



Stiftung
Werner-von-Siemens-Ring

Gedenkschrift

zum Wirken und zu den Verdiensten von

Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E.h.
Kurt Magnus

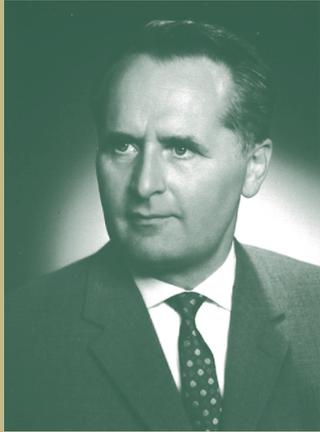
* 8. 9. 1912 † 12. 12. 2003

Kurt Magnus

Aus Anlass der Übergabe und Einweihung
einer Gedenktafel, gewidmet von der Stiftung
Werner-von-Siemens-Ring, übergeben an die
Technische Universität München im Jahr 2018

Vorwort

Dr. Jan Fischer-Wolfarth für die Stiftung Werner-von-Siemens-Ring



” KURT MAGNUS – ERFORSCHER DER
KREISEL UND SCHWINGUNGEN UND
MITBEGRÜNDER DER MECHATRONIK “

Die Stiftung Werner-von-Siemens-Ring setzt sich seit 100 Jahren für einen gesellschaftlichen Fortschritt durch Technikforschung ein. Dazu gehört neben der Verleihung des Werner-von-Siemens-Rings an lebende Persönlichkeiten für herausragende Lebensleistungen, auch die Ehrung von verstorbenen Personen, die sich um die Technik große Verdienste erworben haben, durch die Errichtung von Gedenktafeln. Denn Technik prägt unser Leben.

Sie sind Millionstel Millimeter klein und merken einfach alles: Mikroelektromechanische Systeme. Sie arbeiten in Smartphones, Tablets, Herzschrittmachern, im Auto und in Produktionsmaschinen. Sie sind mittlerweile überall. In guter Tradition des grundlagenorientierten, absichtslosen wissenschaftlichen Forschens hat Kurt Magnus mit Gesetzen der Mechanik und Angewandter Mathematik hierzu Elementares beigetragen. Mit seiner Forschung an mechanischen Systemen und der revolutionären Verbindung dieser Systeme mit elektronischen Regelkreisen ist er zum visionären Wegbereiter der Mechatronik geworden und hat Grundlegendes für unseren heutigen elektronischen Komfort geschaffen.

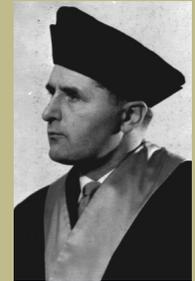
Kurt Magnus hat dazu nicht nur Fachgrenzen überschritten, sondern auch vielen Menschen gezeigt, dass es sich lohnt, in neuen Zusammenhängen zu denken und auch den Mut aufzubringen, dabei entstehende Ideen mit Leidenschaft zu verfolgen. So hat er nicht nur in der Technik geprägt, sondern auch den Geist der nachfolgenden Forschergenerationen bis heute.

Das besondere Lebenswerk von Kurt Magnus als Technikforscher war und ist ein herausragendes Vorbild. Aus diesem Grund errichtet die Stiftung Werner-von-Siemens zu Ehren von Prof. Dr. Kurt Magnus an dem von ihm gegründeten Lehrstuhl an der Technischen Universität München eine Gedenktafel. Seinen Ideenreichtum und seine Kühnheit können wir auch heute gebrauchen!

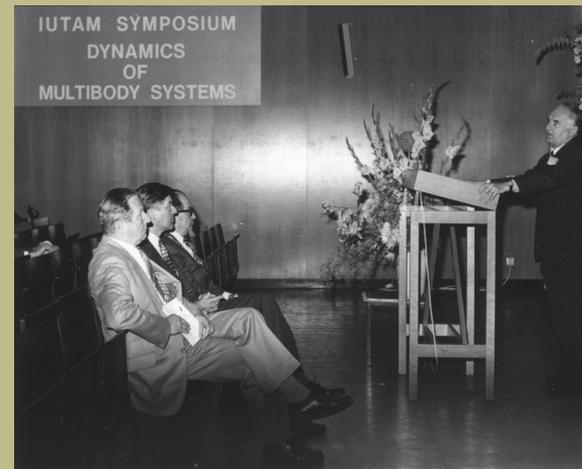
Meinen Dank für ihre Mithilfe bei der Konzeption der Gedenktafel möchte ich an die langjährigen Mitarbeiter von Kurt Magnus richten, insbesondere an Frau Prof. Dr. Eveline Gottzein für ihre sehr inspirierende Initiative und an die Autoren dieser Festschrift für ihre lebhafteste Perspektive auf das Schaffen und Wirken von Kurt Magnus.

Stationen seines Lebens

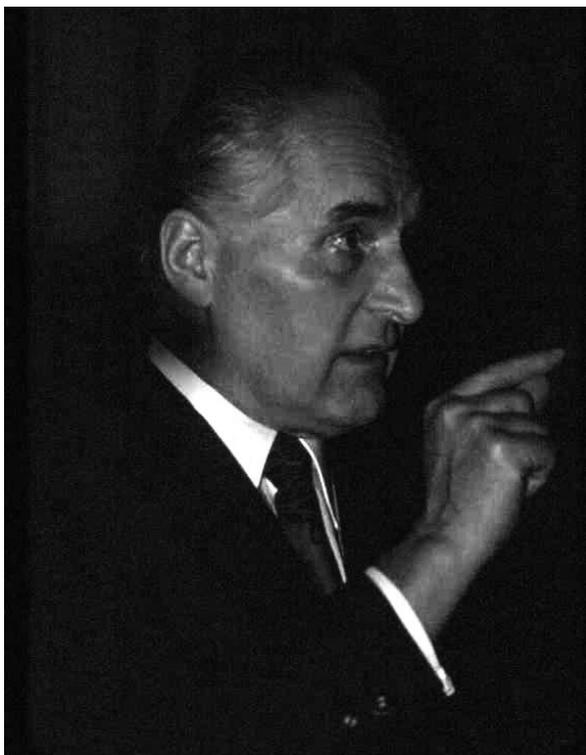
Magdeburg	1912–1932
Göttingen	1932–1942
Danzig, Bleicherode	1943–1946
Moskau, Gorodumlja	1946–1953
Freiburg	1954–1958
Stuttgart	1958–1966
München	1958–2003



*Ernennung zum Ordinarius
an der Universität Stuttgart
(1958)*



*Erstes IUTAM Symposium
über die Dynamik von
Mehrkörpersystemen (1977):
Eröffnung durch den
Vorsitzenden Kurt Magnus*



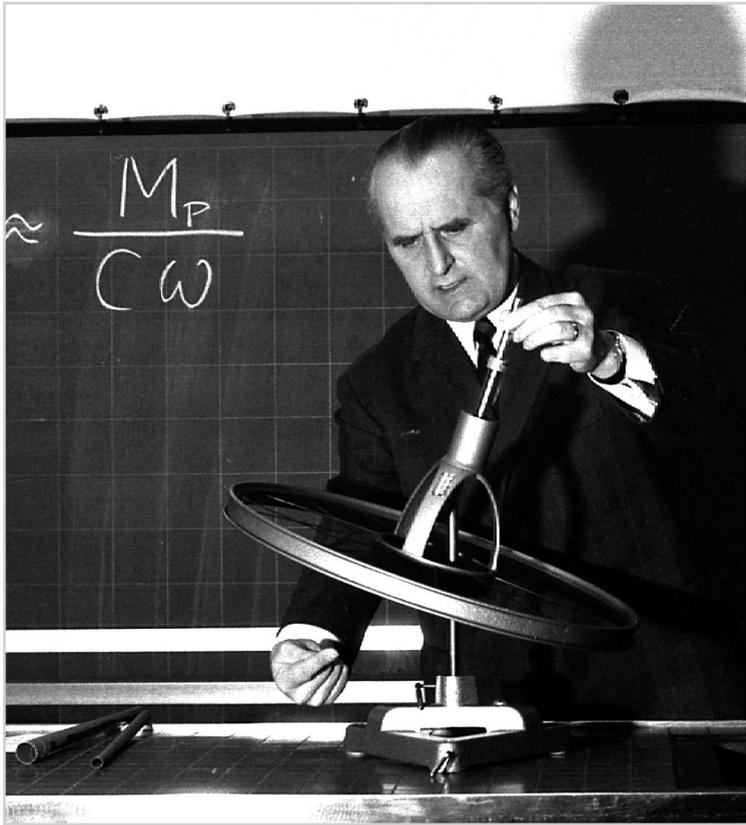
*Kurt Magnus, ein begnadeter
Hochschullehrer,
Vorlesung an der TUM*

Ad Astra

Autoren: Prof. Dr. Hartmut Bremer, Prof. Dr. Friedrich Pfeiffer,
Prof. Dr. Werner Schiehlen

1868 bezog die „Polytechnische Schule in München“ den Neureutherschen Prachtbau in der Max-Vorstadt, aufgrund allerhöchster königlicher Verordnung von Ludwig II. Das wohl berühmteste Konterfei König Ludwigs stammt von Carl Theodor von Piloty, dessen Enkel Hans fünfter Rektor der (1877 umbenannten) „Technischen Hochschule“ nach 1945 wurde. Unter seiner Ägide entstand 1952 die PERM (Prozessgesteuerte Elektronische Rechenanlage München), die erst 1974 abgeschaltet wurde. Zuvor schon, in den frühen 1970er Jahren, hatte die Deutsche Forschungsgemeinschaft Prof. Magnus eine IBM 1130 zur Verfügung gestellt. Datenträger waren Lochkarten, je Programmzeile eine Karte – damals die modernste denkbare Ausstattung. Damit war der weitere Erfolgsweg des Lehrstuhls B für Mechanik gesichert. Ein Erfolg in der Forschungsrichtung *Dynamik und Regelung mechanischer Systeme*, die Magnus bei der Lehrstuhlgründung 1966 in München weitsichtig und programmatisch formuliert und ausgebaut hatte. Und die nun mit Einsatz des Digitalrechners auf große Systeme schließlich in der rechnergestützten Mehrkörpersystemdynamik mündete, aus der auch die innovative Ingenieurwissenschaft der Mechatronik hervorgegangen ist. Mit dem internationalen IUTAM Symposium „on Multibody Dynamics“ in München fand diese Forschung 1977 einen ersten Höhepunkt. Magnus wurde 1912 in Magdeburg geboren. Dazwischen und der Lehrstuhlgründung in München liegen zwei Weltkriege.

1868 waren die Männer der ersten Stunde Johann Bauschinger (Technische Mechanik) und Ludwig Otto Hesse (Analytische Geometrie und Mechanik). Nachfolger von Hesse wurde 1875 der Mathematiker Felix Klein. Klein blieb fünf Jahre und wechselte dann über Leipzig nach Göttingen, wo er 1905 das Institut

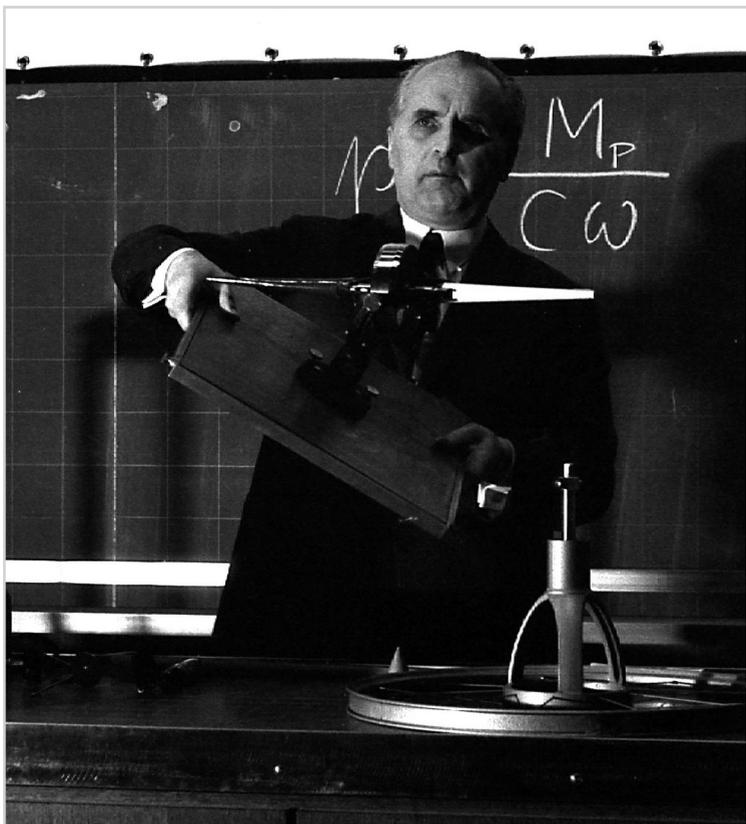


Demonstrationen zur Kreiseldynamik, wichtiger Anteil seiner Vorlesung

für Angewandte Mathematik (Lehrstuhlleitung Carl Runge) und das Institut für Angewandte Mechanik (Lehrstuhlleitung Ludwig Prandtl) gründete. Klein – ein Brückenbauer zwischen „exakten Wissenschaften“ und der „lebendigen Welt“, der (reinen) Mathematik und der technischen Anwendung. Bemerkenswert sein vierbändiges Werk (zusammen mit seinem Assistenten Arnold Sommerfeld) „Über die Theorie des Kreisels“ (1897 bis 1910), eine brillante Demonstration der Anwendung mathematischer Methoden.

1925 gründete Prandtl in Göttingen das Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung (heute Max-Planck-Institut) und gab 1934 die Lehrstuhlleitung an Max Schuler ab. Ludwig Prandtl hatte 1900 und Max Schuler 1921 bei August Föppl in München promoviert. Der Ingenieur August Föppl war 1894 Nachfolger von Bauschinger in München geworden. Er hat die Vektorrechnung, die Variationsrechnung und die Kreiseldynamik in München eingeführt. „Ich will niemandem das Recht bestreiten, die Mechanik als Teil der Mathematik zu betrachten“, sagt er, „und sie als solche vorzutragen. Dagegen muss ich es als Missgriff betrachten, wenn sich ein solcher Vortrag an Hörer wendet, die zum praktischen Handeln berufen sind und dafür Belehrung und Unterweisung suchen“ – ein Brückenbauer zwischen Technik und angewandter Mathematik. Ein typisches Beispiel Föpplerscher Vorgehensweise war 1895 die physikalisch-mathematische Erklärung des Laval-Rotors: Carl Gustav de Laval hatte 1889 Versuchsergebnisse veröffentlicht, die von der Fachwelt angezweifelt worden waren. (Eine Erklärung lieferte einundzwanzig Jahre später auch H.H. Jeffcott, weswegen der Laval-Rotor in England Jeffcott-Rotor genannt wird).

1907 hatte Max Schuler die Basis moderner Kreiselnavigation gelegt. Sein Vetter, der Kunsthistoriker Hermann Anschütz-Kämpfe, wollte gegen 1900 eine Nordpolexpedition mit einem Unterseeboot und einem richtungshaltenden Kreisel als Navigationsgerät durchführen. Nach nicht zufriedenstellenden Versuchen auf dem Starnberger See und in der Ostsee wandte er sich auf Rat Schulers dem nordsuchenden Kreisel zu und gab seine Nordpolideen auf. Aber: Die Idee, aus dem Bewegungsgemisch



Stabilisierte Kreiselplattformen, auch heute noch unverzichtbare Elemente der Luft- und Raumfahrt

von Rollen, Stampfen und Gieren die unendlich kleine Komponente der Erddrehung herausfiltern zu wollen – „diese Idee grenzt an Wahnsinn“, sagt Magnus. Max Schuler gelang dieses Bravourstück mit einer Abstimmtheorie („Schuler-Periode“ – die Kieler Firma Anschütz (Raytheon) ist auch heute noch als Hersteller präziser Kreiselkompass zum Beispiel für die Schifffahrt tätig und liefert unter anderen Kreiselkompassanlagen für die Hochseeravigation.)

1937 promovierte Kurt Magnus bei Schuler in Göttingen – unter Mitwirkung von Prandtl – mit dem Dissertationsthema *kraftgekoppelte Kreisel*. Fünf Jahre später habilitierte sich Magnus am selben Institut mit *allgemeinen Bewegungen starrer Körper in bewegten Bezugssystemen* – eine Basis der später behandelten Mehrkörpersysteme. Anschließend war Magnus Dozent in Göttingen und Danzig. Kurz vor Kriegsende wurde er einer Erprobungsstelle der Luftwaffe am Priwall in der Lübecker Bucht unterstellt und arbeitete auf dem Gebiet der Schwingungen und Kreiseltechnik in *Fliegerei und Schifffahrt*.

1945 wurde deutschen Ingenieuren gemäß Potsdamer Abkommen jede Tätigkeit auf dem Gebiet der *Fliegerei und Schifffahrt* für die nächsten zehn Jahre verboten. Deutschland wurde befreit, unter anderem auch von Dingen, die man nun nicht mehr brauchte, wie Schiffe, Flugzeuge und deren Herstellungsanlagen. Letztere wurden demontiert und abtransportiert oder zerstört. Besondere Begehrlichkeit erweckten natürlich Flugzeuge: Eine Ju 287 (Dessau, Erstflug August 1944) wurde von der Erprobungsstelle Rechlin (Mecklenburg) 1945 nach Rußland geschafft und wurde zum Düsenbomber TU 16. Die aus der ersten strahlgetriebenen He 178 weiterentwickelte Me P.1101 mutierte als Beutestück zur F 86 und zur MiG 15 – mit denen sich dann Amerikaner und Sowjets in Korea gegenseitig beschießen durften – gerade mal fünf Jahre, nachdem sie gemeinsam Deutschland niedergelassen hatten.

1946 fanden sich Magnus und Kollegen, die auch von dem Arbeitsverbot betroffen waren, in Bleicherode, einem kleinen Ort im Harz, zusammen. Um zu beratschlagen, um eine Art Ingenieur-



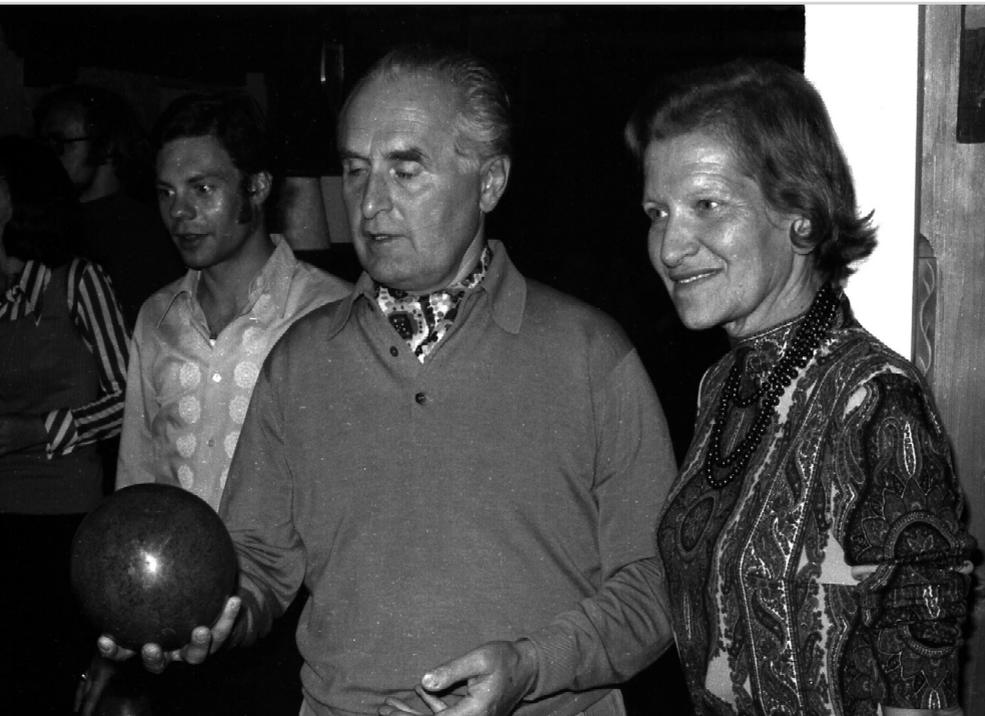
*Unübersehbare Lebensfreude
bei einem Konferenzbankett*

büro zu bilden – unter den wohlwollenden Blicken der sowjetischen Besatzer. Nach einem halben Jahr, am 22. Oktober, wurden die Wissenschaftler samt ihren Familien in Eisenbahnwaggons verladen und nach Russland verschleppt – auf eine kleine Insel im Seligersee. Und viele andere mehr besuchten Russland unfreiwillig, wie beispielsweise die Zeiss Mitarbeiter in Jena und die Junkers Mitarbeiter in Dessau (Operation osso-awiachim). Insgesamt über zwanzigtausend Deutsche, berichtet Magnus. (USA und England sind bei dieser Art Wissensabschöpfung (operation paperclip) subtiler vorgegangen).

1950 hieß es im DDR-Rundfunk, es gäbe keine Spezialisten mehr in der UdSSR, und da bekamen es die Inselgefangenen doch mit der Angst. Kurt Magnus gelang es, einen Artikel an die Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik (ZAMM) herauszuschmuggeln, als Nachricht „*Wir leben noch*“. Wie das alles weitergegangen wäre, ist ungewiss. Hier hat wohl das Schicksal mit Stalins Tod im März 1953 und der Machtübernahme durch Chruschtschow eingegriffen – im November 1953, nach mehr als sieben Jahren, konnten die meisten Häftlinge wieder heimkehren.

1954 fing Kurt Magnus zunächst in Freiburg wieder an. Kein Schaden ohne Vorteil: in Russland hatte er Gelegenheit gehabt, russische Forschungsarbeiten zu studieren. Einiges davon schlägt sich im VDI-Forschungsheft 451 (1955, „Über ein Verfahren zur Untersuchung nichtlinearer Schwingungs- und Regelungssysteme“) nieder, das seine Aktualität bis heute nicht verloren hat. Wichtig ist die Kombination von Dynamik und Regelung, die sich durch das ganze berufliche und wissenschaftliche Leben von Magnus zieht. 1958 trat Magnus die Nachfolge von Richard Grammel in Stuttgart an.

1966 gründete Magnus den Lehrstuhl B für Mechanik an der TH in München und stellte dessen wissenschaftliche Weichen. Sein Buch „*Kreisel – Theorie und Anwendungen*“ von 1971 kennzeichnet den rasanten Fortschritt auf diesem Gebiet seit Klein-Sommerfeld und Grammel, insbesondere durch die Raumfahrt jener Tage, stets in Föppl-Kleinscher Tradition:



Sportliche Wissenschaft mit Frau Christa beim fröhlichen Kegeln

» ALLGEMEINE QUALITATIVE AUSSAGEN KÖNNEN ABER FÜR EINEN KONSTRUKTEUR GERADE IM STADIUM DES ENTWURFS VON GERÄTEN NÜTZLICH SEIN UND EIN ANALYTIKER WIRD OFT DANK SOLCHER AUSSAGEN DAS VERHALTEN KOMPLIZIERTER SYSTEME BESSER ÜBERSEHEN KÖNNEN «

Kurt Magnus in „Der Einfluss verschiedener Kräftearten auf die Stabilität Linearer Systeme“ Z. angew. Math.Phys.21, 1970, S. 523–534.

„Die Kreiseltheorie erfordert *geeignete* mathematische Hilfsmittel ... Auf *speziellere* mathematische Hilfsmittel habe ich insbesondere dann verzichtet, wenn das wünschenswerte Gleichgewicht zwischen Aufwand und Erfolg verloren gegangen wäre“, heißt es im Vorwort. (Metaphorisch: Zum Pflanzen einer Blume ist der Schaufelbagger nicht das geeignete Werkzeug). Die enge Verbindung zwischen mathematischen Grundlagen und technischen Anwendungen aufzuzeigen war Magnus stets ein Anliegen. Und das nicht aus Selbstzweck, läßt doch erst die mathematische Analyse Prognosen zu und liefert die Basis technischer Innovation.

Der Kreisel hat Magnus ein Leben lang begleitet; seine erste Veröffentlichung von 1943, als Dozent in Göttingen, trägt den Titel *Der Kreisel – Eine Einführung in die Lehre vom Kreisel mit Anleitung zur Durchführung von Versuchen*, herausgegeben von der Lehrmittelstelle für Luft- und Seetechnik in Berlin. Der „Magnus-Kreisel“ wird seit den sechziger Jahren von der PHYWE in Göttingen in Lizenz vertrieben. Ein scheinbar einfacher Kardan-Kreisel ist er doch ausgeklügeltes Gerät feinmechanischer Konstruktion. Eine Fülle von Kreiseffekten läßt sich mit ihm darstellen, von einfachen grundlegenden Eigenschaften, wie etwa die richtungssuchende beim Kreiselkompass, bis hin zu

komplizierteren wie etwa die richtungshaltende durch Schleppkugelführung zur Stabilisierung. Oder das Auffinden der Drallachse mit einer Maxwellscheibe. Oder ... vieles mehr (*siehe auch [1]*). Kein Wunder, dass diese Art von Sichtbarmachung komplizierter mathematischer Hintergründe in die physikalische Realität Generationen von Studenten und Wissenschaftlern begeistert hat.

1980 wurde Kurt Magnus emeritiert. Später wurde der Lehrstuhl in „Lehrstuhl für Angewandte Mechanik“ umbenannt – ganz in der Tradition des Göttinger Instituts, an dem Magnus promoviert hatte. Kurt Magnus war nicht nur ein herausragender Forscher, sondern auch ein begnadeter Hochschullehrer. Er verstand es stets, in seinen Schülern den Funken der Begeisterung für sein Fach zu entzünden – Kreiseldynamik und Schwingungstechnik sowie Mehrkörperdynamik und Regelungstechnik – seine Bücher und Artikel sind in [2] gelistet, seine Zeitschriftenbeiträge können dort als pdf nachgelesen werden: Forschungsergebnisse, aber auch Beiträge über Theorie und Praxis, Technik und Gesellschaft, Universität und Bildung geben einen Einblick in Jahre stürmischer Entwicklung einer faszinierenden Wissenschaft.

Quellen/Weblinks

1 www.youtube.com/appliedmechanicstum

2 www.amm.mw.tum.de/personen0/emeritus0/professor-magnus/

Lebendiges Erbe

Autor: Prof. Dr. Jörg F. Wagner

Die Historie der Kreiseltechnik lässt sich in sechs Zeitabschnitte einteilen: Am Anfang standen schnell rotierend Kegel als Spielzeug und bildeten für Jahrhunderte die **erste Phase**. Die Erfindung des kardanischn gelagerten Kreisels durch J.G.F. Bohnenberger im Jahr 1810 manifestierte die beginnende **zweite Phase**, die durch gründliche mathematische Analysen der Kreiseldynamik und L. Foucaults Gyroskop geprägt war. Ab Beginn des 20. Jahrhunderts kam es zur technischen Nutzung von Kreiseln, besonders in der Navigation. Das legendäre Ringen von E. Sperry und H. Anschütz-Kaempfe um den ersten nutzbaren Kreiselkompass markierte dabei die anbrechende **dritte Phase**, in der mechanische Komponenten die Kreiselgeräte noch dominierten. Mit der Entwicklung der ersten Inertialplattformen begann um 1945 die **vierte Phase**, in der elektrische Komponenten unverzichtbar wurden. Die Forderung nach noch zuverlässigeren und wirtschaftlicheren Kreiselgeräten führte im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts, die **fünfte Phase**, zur Transformation dieser Instrumente in eine Kombination aus Rechenalgorithmen, Mikroprozessoren und optischen Sensoren. Leistungsstarke Mikrocomputer und Inertialsensoren auf Basis der Mikrosystemtechnik (sog. MEMS-Sensoren) ließen in den letzten 15 Jahren, die aktuelle, **sechste Phase**, Gyroskope schließlich zum Massenprodukt mit breiter, vielseitiger Anwendung werden.

Das wissenschaftliche Werk von Kurt Magnus ist mit all diesen Epochen verbunden: Seine Zeit an der Universität Göttingen stand noch in der Tradition von F. Klein und A. Sommerfeld aus der zweiten Phase, sein Lehrer M. Schuler war weltweit ein Protagonist der dritten. Der Schwerpunkt der Beiträge von K. Magnus zur Kreiseltechnik lag in der vierten Phase, er ebnete seinen Schülern den Weg in die fünfte sowie sechste, und mit Kreiseln aus der ersten Epoche war er ohnehin vertraut. Unterstützt auch durch sein großes didaktisches Geschick wurde K. Magnus so wie kaum ein anderer zum Brückenbauer von den Anfängen der Kreiseltechnik zur breiten Anwendung in der heutigen Zeit. Sein zeitlos gewordenes Buch „Kreisel, Theorie und Anwendungen“^[1] dokumentiert diese Arbeit ausführlich.

Der Beitrag von K. Magnus zu diesem anspruchsvollen Gebiet der Mechanik geht aber noch weiter: Kreiselgeräte aus der vierten Phase stellen frühe Exemplare mechatronischer Systeme dar. K. Magnus hat hier deutlich gezeigt, dass ein gründliches Verständnis und eine saubere Modellierung des mechanischen Teils dieser Systeme Grundvoraussetzung für deren spätere Leistungsfähigkeit ist. So hat er auch der Mechatronik hier wichtige Impulse gegeben. Ebenso ein Gesichtspunkt ist, dass Inertialplattformen oder auch der kardanischn gelagerte Kreisel Prototypen von Mehrkörpersystemen darstellen. Insofern war es nur konsequent, dass K. Magnus sich in seinen Jahren in München parallel zur fünften Phase der Kreiseltechnik auch diesem Gebiet wissenschaftlich zugewandt hat – ebenso erfolgreich wie nachhaltig. Und schließlich sind hier auch seine Arbeiten zur Schwingungslehre zu nennen, denn ohne die damit einhergehenden Methoden ist an eine Entwicklung inertialer MEMS-Sensoren nicht zu denken.

An drei Beispielen soll vor diesem Hintergrund gezeigt werden, wie die wissenschaftliche Arbeit von Kurt Magnus bis heute unmittelbar nachwirkt:

1. Im Jahr 1965 ist K. Magnus Mitbegründer des „Fachausschusses 8“ der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V. (DGON). Von 1966 bis 1971 leitet er dieses Gremium. Aus dessen Tagungen geht 1971 das „Symposium über Kreiseltechnik“ hervor, das bis heute existiert und inzwischen den Namen „DGON Inertial Sensors and Systems (ISS)“ trägt. Im Jahr 1972 übergibt K. Magnus das Symposium seinem Schüler H. Sorg, der diese Veranstaltung zu einem zweitägigen Kongress ausbaut, an dem inzwischen jedes Jahr regelmäßig rund 200 Personen teilnehmen. Die Zahl vertretener Nationen ist hierbei stetig angestiegen und liegt inzwischen bei über 20. Die Proceedings aus bisher 879 Tagungsbeiträgen stellen eine einzigartige Sammlung zu Grundlagen und Anwendungen der Inertialtechnik dar und behandeln die genannten Phasen 4 bis 6 in großer Breite^[2]. **Bild 1** zeigt hierzu die Entwicklung der jährlichen Anteile der einzelnen Kreiseltypen an den Tagungsbeiträgen von 1965 bis heute.

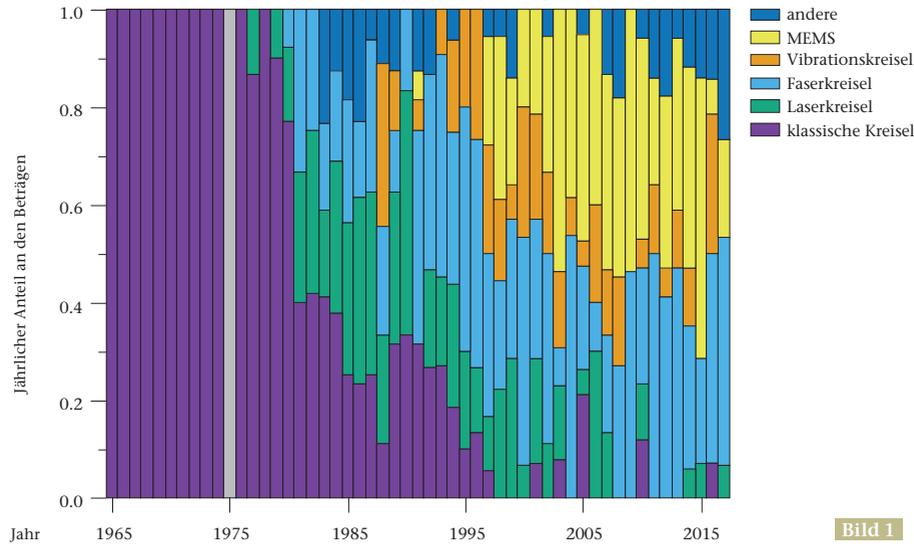


Bild 1

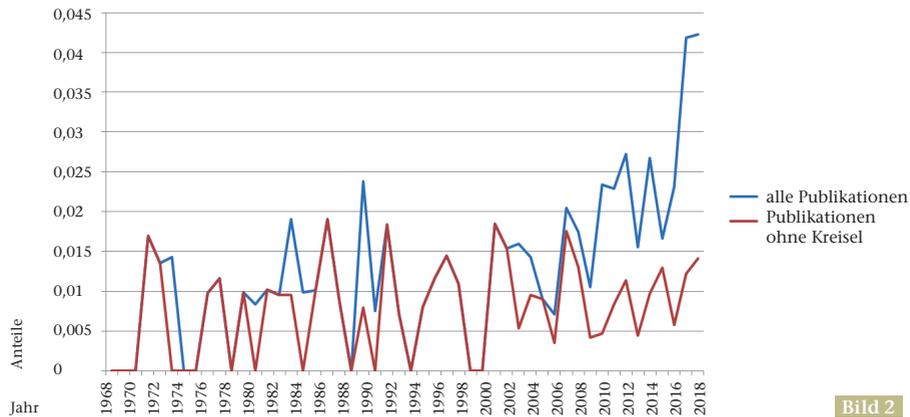


Bild 2

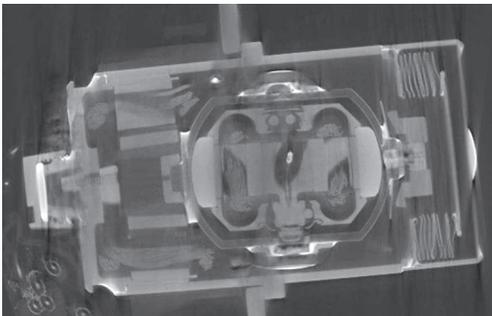


Bild 3

2. Die traditionelle Inertialnavigation beruht auf der Modellvorstellung, dass das betrachtete Fahrzeug ein einzelner starrer Körper ist und seine Inertialsensoren auf einen Referenzpunkt konzentriert sind. Die Verfügbarkeit der kleinen, leichten MEMS-Sensoren erlaubt es, von dieser Annahme abzugehen und die Bewegung formveränderlicher Strukturen zu betrachten. In der experimentellen Schwingungsanalyse ist ein solcher Ansatz auf Basis räumlich verteilter Beschleunigungsmesser etabliert. Die inertielle Bewegungserfassung von Mehrkörpersystemen mit großen Drehbewegungen bedarf aber in der Regel auch räumlich verteilter Kreisel^[3]. Welche Entwicklung in den letzten Jahren hier angestoßen wurde, illustriert der Einsatz von Inertialsensoren zur Bewegungserfassung biomechanischer Strukturen. Bild 2 zeigt den jährlichen Anteil von Publikationen im renommierten Journal of Biomechanics, die auf Inertialsensorik basieren. Auch hier werden reine Beschleunigungsmessersysteme seit vielen Jahren verwendet, deren Bedeutung ist aber weitgehend konstant (untere Kurve). Der Anteil aller Publikationen, also unter Einschluss von Gyroskopen, steigt seit 10 Jahren hingegen stark an (obere Kurve). Es sind also die Kreiselensoren, die diese Entwicklung ausgelöst haben.

3. Ein letztes Beispiel stellt das BMBF-geförderte Projekt Gyrolog dar (www.gyrolog.de). Ziel dieses Vorhabens ist es, die von K. Magnus und H. Sorg aufgebaute technische Kreiselsammlung mit Hilfe der Photogrammetrie und Computertomographie in 3D zu digitalisieren. Damit sollen die Sammlungsexponate für Technikhistoriker, Museumspädagogen und Technikdidaktiker leichter zugänglich gemacht werden. Zugleich wird die Absicht verfolgt, Kreiselgeräte als eher unscheinbare, jedoch hoch komplexe Objekte einer Schlüsseltechnologie des 20. Jahrhunderts aus ihrer „black box“ zu befreien und so auch das Verständnis für ihre modernen, mechatronischen Pendanten des 21. Jahrhunderts zu befördern. Bild 3 zeigt hierzu das computertomographische Schnittbild durch einen Wendekreisel aus den 1970er Jahren.

[1] Magnus, K.: *Kreisel, Theorie und Anwendungen*. Berlin [u.a.]: Springer, 1971.

[2] Wagner, J.F.; Perlmutter, M.: *The ISS Symposium Turns 50: Trends and Developments of Inertial Technology during Five Decades*. *European Journal of Navigation* 13 (2015), Nr. 3, S. 13–23.

[3] Wagner, J.F.: *Adapting the Principle of Integrated Navigation Systems to Measuring the Motion of Rigid Multibody Systems*. *Multibody System Dynamics* 11 (2004), S. 87–110.

Bild 1: Kreiseltypen des Symposiums „Internal Sensors and Systems“

Bild 2: Anteil von Publikationen des Journal of Biomechanics auf Basis von Inertialsensorik.

Bild 3: Schnittbild des Wendekreisel Teldix RWK 100 (Länge ca. 4 cm).

Herausgeber

Stiftung Werner-von-Siemens-Ring
Steinplatz 1 – 10623 Berlin
www.siemens-ring.de

Design Layout:
Burga Fillery, www.milch-berlin.de



