



Die Maschine von Bohnenberger

Festkolloquium
200 Jahre Maschine von Bohnenberger
10. Dezember 2010

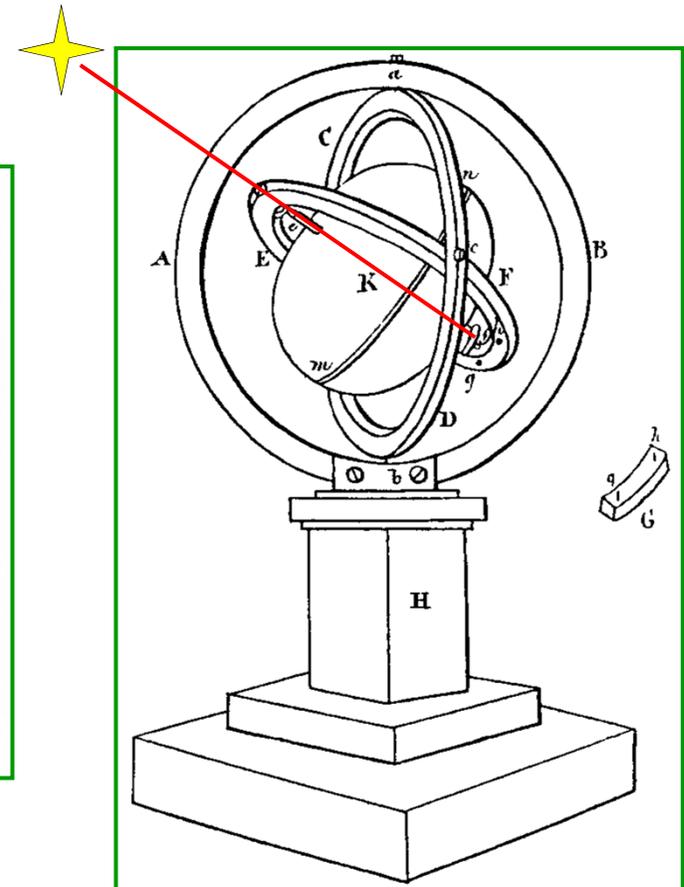
Jörg F. Wagner
Deutsches SOFIA Institut
Universität Stuttgart





Klassisches Experiment zur Kreiseldynamik

überwinden. Während sich die Kugel um ihre Axe dreht, wird diese Axe beständig diejenige Lage, welche man ihr gegeben hat, beybehalten. Diß wird auch alskdenn geschehen, wenn man die ganze Maschine an ihrem Fuß H anfaßt, und sie in Bewegung setzt. Man kann sich, indem man die Maschine herumträgt, nach beliebigen Richtungen und mit beliebigen Geschwindigkeiten bewegen, und es wird dabey die Axe der Kugel sich beständig parallel bleiben, und sich, wenn man sie zum Beyspiel anfänglich gegen Norden gerichtet hat, wie eine Magnetnadel beständig gegen Norden richten. Die Kugel





Kreisel mit kardanischer Aufhängung

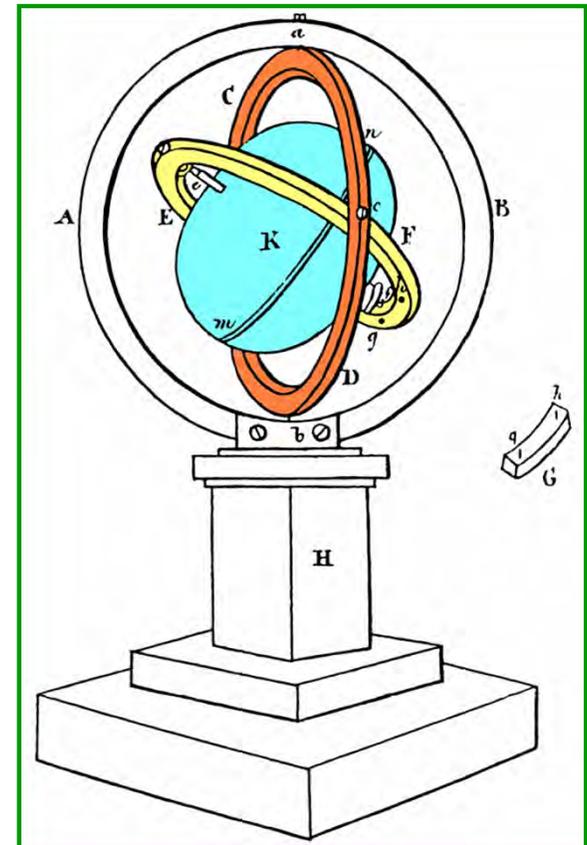
Ursprünglich: **Maschine von Bohnenberger**

Erstveröffentlichung

Bohnenberger, J.G.F. (1817):

Beschreibung einer Maschine zur Erläuterung der Geseze der Umdrehung der Erde um ihre Axe, und der Veränderung der Lage der letzteren.

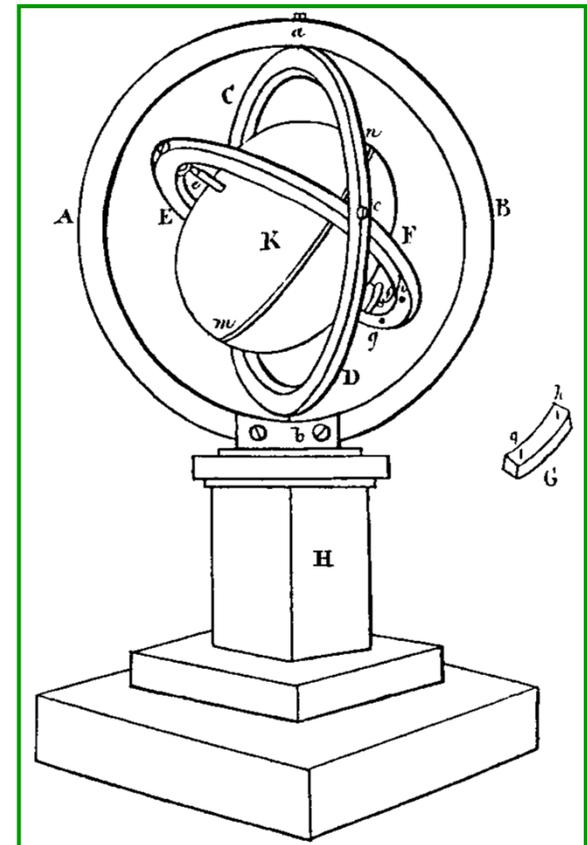
Tübinger Blätter für Naturwissenschaften und Arzneykunde 3, S. 72-83



Kreiselpräzession

Tübinger Blätter für Naturwissenschaften und Arzneykunde 3 (1817), S. 72-83

der Axe merklich geändert würde. Wirkt hingegen fortdauernd eine Kraft auf die Axe, wie an dieser Maschine das aufgelegte Gewicht G, so bleibt zwar der Winkel ungeändert, welchen die Umdrehungsaxe mit einer als unbeweglich angenommenen Ebene, bey dieser Maschine z. B. mit einer Horizontalebene macht, aber es entsteht eine andere Bewegung der Axe, als diejenige ist, welche man bey dem ersten Anblick von der auf sie wirkenden Kraft erwartet haben würde. Sie bewegt sich nämlich so, daß sie die Oberfläche eines Kegels beschreibt, dessen Axe mit der Richtung jener störenden Kraft parallel läuft, mithin bey der hier beschriebenen Maschine lotrecht oder auf der Horizontalebene senkrecht ist.





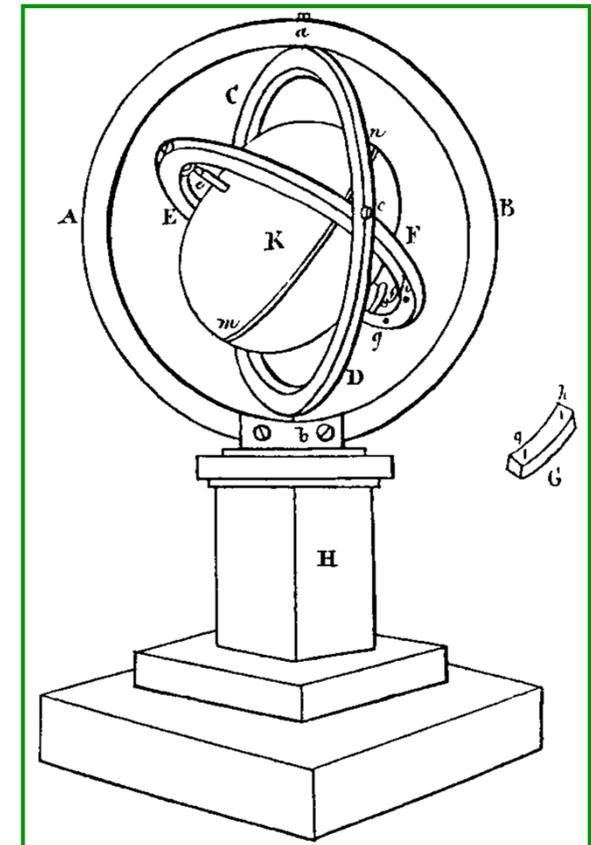
Wo sind die Originale?

Tübinger Blätter für Naturwissenschaften und Arzneykunde 3 (1817), S. 72-83

zu verdienen. Hierzu kommt noch der von vielen, welche sich eine solche Maschine angeschafft haben, geäußerte Wunsch, daß ich eine deutliche Anleitung zum Gebrauche derselben geben, und so weit es ohne Calcul möglich ist, die Gründe ihrer Bewegungen entwickeln möchte. Das letztere kann freylich ohne höhere Analysis nur sehr unvollständig geschehen. Wer aber die nöthigen Vorkenntnisse hat, findet eine ausführliche Theorie dieser Maschine in dem Journal de l'école polytechnique, selzième cahier. Tome IX. pag. 247. Mémoire sur un cas particulier du mouvement de rotation des corps pesans; par M. Poisson.

Die Maschine ist in der Zeichnung auf $\frac{3}{4}$ ihrer wahren Größe reducirt, und wird von Hrn. Universitäts-Mechanikus Buzengeiger in Tübingen um den Preis von 18 Gulden sehr genau und niedlich verfertigt.

Prof. v. Bohnenberger,

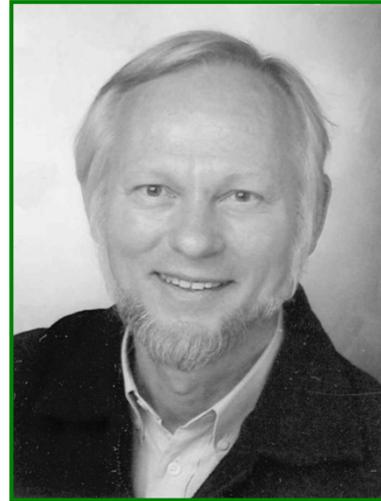




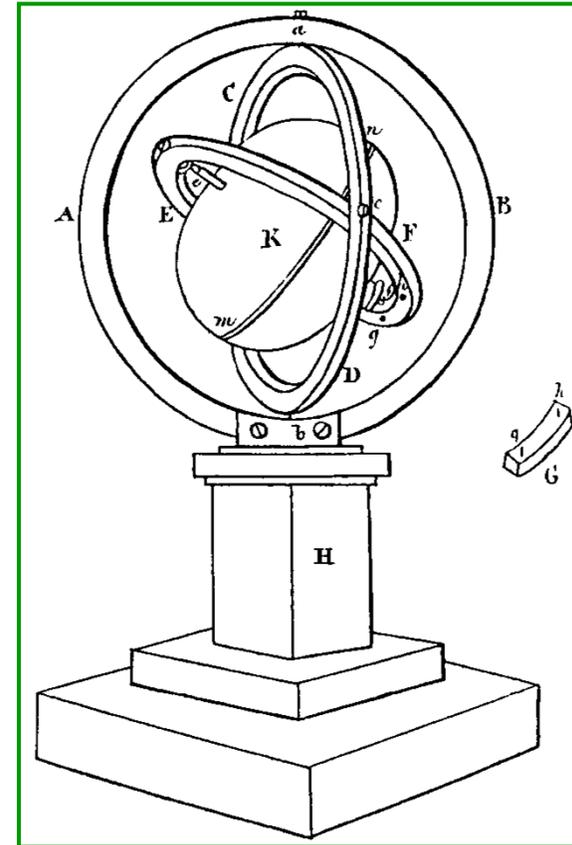
Inhalt

- 1 Die Suche nach Bohnenbergers Maschine**
- 2 Technische Entwicklung**
- 3 Zur Einordnung von Bohnenbergers Erfindung**
- 4 Epilog**





Entdeckung im Kepler-Gymnasium Tübingen (2004)





Zweite Entdeckung (2010)



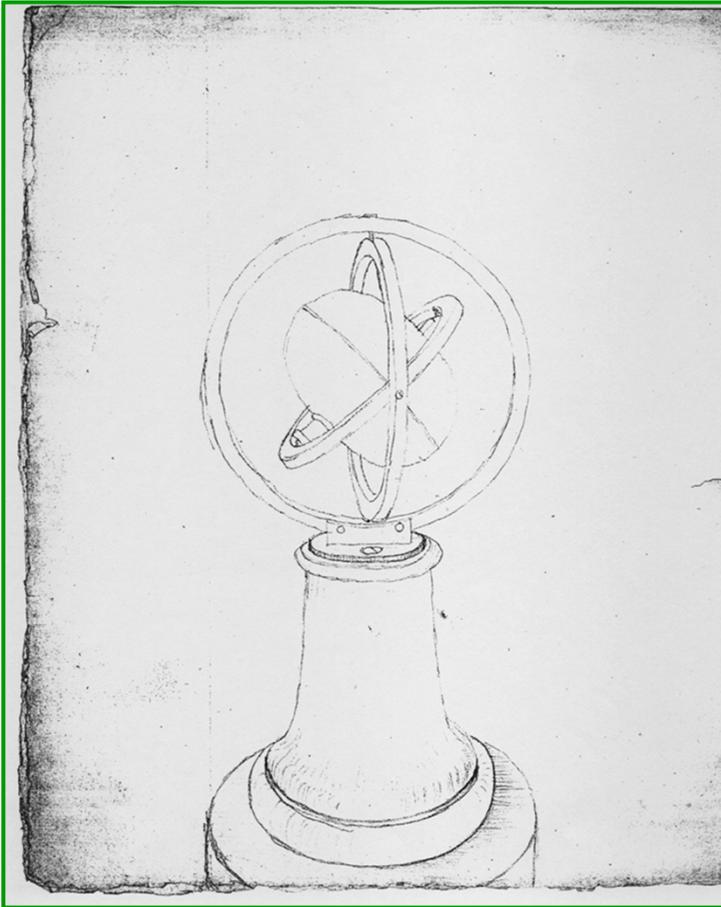
Ältere Dokumente

Poisson, S.-D.:

Mémoire sur un Cas particulier du Mouvement de rotation des Corps pesans.
Journal de l'École Polytechnique 9, No. 16 (1813), S. 247-262

Il existe au cabinet de physique de l'École polytechnique, une ma-
chine très-ingénieuse, imaginée par M. Bohnenberger, qui représente
parfaitement les diverses circonstances du mouvement que nous consi-
dérons. L'auteur la destine à rendre sensible aux yeux le phénomène
de la *précession des équinoxes* ; et, en effet, ce mouvement a une grande
analogie avec celui qui nous occupe ; car ici, comme dans le mou-
vement de la terre, c'est la grande vitesse de rotation qui soutient
l'équateur dans une inclinaison constante, et qui fait mouvoir la ligne
des nœuds, qui, sans cette vitesse, resterait en repos (*).

Ältere Dokumente



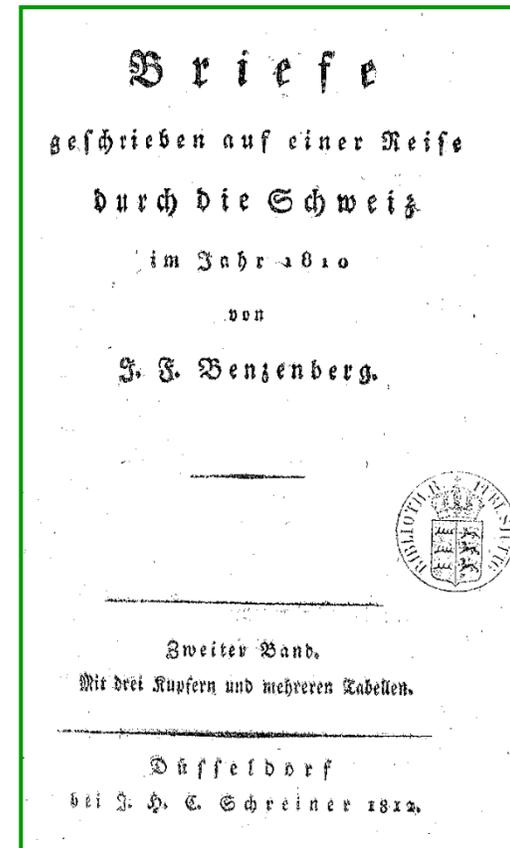
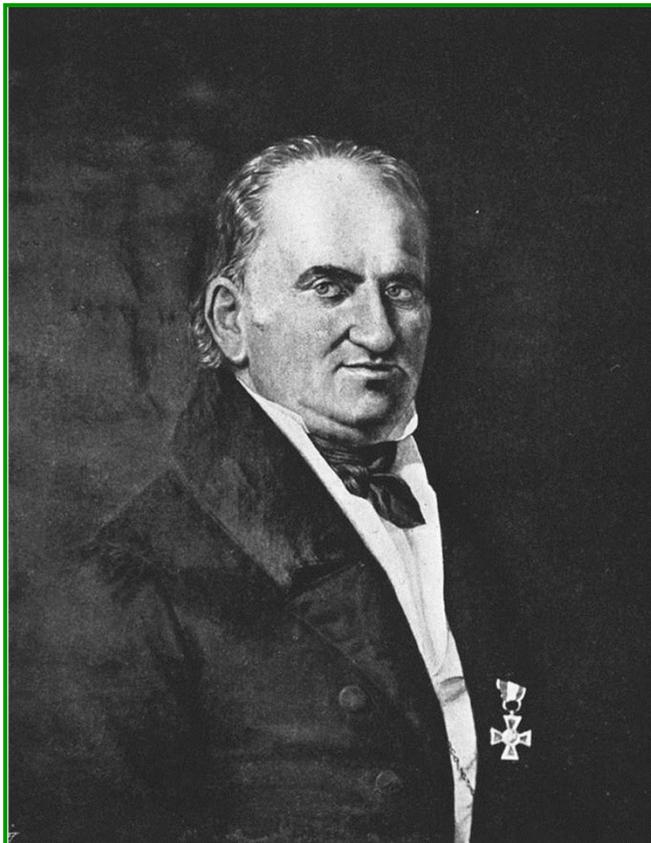
Originalzeichnung Bohnenbergers
(1811 oder früher)

aus Manuskriptfragment:

Bohnenberger, J.G.F.:
Anfangsgründe der höhern Analysis.
Tübingen: Cotta, 1811

Erste Erwähnung des Instruments

J.F. Benzenberg (1777-1846)



Erste Erwähnung des Instruments

357

ohne Reize ist. Ich sah sie diesen Mittag im hellen Sonnenscheine von der Sternwarte.

Der Sternwarte fehlt es noch sehr an Instrumenten. Die wenigen, welche da sind, gehören Prof. Bohnenberger eigenthümlich, wie z. B. die Sextanten, womit er die Charten von Schwaben aufgenommen hat, und der Baumannsche Wiederholungskreis. B. zeigte mir eine artige Schwungmaschine, welche das Zurückweichen der Nachtgleichen-Punkte auf eine anschauliche Weise erklärt, und zugleich den physischen Grund davon zeigt. Eine kleine Erde von Holz und mit Blei ausgegossen, dreht sich um ihre Achse, und wird durch das Aufwinden einer Schnur, so in eine rotirende Bewegung gesetzt, wie der Kräusel, mit dem die Knaben spielen. Die Pole sind in einen Ring befestigt, welcher Kompassaufhängung hat, und sich frei nach allen Seiten drehen kann. Läßt man nun die Erde rotiren, so kann man mit ihr im ganzen Zimmer herum gehen, ohne da ihre Rotationsachse ändert. Sie sie sich immer parallel, man wenden und drehen wie man will. Hätte Copernikus

358

diese Maschine gekannt, so würde er einen kleinen Irrthum vermieden haben, von dem Lichtenberg sagte, daß es fast das einzige Künstliche und das einzige Irrige an seinem ganzen Systeme gewesen: Nämlich seine Erklärung: warum die Erdbachse bei ihrem Laufe um die Sonne das ganze Jahr hindurch parallel bleibe? — Es ist, wenn man diese Maschine sieht, leicht begreiflich; denn ein rotirender Körper ändert sehr schwer die Richtung seiner Drehungsachse.

Um an derselben Maschine die Ursache vom Zurückweichen der Nachtgleichen zu erklären, wird an der einen Seite ein kleines Gewicht angehängt, dessen Bestrebung es ist, die Richtung der Erdbachse zu ändern. Dieses stellt die anziehende Kraft der Sonne vor, die auch strebt den Ring der Erdmasse, den die Abplattung um den Äquator gelegt hat, zu drehen, so daß die Erdbachse senkrecht auf ihre Bahn zu stehen komme. Dieses würde keine Schmirgel-

Zübingen, den 10. December 1810.

Äquator mit der Erdbahn macht, bleibt, und die

359

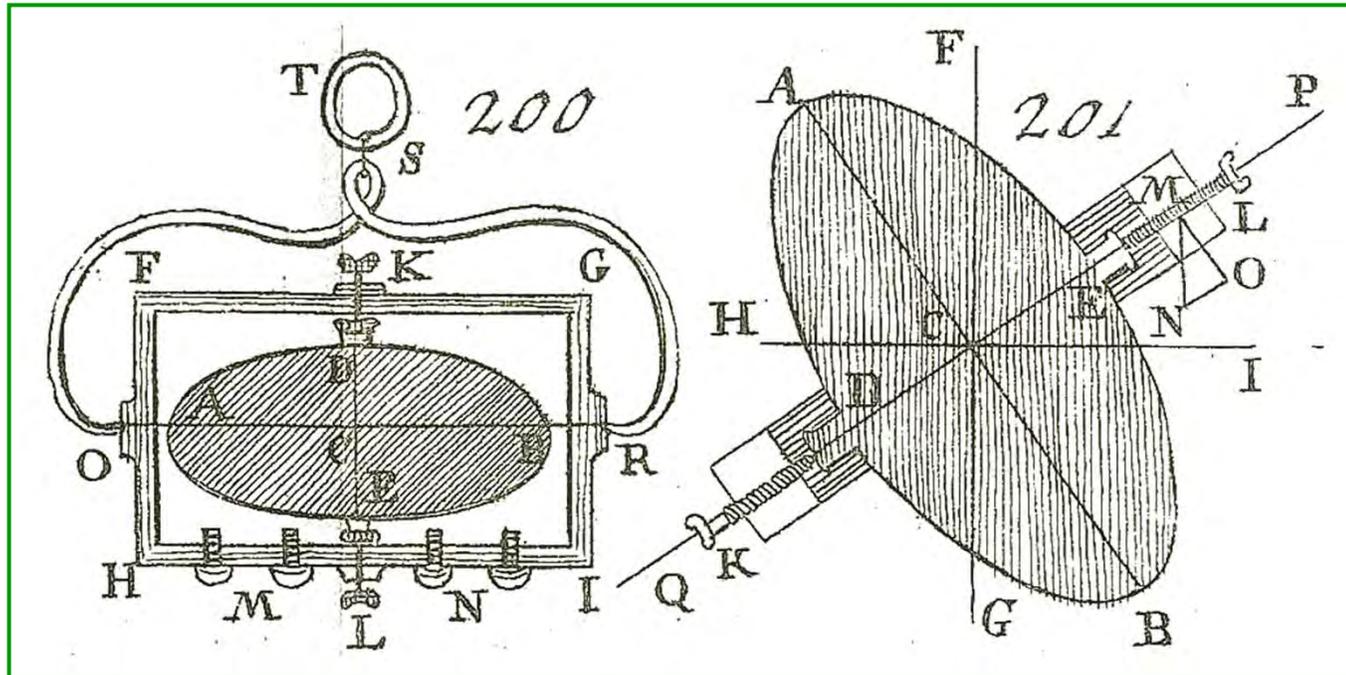
Erdbachse geht um den Punkt herum, zu dem sie das Gewicht hintreibt, und in dem sie wegen der Rotation nicht kommen kann. Sie beschreibt nun einen Kreis um die Pole der Erdbahn, den sie in 25000 Jahren durchläuft. Die Punkte, wo die Ebene des Äquators die Erdbahn durchschneidet, — die Nachtgleichenpunkte rücken nun ebenfalls fort, und so entsteht das merkwürdige Phänomen vom Fortrücken der Nachtgleichenpunkte, welches schon den ältesten Astronomen bekannt war, und von dem bis auf Neuton niemand die Ursache angeben konnte, bis endlich dieser große Geometer es aus den Gesetzen der allgemeinen Schwere erklärte.

Bohnenberger hat sich sehr verdient um die Geographie Deutschlands durch seine große Karte von Schwaben gemacht. Sie ist im Maßstabe der Karte von Cassini, (nämlich eine Linie von 86400 Fuß auf dem Felde ist 1 Fuß auf dem Papier,) und stellt die einzige große und genaue Karte der Regierung keinen Theil der Entstehungsgeschichte derselben als daß ich sie Ihnen nicht mittheilen sollte.

Vorgängerinstrument

Segner, J.A. v.:

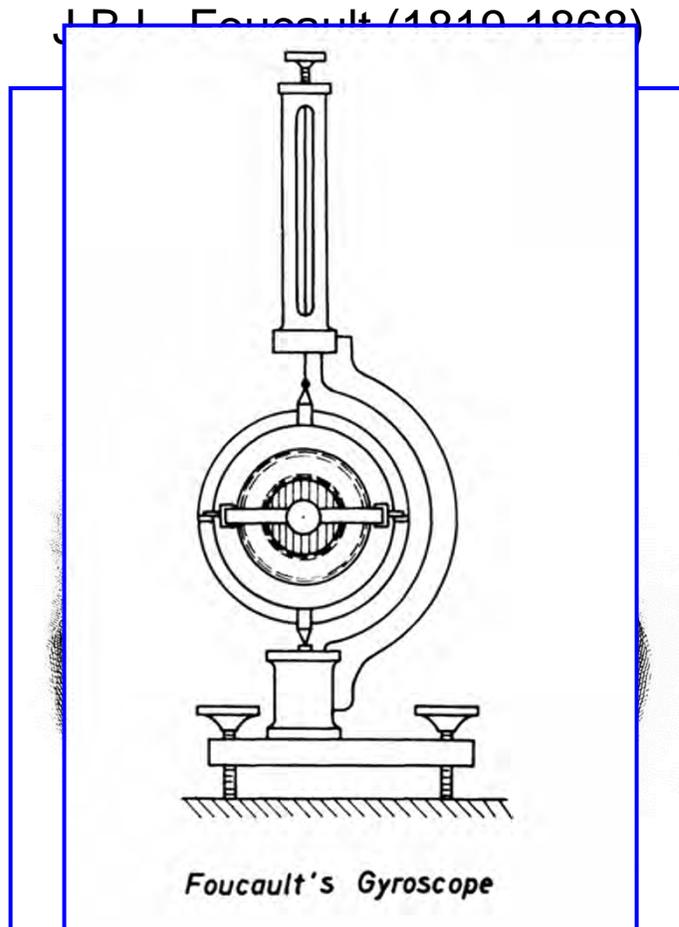
Astronomische Vorlesungen, Band 2, Halle: Curts, 1776, pp. 650-653.



Erste Verbreitung

- Tübingen,
6.-10. Dezember, 1810
J.G.F. Bohnenberger trifft J.F. Benzenberg
 - Frankfurt/Main,
28. Dezember, 1810
J.F. Benzenberg trifft K. v. Dahlberg
(Fürstprimas des Rheinbundes)
 - Paris,
Sommer 1811
K. v. Dahlberg trifft A. v. Humboldt,
J.-L. Lagrange,
P.-S. Laplace
 - Paris,
Sommer 1811
P.-S. Laplace führt die Maschine an der
Ecole Polytechnique ein
 - Tübingen,
1812 ?
J.G.F. Bohnenberger schickt 2 Maschinen an
D.F.J. Arago
 - Paris / Edinburgh,
1816/17
D.F.J. Arago gibt 1 Maschine an J. Playfair weiter
-
- USA, 1832
Erwähnung des Instruments von W.R. Johnson

Erster Versuch einer Verbesserung



**Experiment
zum Beweis der Erddrehung**

Foucaultsches Pendel

Gyroskop:

Gerät zur Feststellung von
Drehbewegungen

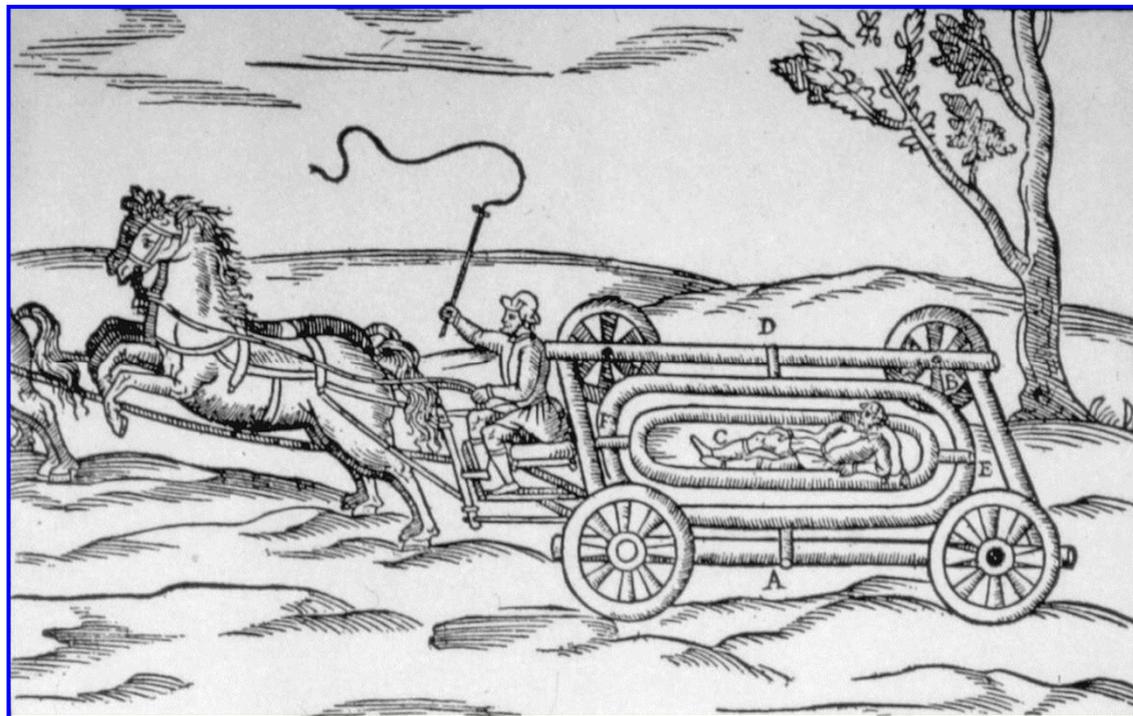
Phasen der technischen Entwicklung

- ① Vorphase (Kardanlagerung, Spielzeug, J.A. v. Segner)
Altertum bis 18. Jahrhundert
- ② Demonstrationsobjekt (J.G.F. Bohnenberger, J.B.L. Foucault)
19. Jahrhundert
- ③ Erste technische Nutzung, rein mechanische Kreisel
(ca. 1900 - 1940)
- ④ Elektrofeinmechanische Kreisel und Inertialplattformen
(ca. 1940 - 1970)
- ⑤ Mikroelektronische Systeme
(ab ca. 1970)
- ⑥ Mikromechanische Kreisel für den Massenmarkt
(ab ca. 2000)

Kardanlagerung

①

Schon im Altertum bekannt
Systematische Beschreibung: Girolamo Cardano (1501 – 1576)



Beispiel aus Italien, 17. Jahrhundert

Spielzeugkreisel

①

Schon im Altertum bekannt

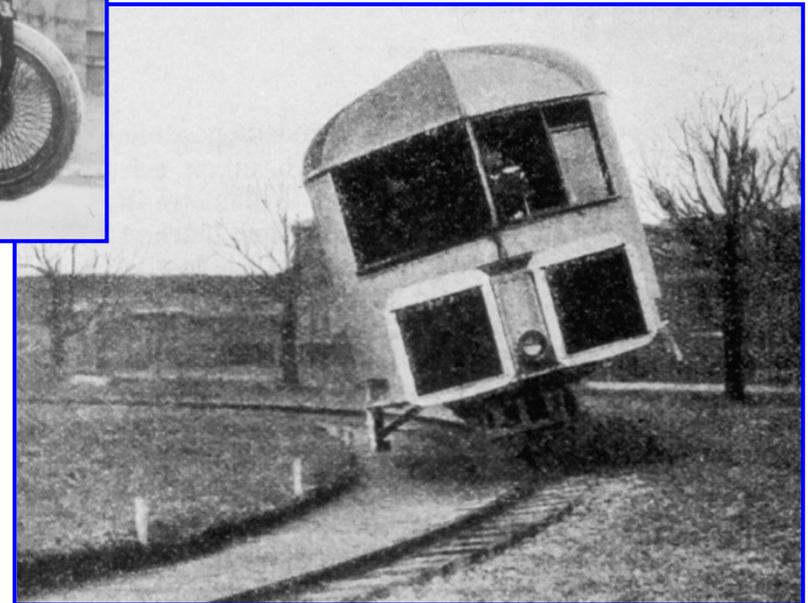


Alter ca. 4000 Jahre

Stabilisierungskreisel

③

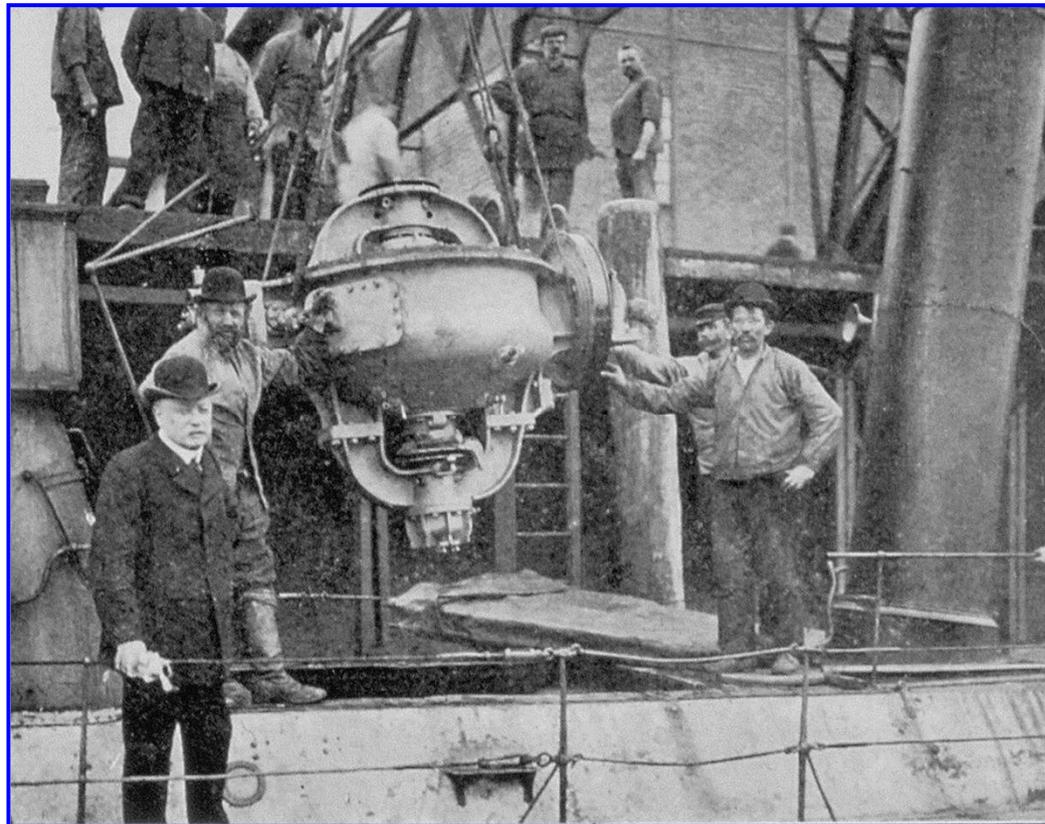
Einspurige Fahrzeuge



Stabilisierungskreisel

③

Schlickscher Schiffskreisel



Stabilisierungskreisel

③

Drallrad der Internationalen Raumstation (ISS)

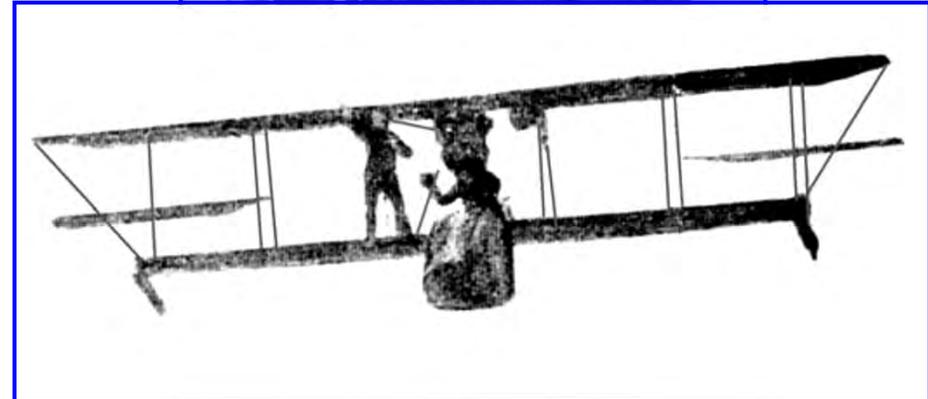


Protagonisten der ersten Navigationsinstrumente ③

H. Anschütz-Kaempfe (1872-1931)



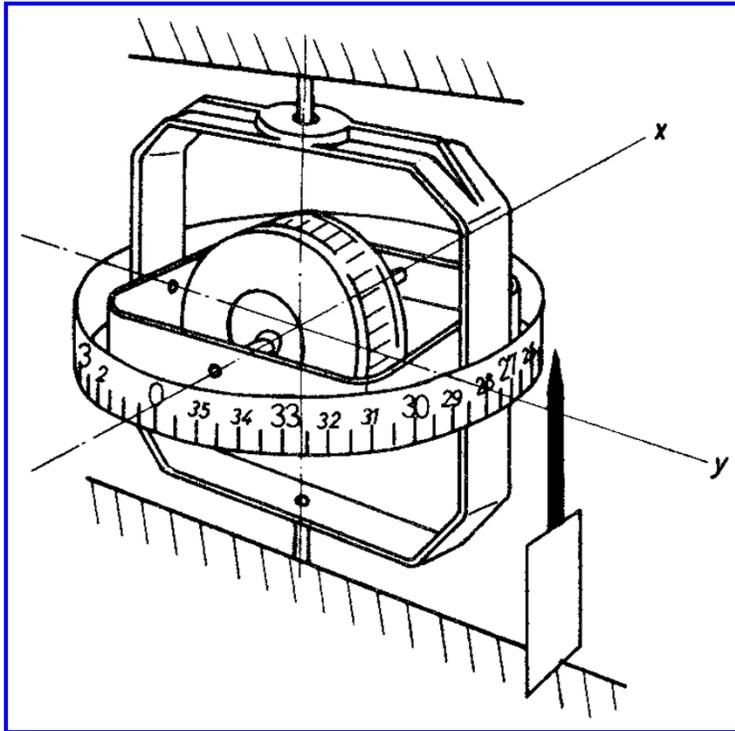
Sperry Autopilot, Paris 1914



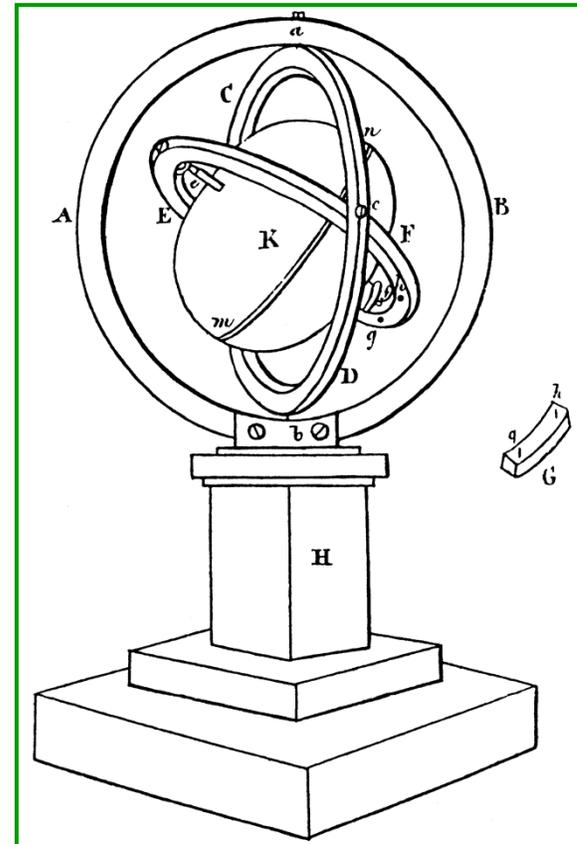
Kurskreisel

③

Sperry AN 5735-1



Bohnenberger 1817

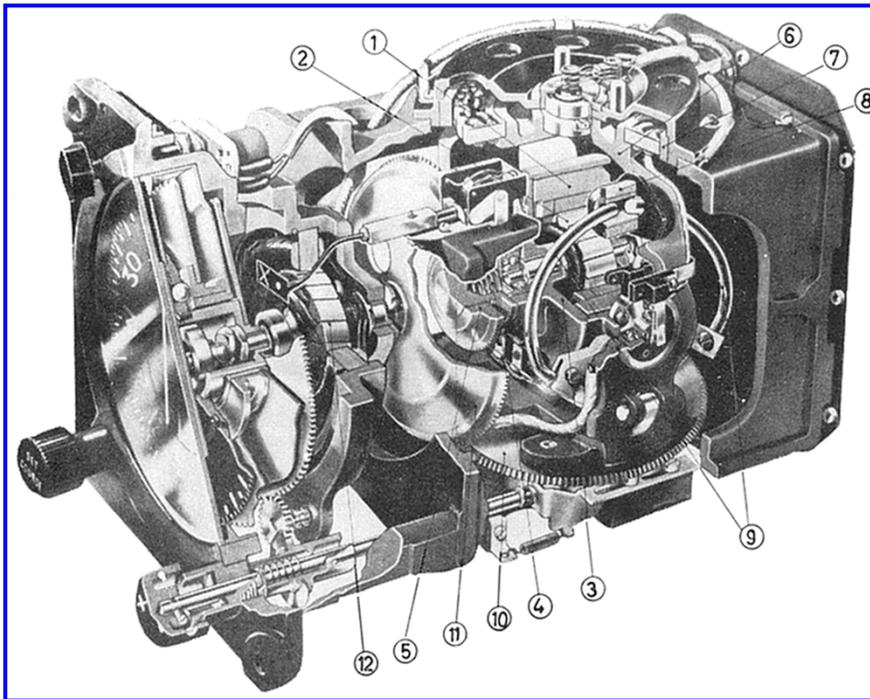


Kurskreisel

④

Sperry 16 526-0 (ca. 1960)

typische Anzeige



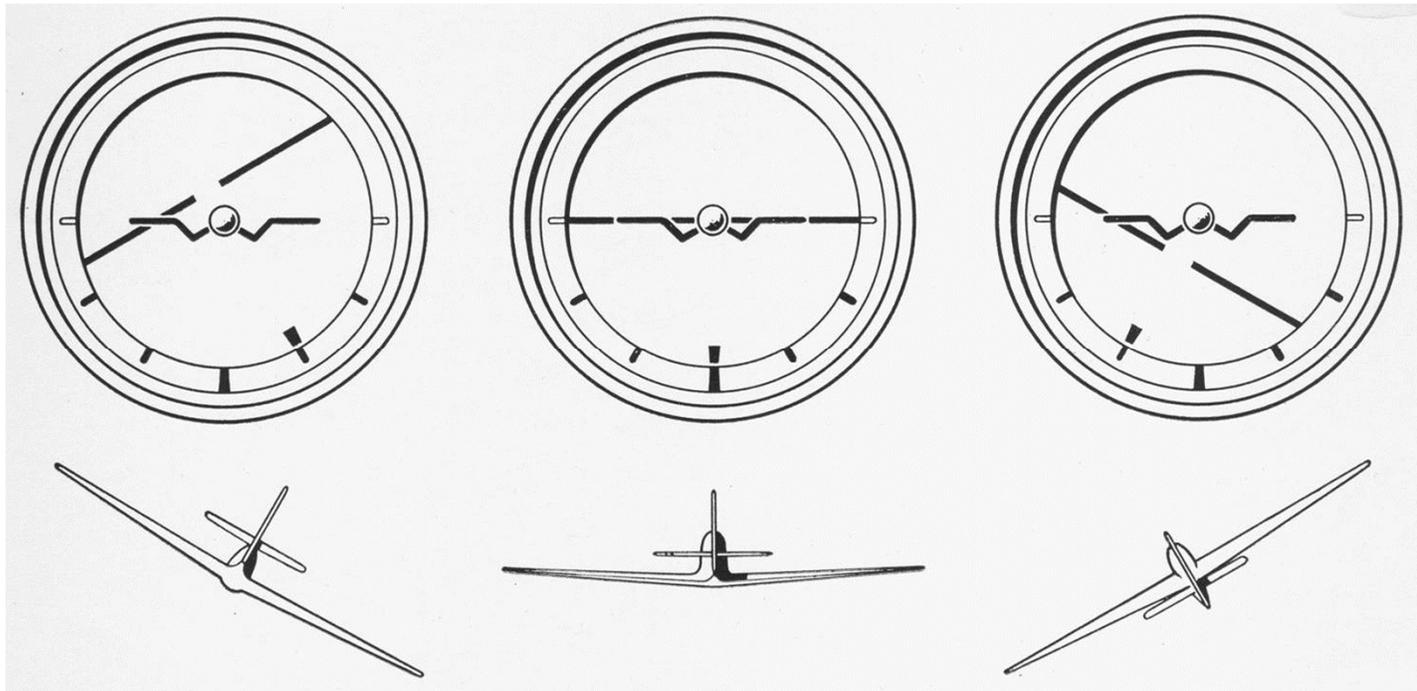
Künstlicher Horizont

③

Rechtskurve,
sinken

Geradeausflug

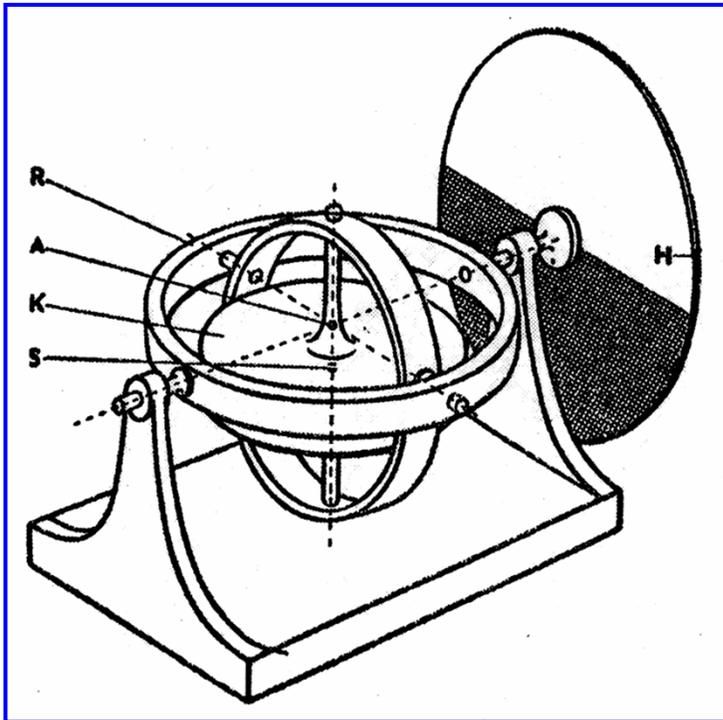
Linkskurve,
steigen



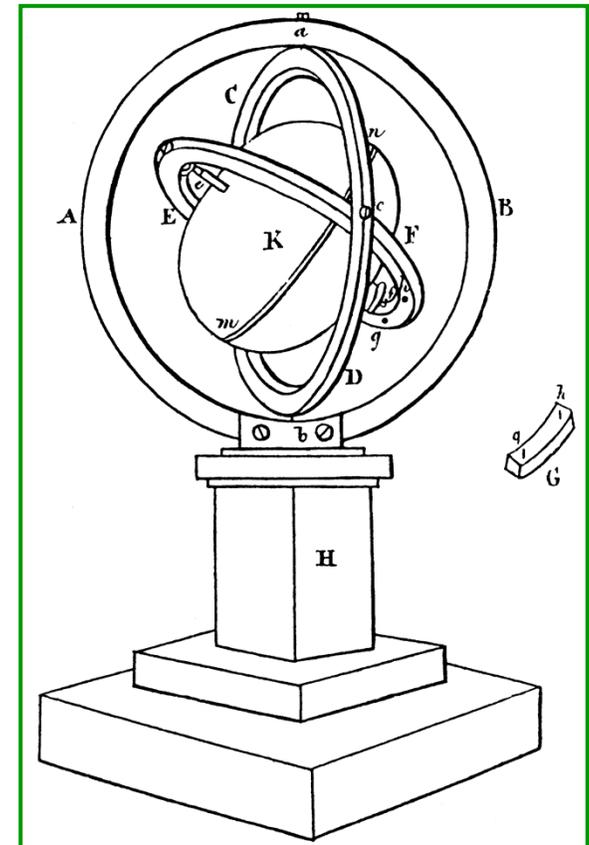
Künstlicher Horizont

③

Anschütz-Fliegerhorizont, 1916



Bohnenberger 1817

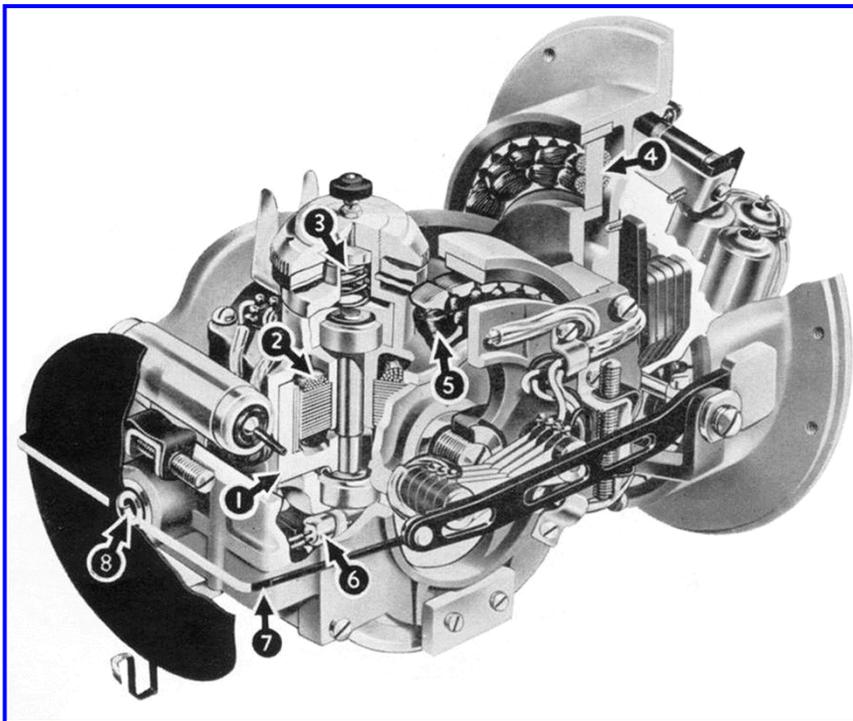


Künstlicher Horizont

④

Sperry H.L. 6 (ca. 1960)

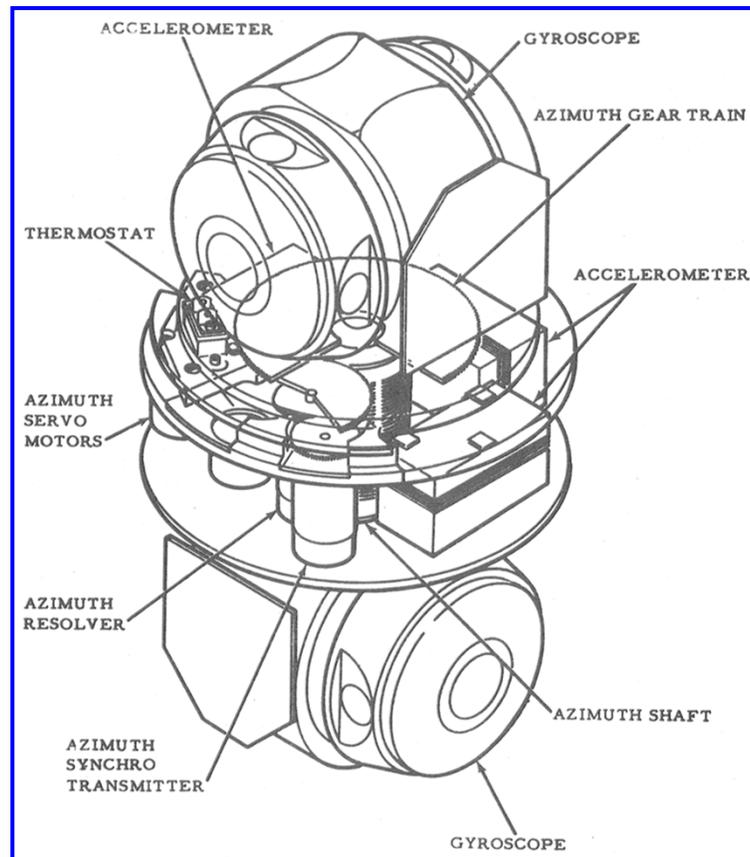
typische Anzeige



Kreiselplattform

④

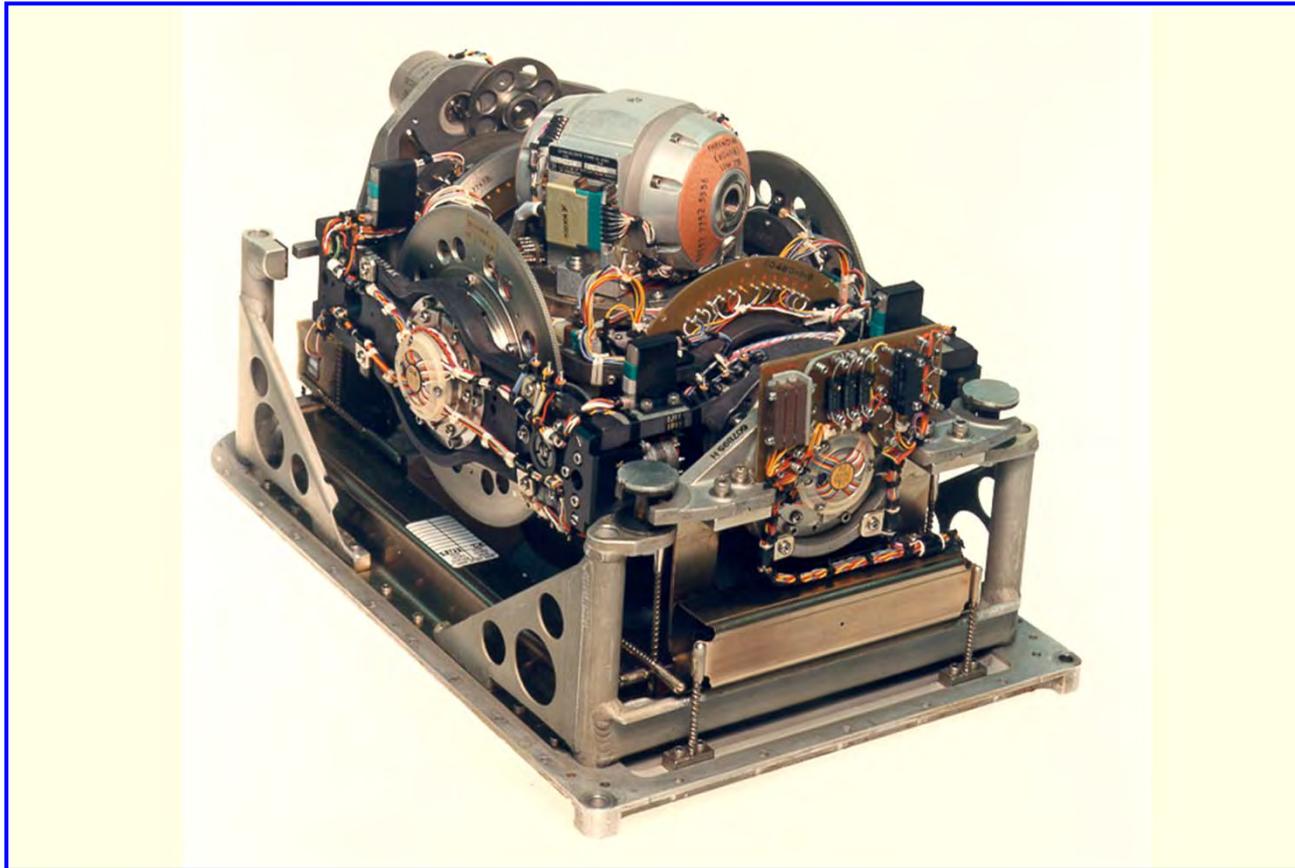
Kombination zweier kardanischn gelagerter Kreisel



Kreiselplattform

④

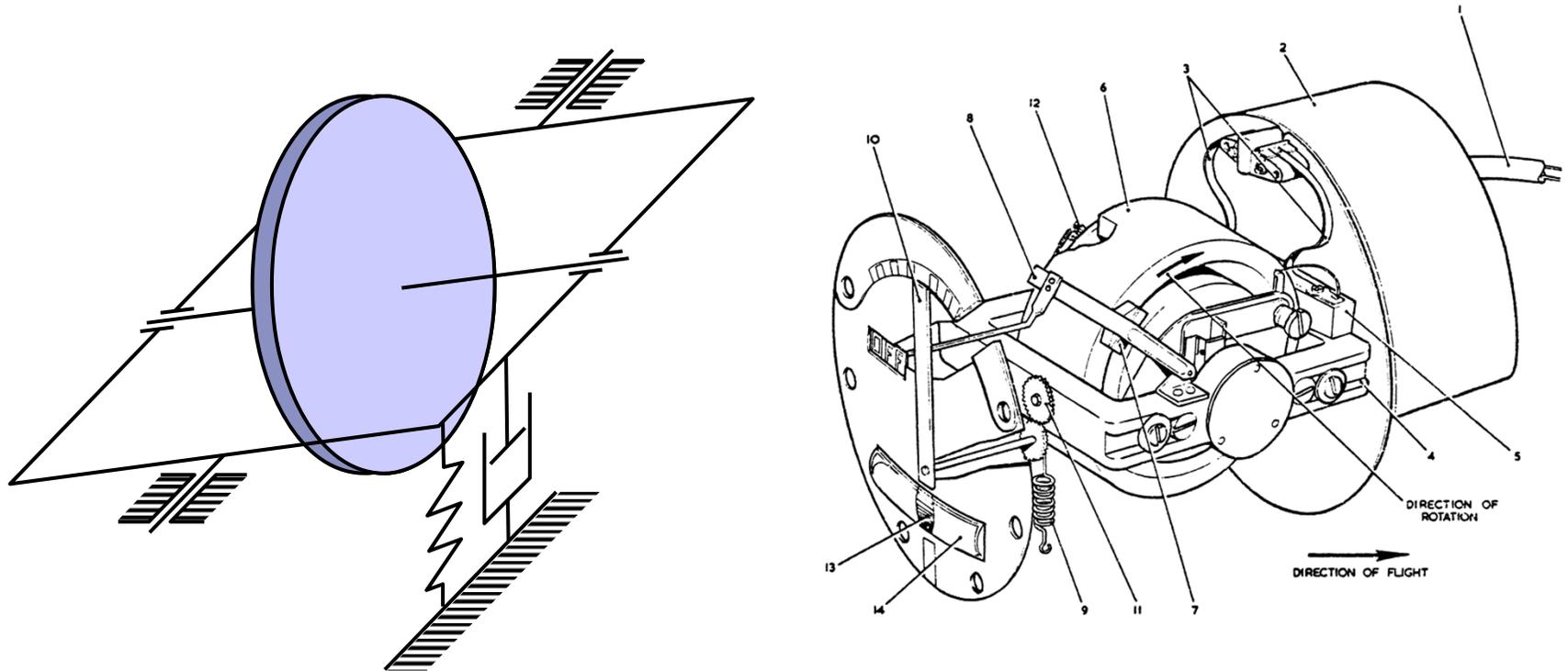
Beispiel: Plath / Litton LN3



Wendekreisel

④

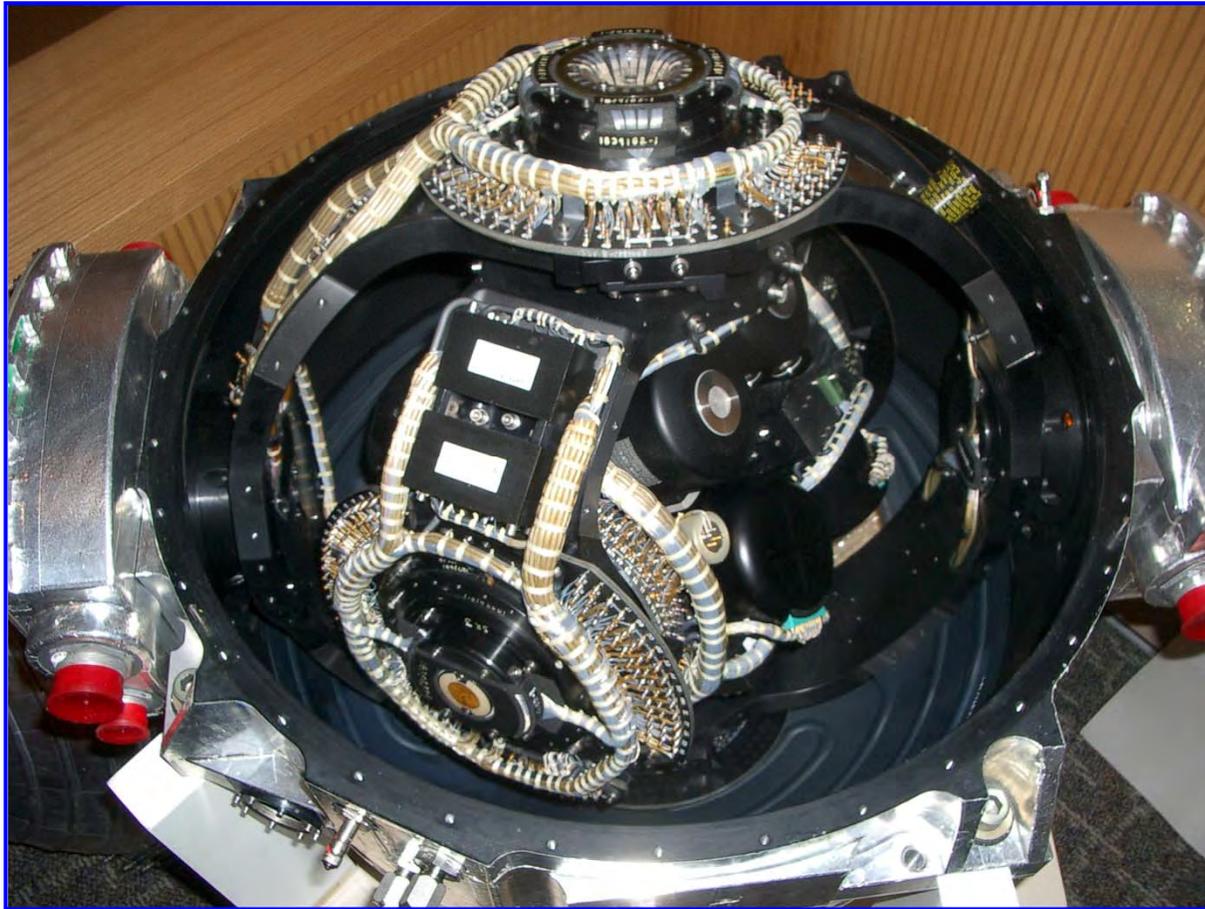
Bohnenbergersche Maschine auf Sensorfunktion reduziert



Kreiselpattform

④

Plattform mit Wendekreiseln



Analytische Plattform

⑤

Beispiel: Aerodata AeroNav

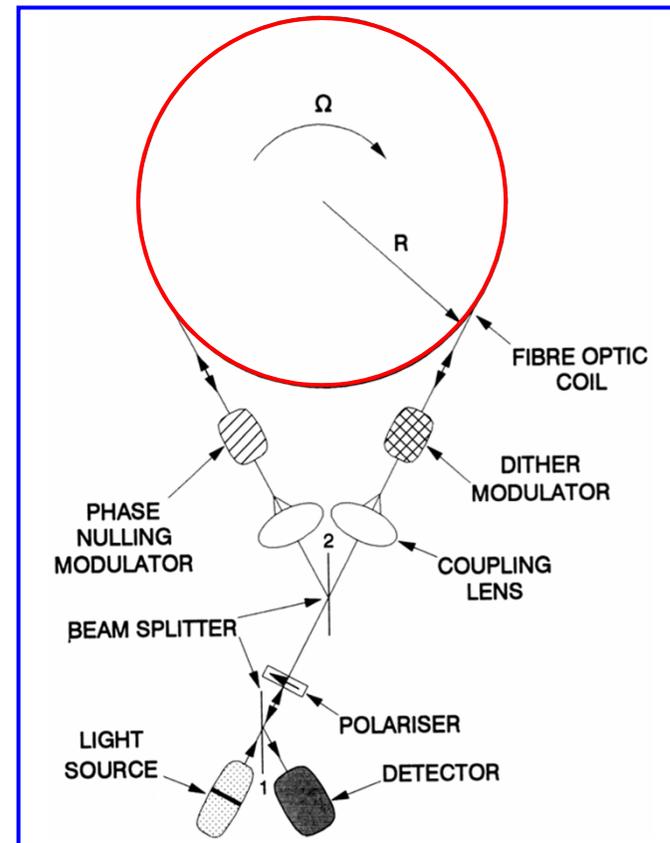
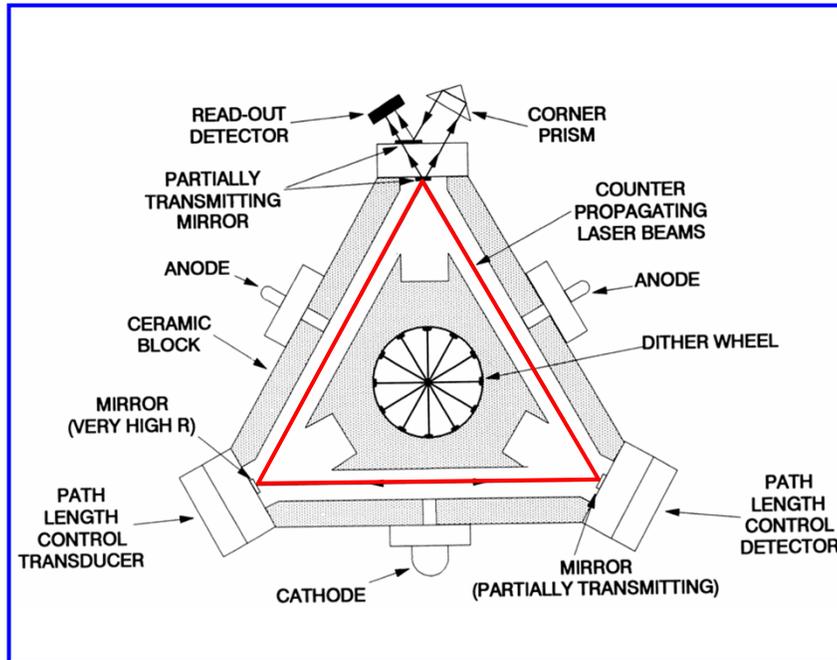


Optische Gyroskope

⑤

Laserkreisel

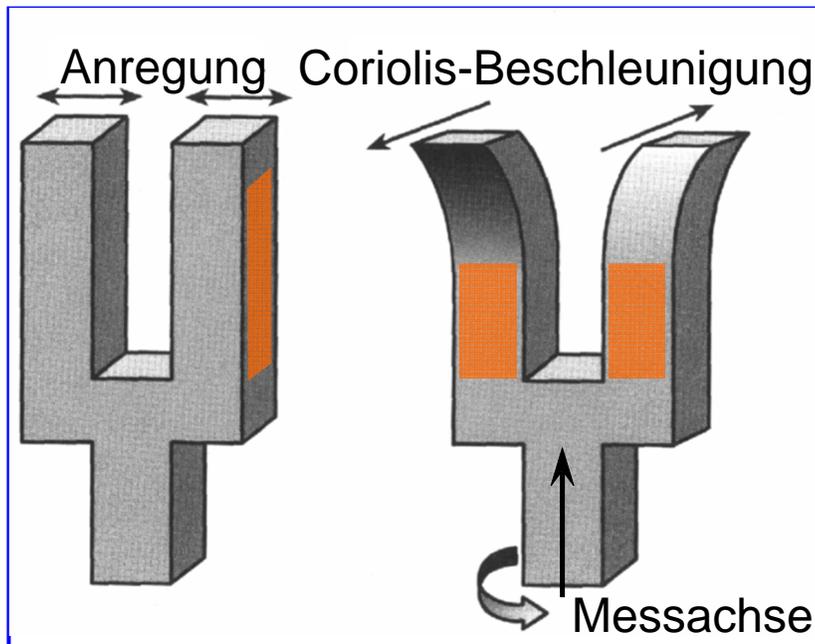
Faserkreisel



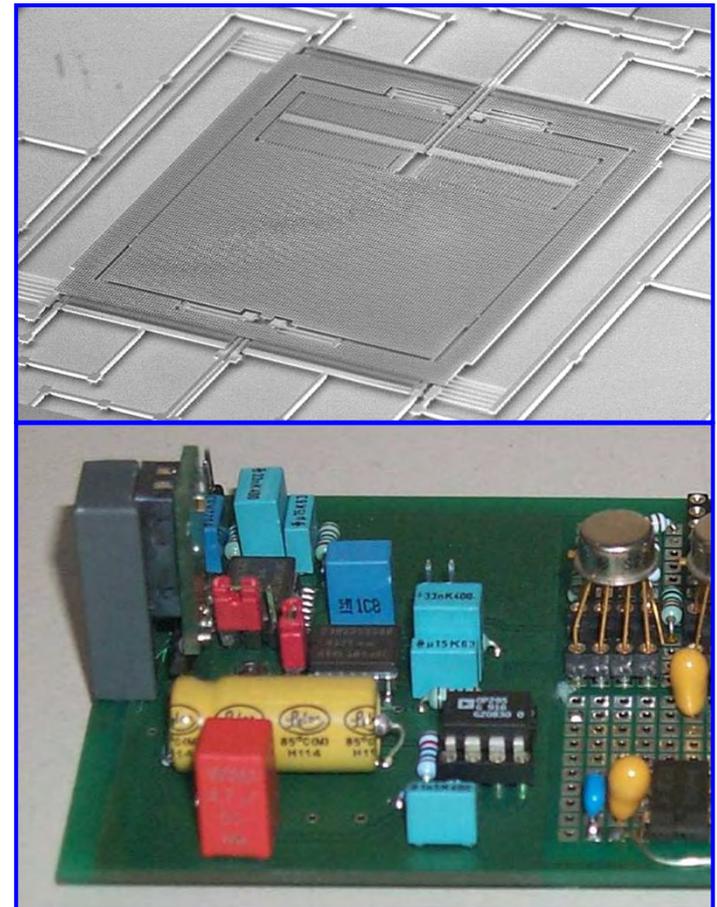
Mikromechanische Kreisel

⑥

Prinzip



Mikromechanische Realisierung



Mikromechanische Kreisel

⑥

Beispiele: Automobilnavigation, Electronic Organiser



Anwendung: Mondlandung

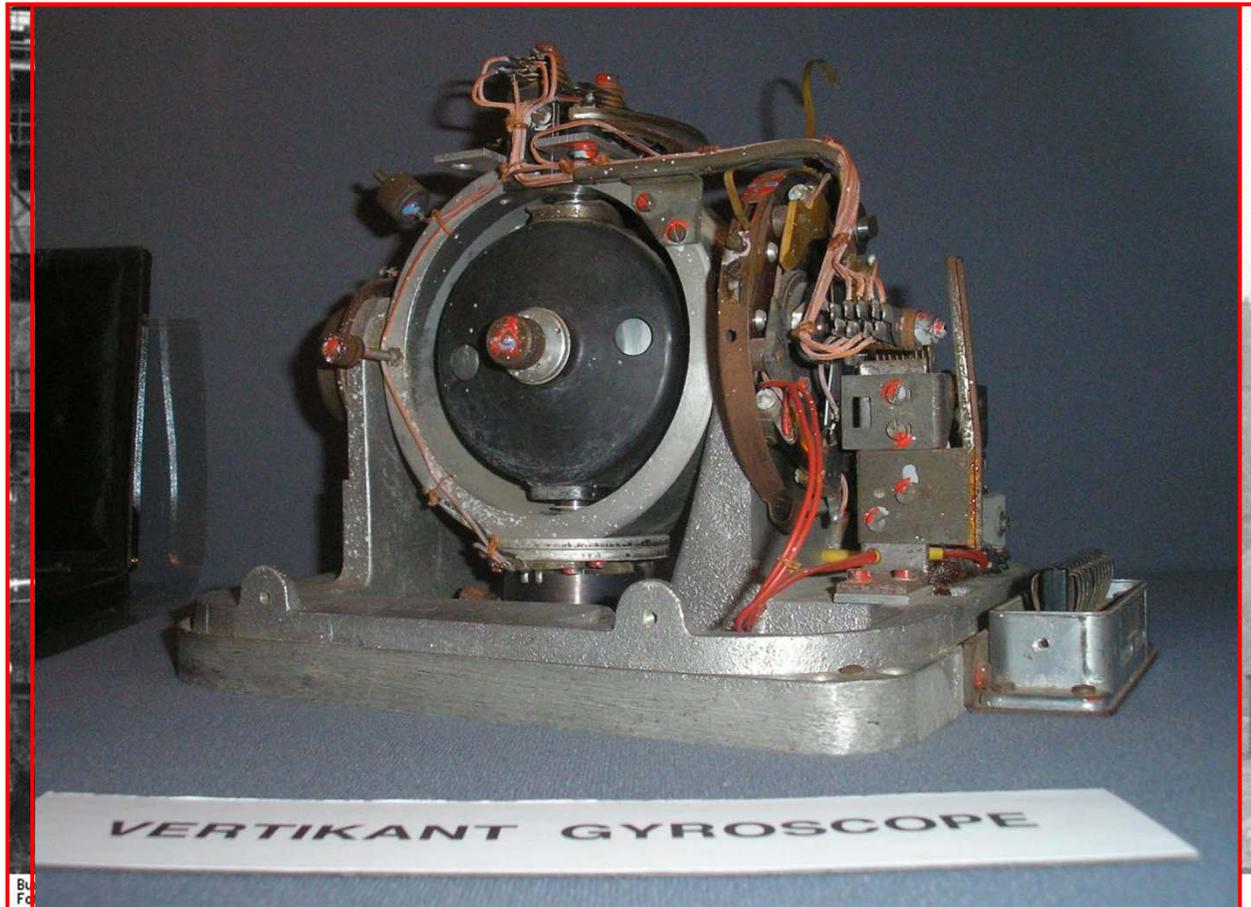
④



Erste Kreiselplattform

④

Rakete A4 (V2)



Cockpit B-29

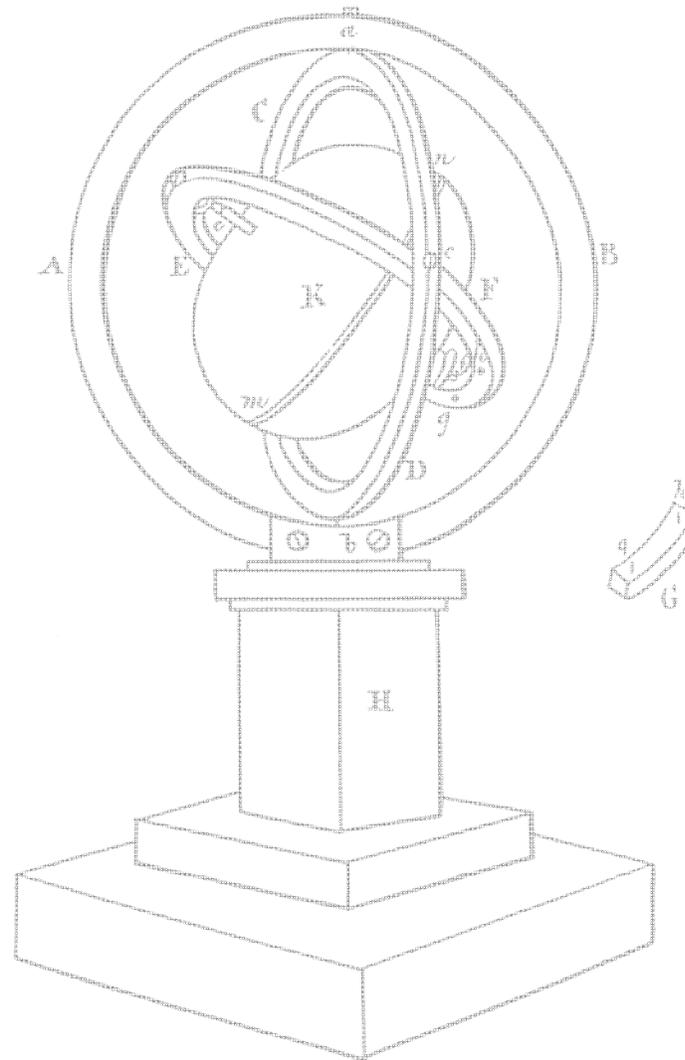
③



Cockpit B-757/B-767

⑤



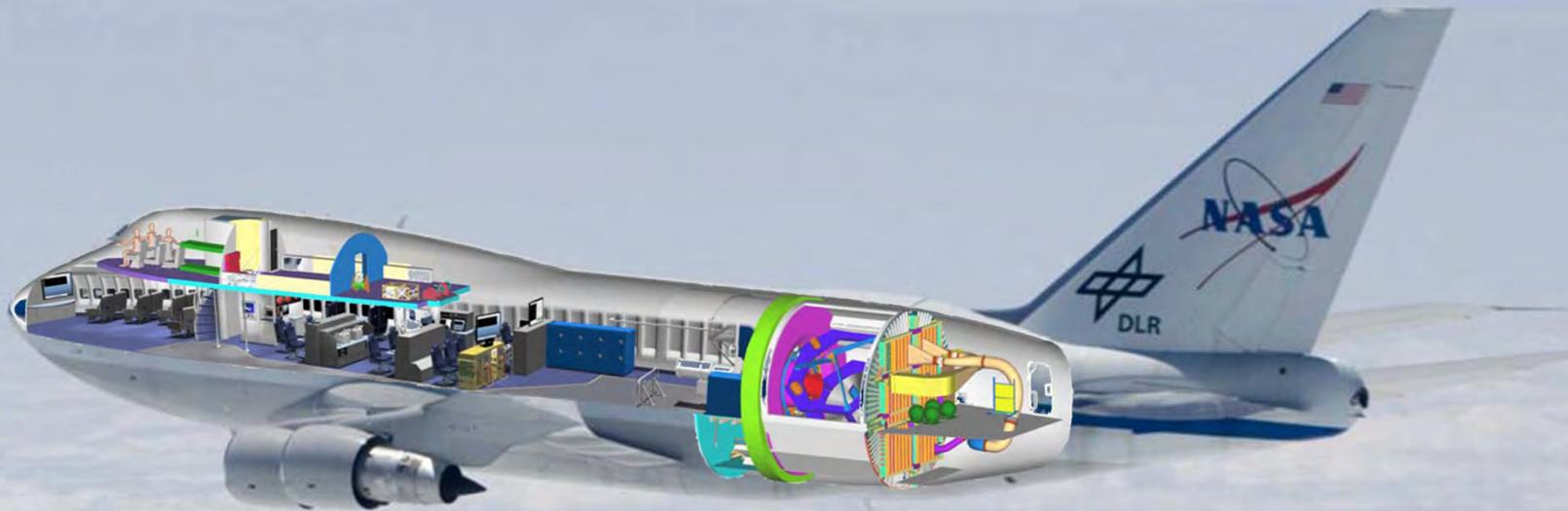




Anwendung: SOFIA

⑤

Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy



Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy

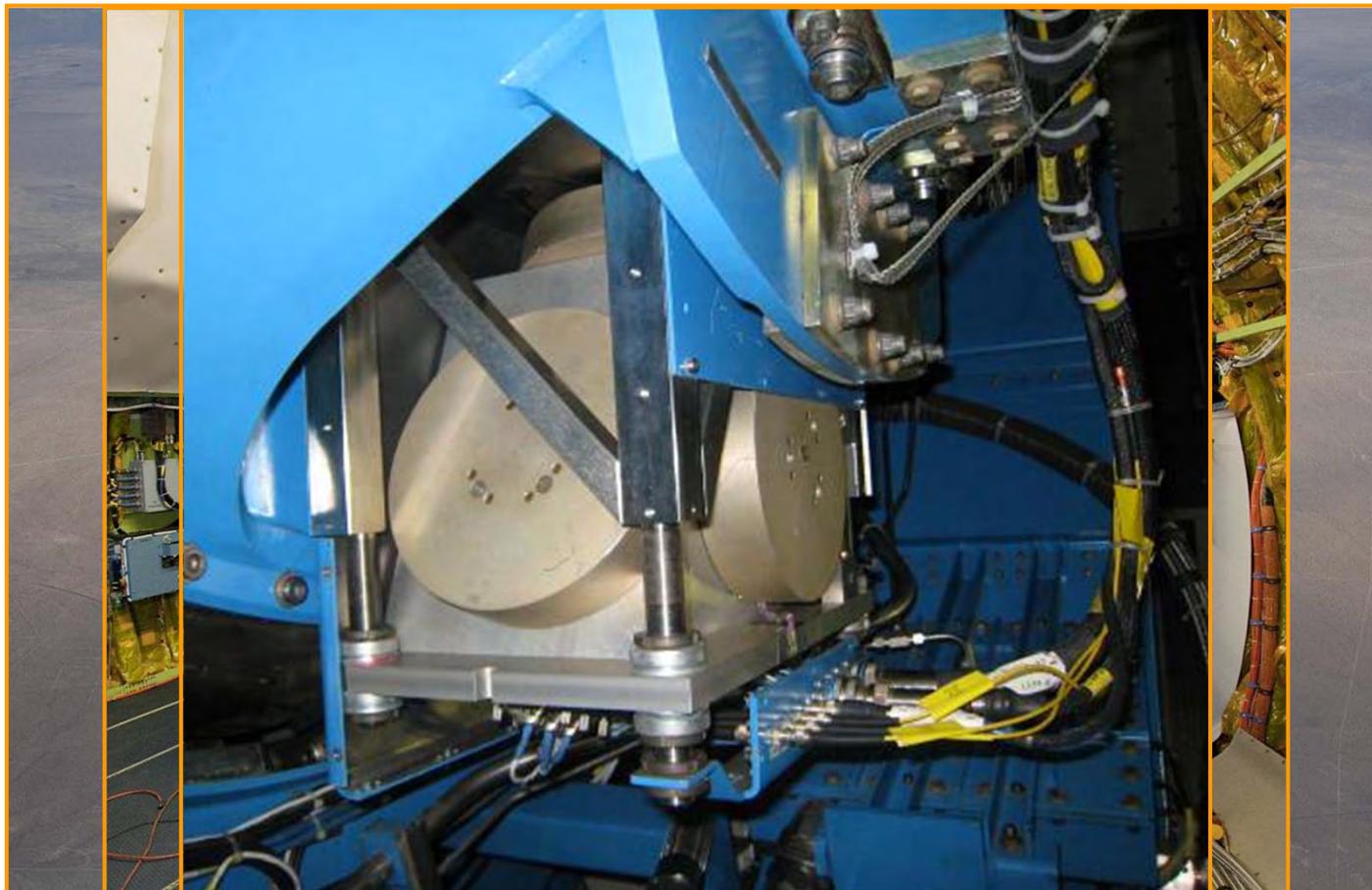




Anwendung: SOFIA

⑤

Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy



Protagonisten der Kreiseltechnik

③

H. Anschütz-Kaempfe, Kunsthistoriker
M.G. van den Bos, Theologe
J. Boykow, Schauspieler
W. v. Siemens, Unternehmer
N. Ach, Psychologe

Protagonisten der Kreiseltechnik

③ ④

Universität Göttingen

Technische Hochschule Stuttgart

N. Ach (1871-1946), Psychologe

F. Klein (1849-1925), Mathematiker

A. Sommerfeld (1868-1951), Mathematiker

Wo sind die Originale?

Identifizierte Exemplare

- 1 an J.F. Benzenberg, Düsseldorf (1810)
- 1 an J.C. Horner, Zürich (1811)
- 1 an D.F.J. Arago, Paris (1812)
- 1 an J. Playfair, Edinburgh (1812/1817)
- 1 an H.C. Schumacher, Altona
- 1 an K.F. Knorre, Nikolayev
- 1 an die Universität Tübingen (bis 1857)
- 1 an die Universität Stuttgart (1833-1966)

Verbleib bisher unbekannt



