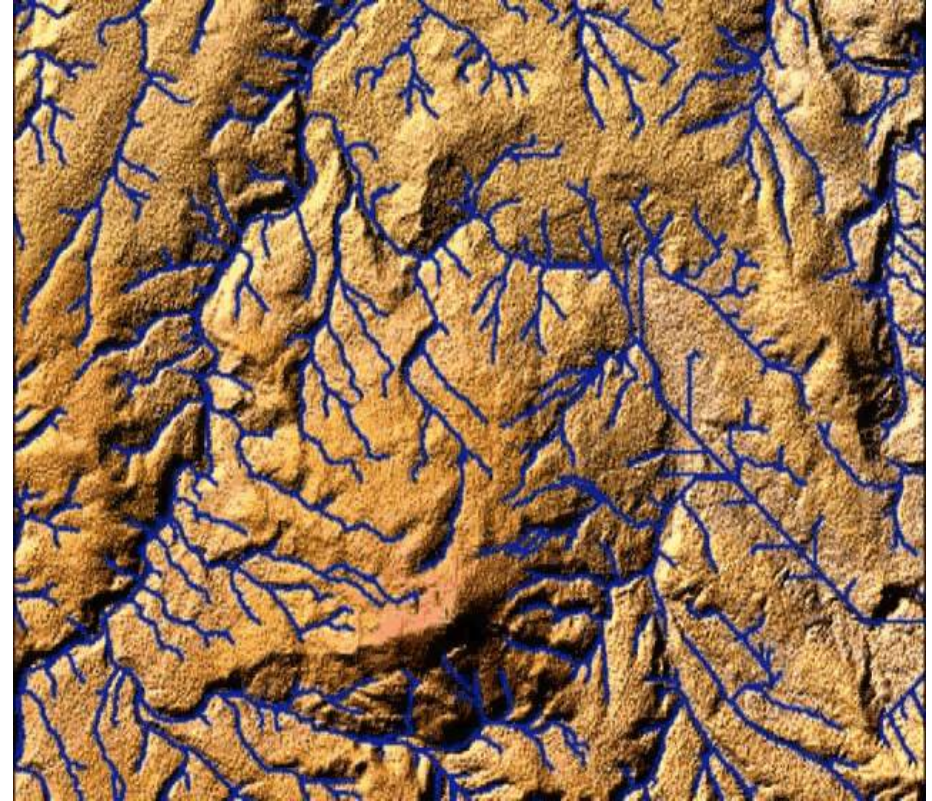
- precise information about aircraft position by GPS
- precise information about topography below from global, consistent DEM from SRTM

Hydrologie: Wasserabfluss

Globe-30 DEM



SRTM DEM

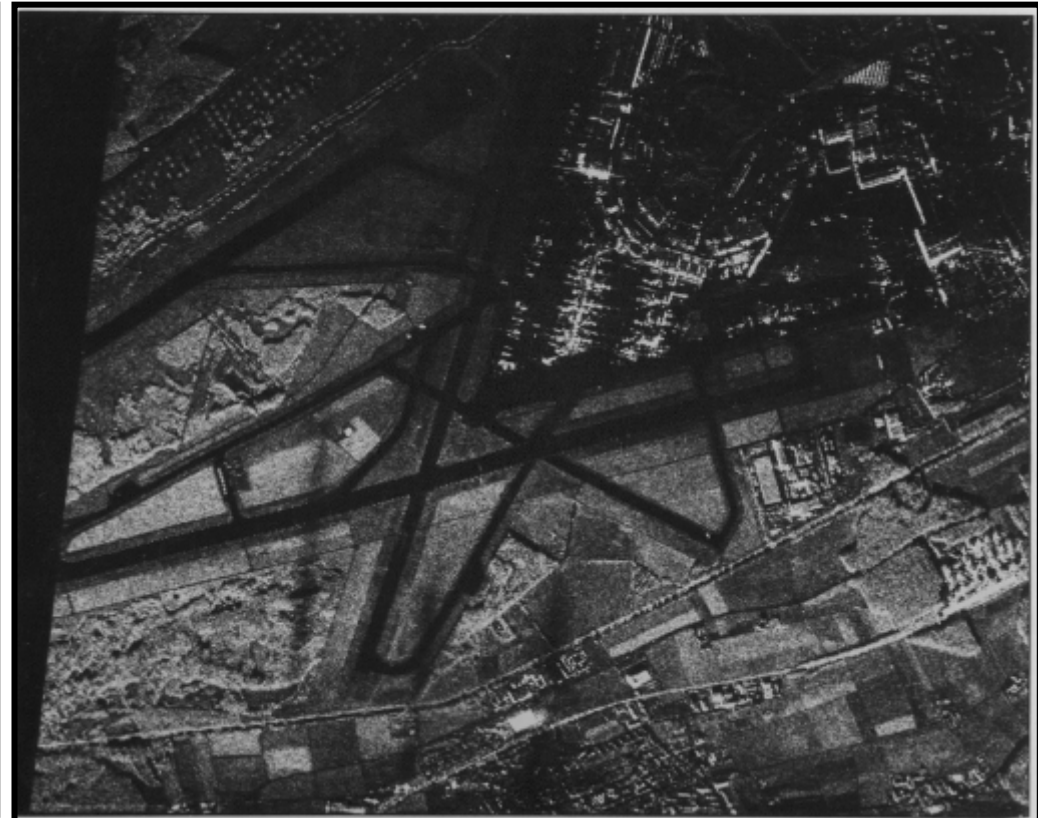




Airport Zürich Klothen mit & ohne Mehrdeutigkeiten hier hervorgerufen durch $6,8^\circ$ Antennen-Schielwinkel

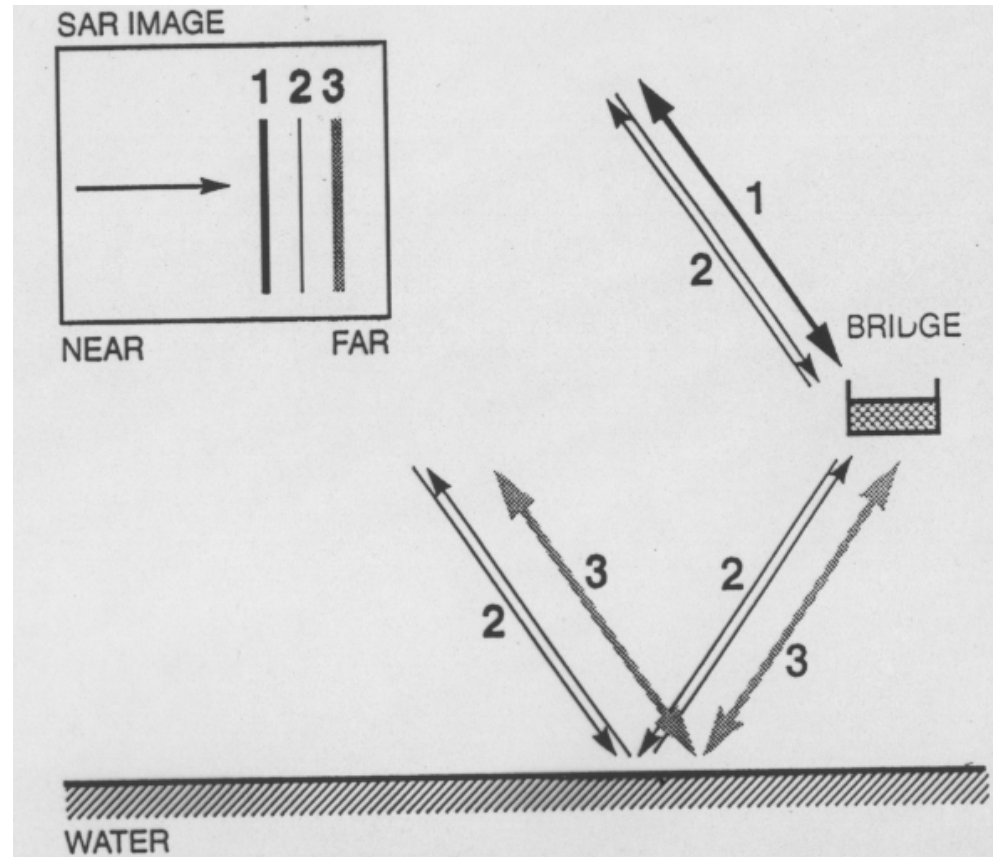
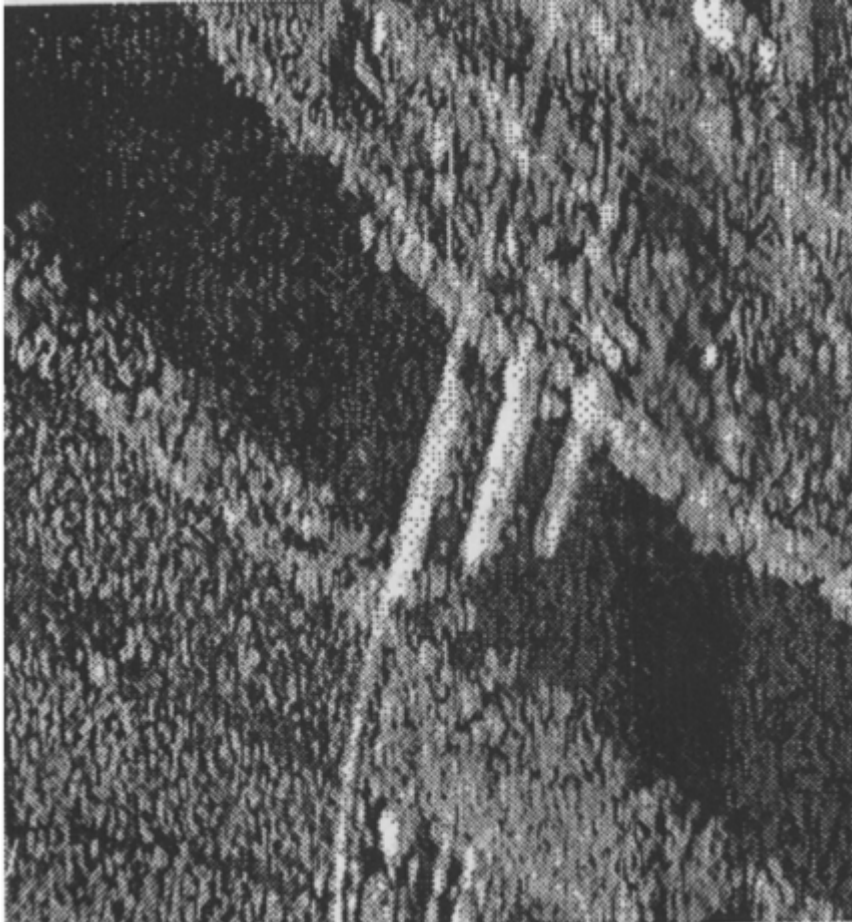


Mehrdeutigkeiten

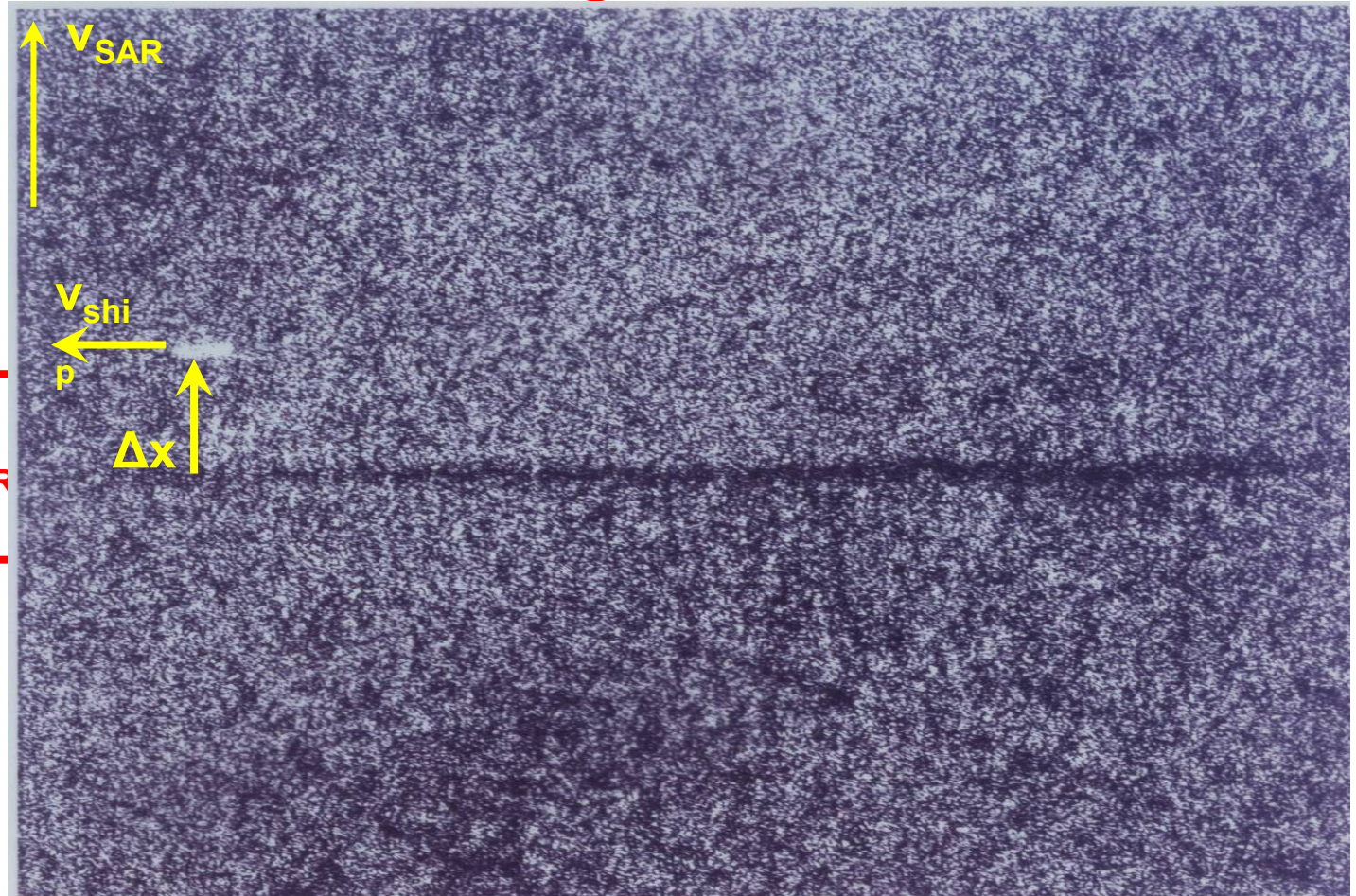


E-SAR, X-VV, $\theta_{HH} = 12^\circ$, $v = 70 \text{ msec}^{-1}$
Near Range 2805m, Far Range 5355m

4 Mehrdeutigkeiten durch Mehrfach-Reflexionen (Brücke)

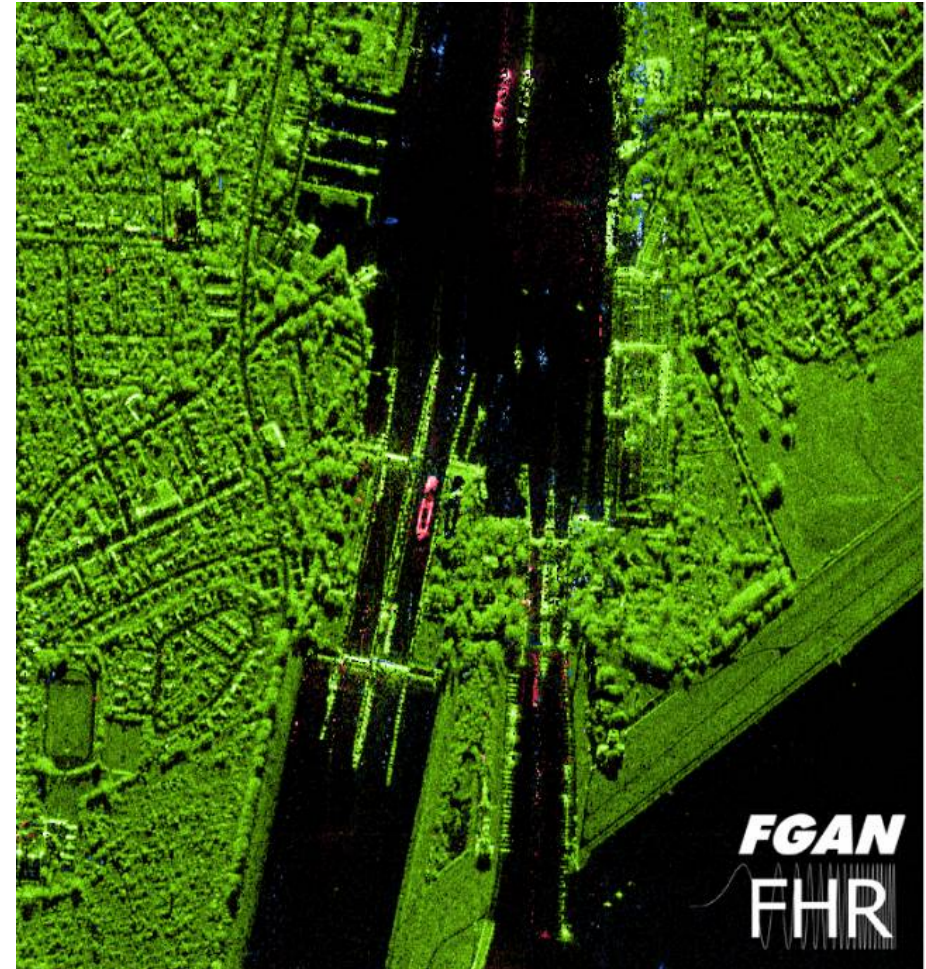


Ship Displacement against its Wake due to Motion in Line of Sight Direction



$$V_{Ship} = \pm \frac{\Delta x}{r_{Sat}} V_{SAR}$$

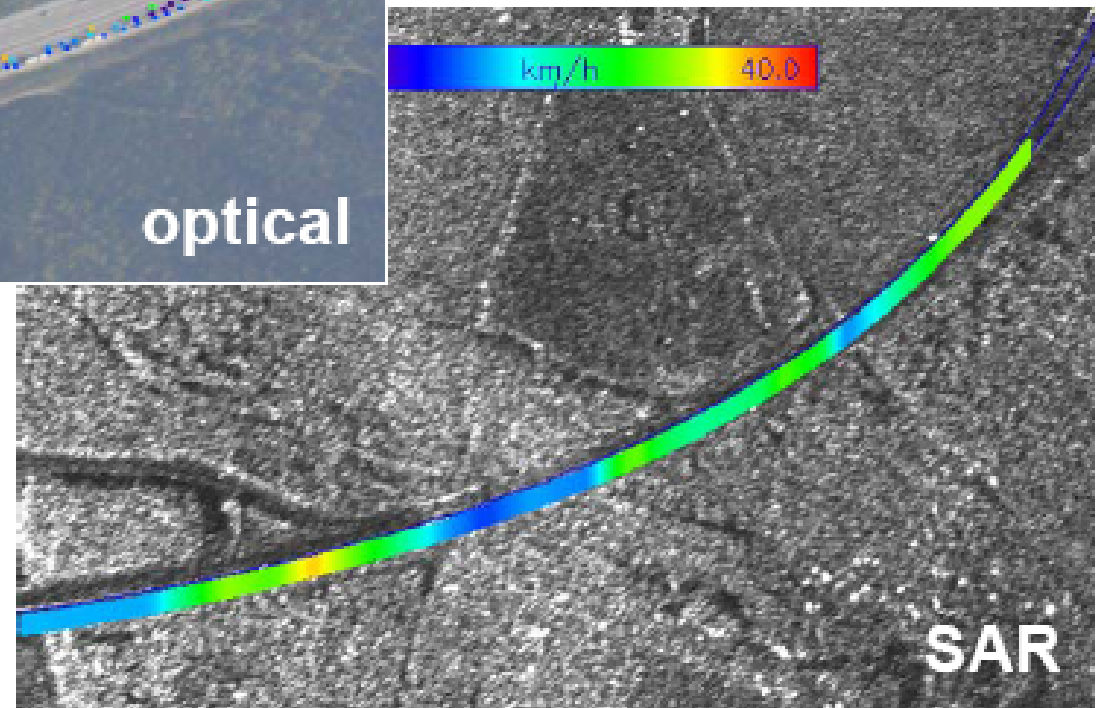
Misregistrations caused by Target Motions



Courtesy FGAN FHR Ender, personal Communication

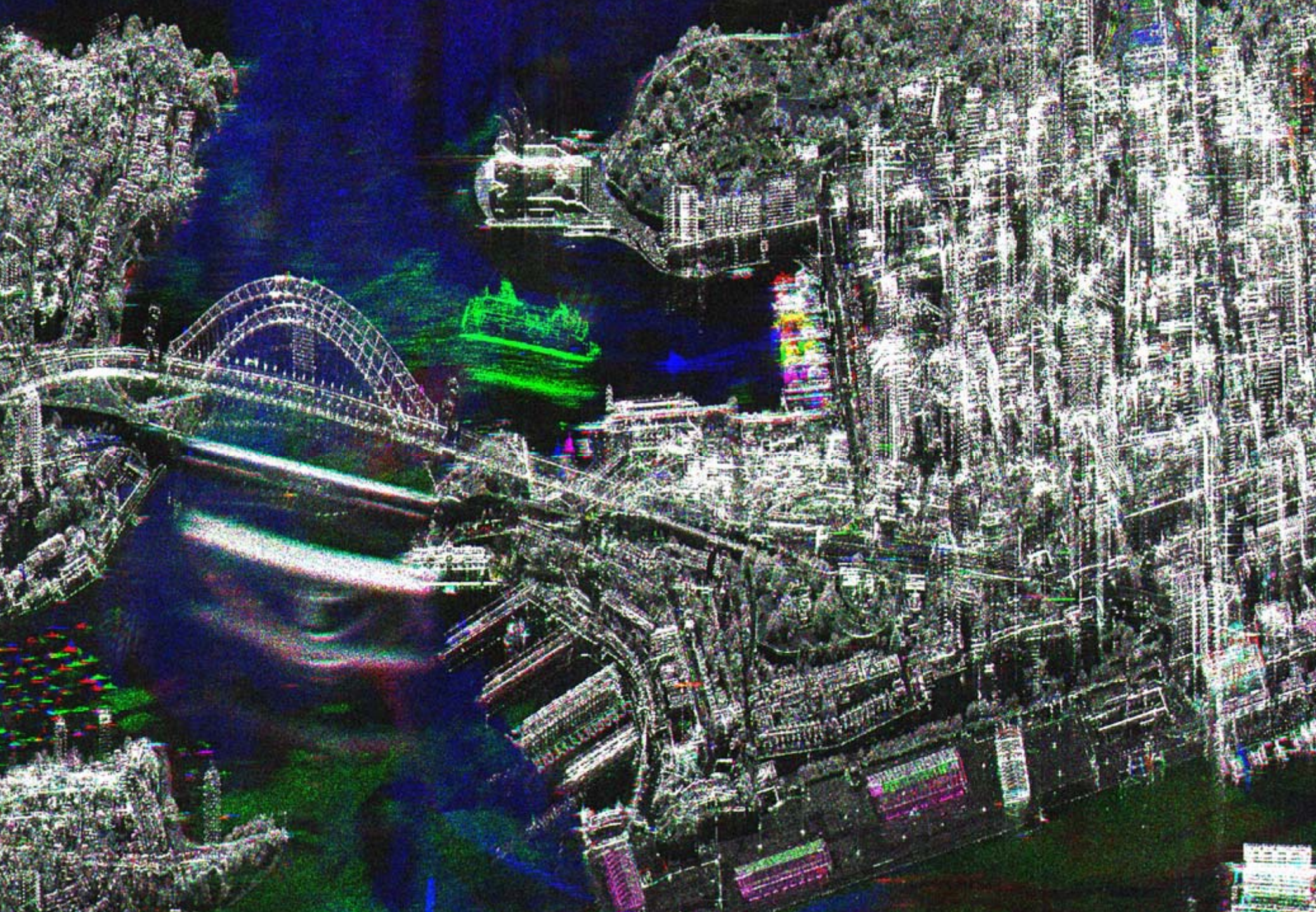


Velocity Measurements from Optical and SAR Data



Traffic parameters extracted from
airborne radar data:

Length of traffic jam: 1,3 km
Required time to pass the jam: 3:53 min
Average speed: 21 km/h



Radar & Mikrowellen - Radiometrie Schlagworte

Amplitude	Reflexion	Auflösung	Signal	Strahlung
	Trans- mission		Rauschen	Temperatur
Frequenz	Eindring- tiefe		Bandbreite	
Wellenlänge			Spektrum	
Phase	Kohärenz	Interferenz	Speckle	
Polarisation	Antenne			
Geschw. c	dezi-Bel (dB)			