

SICHT



F

U.S. NAVY PHOTO BY MASS COMMUNICATION SPECIALIST 3RD CLASS JAROD HODGE

KNALLEFFEKT

Ein Jet, der mehr als „Mach 1“ fliegt, ist schneller als der Schall.

FELDFORSCHUNG

VON ROBERT PRAZAK

Was eine schlichte Windmühle im Marchfeld auslösen kann. Für den fünfjährigen Ernst Mach war 1843 der Anblick der schwingenden Räder und Scheiben ein dermaßen beeindruckendes Erlebnis, dass sein Interesse an Technik und den Ursachen physikalischer Vorgänge geweckt wurde – mit weitreichenden Folgen: Mach wurde einer der bedeutendsten österreichischen Wissenschaftler. Sein Name ist heute aufgrund der in der Luftfahrt verwendeten Mach-Zahl ein Begriff, doch würde man seinem universell forschenden Geist Unrecht tun, ihn auf einen Bereich zu beschränken.

Mach, der am 19. Februar 1916 verstarb, forschte und experimentierte über die Disziplinen hinweg, in Physiologie, Biologie, Psychologie und Physik, erläutert Friedrich Stadler, Professor für Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie an der Universität Wien sowie Vorstand des Instituts Wiener Kreis. Die Wirkung von Mach auf viele Bereiche der Wissenschaften ist enorm – von der Physik, Ökonomie und den Sozialwissenschaften bis hin zu Sinnesphysiologie, Medizin und sogar zur Literatur der Moderne. Robert Musil dissertierte über Mach, Literaten wie Hugo von Hofmannsthal saßen in seinen Vorlesungen, und Arthur Schnitzler verarbeitete die Wahrnehmungspsychologie in seinen Monologen. Nicht zuletzt war Mach einer der wichtigsten Vorläufer des legendären philosophischen Zirkels „Wiener Kreis“, obwohl auch Defizite in seinen Ansätzen gesehen wurden, etwa bezüglich der modernen Logik. 1928 wurde der „Verein Ernst Mach“ unter dem Vorsitz von Moritz Schlick gegründet, der bis 1934 als eine Art Sprachrohr für den Wiener Kreis diente. ▶

Mitte Februar jährt sich der Todestag des großen Physikers Ernst Mach zum 100. Mal.

Ob Flugverkehr oder die Grundlagen der Kosmologie – das Werk des Österreichers wirkt bis heute nach.

So wie Mach in vielen Wissenschaften großen Einfluss hatte, war er auch in der Physik – seinem Ursprungsgebiet – in unterschiedlichen Bereichen tätig. Schon als junger Doktorand gelang es ihm, den Doppler-Effekt (Veränderung der Frequenz einer Welle je nach Veränderung des Abstands von Sender und Empfänger) mit einer einfachen Apparatur zu beweisen – führende Wissenschaftler hatten daran gezweifelt. Ein wegweisender Erfolg, meint der Physiker Herbert Balasin vom Institut für Theoretische Physik der Technischen Universität Wien. Mach ersann äußerst kreative Versuchsanordnungen, um auf einfache Weise bestimmte Effekte nachzuweisen. „Er war gegen jegliche Metaphysik eingestellt“, sagt Balasin. „Die Vorstellung, etwas zu verwenden, das es nicht gibt, war ihm zuwider.“ Das prägte noch viele Forscher nach ihm, beispielsweise Werner Heisenberg und Albert Einstein.

Mach erforschte nicht nur die physikalischen Phänomene von Projektilen, die mit Überschallgeschwindigkeit fliegen, sondern auch die entsprechende Versuchstechnik, um deren Bewegung und Flugverhalten erfassen zu können. 1884 gelang Mach die erste Aufnahme eines frei fliegenden Projektils mit Schattenaufnahmen, auf dem die Konturen des Projektils sichtbar sind. 1887 machte er die Druckwelle eines Überschallprojektils („Mach-Kegel“) durch sogenannte Schlierenaufnahmen sichtbar. „Die von Ernst Mach entwickelte Kurzzeitmesstechnik kommt in vielen Forschungsfeldern noch heute zum Einsatz“, sagt Frank Schäfer, stellvertretender Vorstand des Ernst-Mach-Instituts im deutschen Freiburg. Seine Versuchstechnik erlaubte es Mach, gasdynamische Vorgänge zu untersuchen und so ein grundlegendes Verständnis für Stoßwellen und deren Ausbreitung zu schaffen. Diese Untersuchungsmethoden haben bis heute große Relevanz für viele Bereiche. Am Ernst-Mach-Institut werden diese speziell für Grundlagenforschung in Verteidigung, Raumfahrt und Geowissenschaften eingesetzt. Natürlich stehen den Forschern inzwischen Hochgeschwindigkeitskameras zur Verfügung, die bis zu zehn Millionen Bilder pro Sekunde ermöglichen, doch das Prinzip ist gleich geblieben: Wie zu Zeiten Ernst Machs werden unter anderem Beschleunigung und Flugverhalten des Projektils untersucht.

Auch die Relativitätstheorie war von Ernst Mach inspiriert: Vor 100 Jahren beeinflusste Albert Einstein mit seiner Allgemeinen Relativitätstheorie (kurz ART) nachhaltig: Gravitation wird darin als Krümmung von Raum und Zeit verstanden, nicht als Kraft im ursprünglichen Sinn. Eine Sonnenfinsternis im Jahr 1919 diente als erster wichtiger Test für die Relativitätstheorie, denn dadurch konnte bewiesen werden, dass Licht durch Gravitation abgelenkt wird.

Einstein war von Mach angeregt worden, indem er die von Newton angenommene Existenz eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit nicht akzeptieren wollte. Er trat in Opposition zur klassischen Mechanik des Giganten der Physik und verwies auf die Massen im Universum – also Sterne, Planeten und andere Himmelskörper – als wesentliche Faktoren für die Gesetze der Physik. Das war

in jedem Fall visionär und bahnbrechend. Dieses sogenannte Mach'sche Prinzip besagt, vereinfacht formuliert, dass die Ursache der Trägheit – das heißt, jener Widerstand, den ein Körper gegen Bewegungsänderung zeigt – durch die Gesamtheit der Massen im Weltall hervorgerufen wird. Und genau das war ein wichtiger Leitgedanke für Einstein bei der Aufstellung der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Hat aber das Mach'sche Prinzip tatsächlich direkten Eingang gefunden in die Relativitätstheorie von Einstein? Der Physiker Peter Christian Aichelburg, emeritierter Professor für theoretische Physik an der Universität Wien, antwortet mit „Jein“: Es hänge davon ab, was darunter verstanden werde: Nein, weil die Materieverteilung im Universum nicht eindeutig die Geometrie des Raums und damit das Verhalten von Körpern bestimmt. Ja, weil die Geometrie des Raums um eine rotierende Masse mitgezogen wird, was etwa einen Kreisel beeinflusst – dieser sogenannte Lense-Thirring-Effekt (übrigens ebenfalls eine österreichische Leistung) wurde tatsächlich beobachtet. Sicher sei aber, dass das Mach'sche Prinzip ein Leitgedanke für Einstein war. Einstein schrieb 1913, noch bevor er die endgültigen Feldgleichungen hatte, sogar an Mach: „Es ergibt sich mit Notwendigkeit, dass die Trägheit in einer Art Wechselwirkung der Körper ihren Ursprung hat, ganz im Sinne Ihrer Überlegungen zum Newton'schen Eimerversuch.“

Interessanterweise war Mach selbst wenig begeistert davon, als Ideengeber für die Relativitätstheorie zu gelten – auf begeisterte Briefe von Einstein reagierte er gar nicht oder ausweichend. Einstein hingegen blieb Mach verbunden: „Damit seine Theorie dem Mach'schen Prinzip genügt, hat Einstein die kosmologische Konstante eingeführt“, erklärt Aichelburg. Diese Konstante war eine Art Kunstgriff, die, mathematisch betrachtet, gewährleistete, dass wir in einem stabilen Universum leben – und nicht etwa in einem expandierenden, eine Vorstellung, die Einstein gar nicht gefiel. Schließlich jedoch verwarf Einstein das Konstrukt als unsinnig.

Im Gegensatz zu anderen Forschern war Mach auch an der Geschichte der Wissenschaften interessiert, weil er die Meinung vertrat, dass die historisch-kritische Reflexion der Entwicklung von Hypothesen und Begriffen wichtig sei. „Mach war ein Anhänger des Öko-►

QUERDENKER
Der Forschungseifer von Ernst Mach umfasste viele Disziplinen.

Stationen eines Physikers

Die wichtigsten biografischen Details aus dem Leben Ernst Machs.

Im Februar 1838 wurde Ernst Mach im mährischen Chirlitz (heute Chrlice) in der Nähe von Brünn geboren. Die Familie übersiedelte zwei Jahre später nach Untersiebenbrunn im Marchfeld. Mach wurde vorwiegend daheim vom Vater unterrichtet und absolvierte eine Lehre als Tischler. Er legte dann aber am Gymnasium in Kremsier (Mähren) die Reifeprüfung ab und begann in Wien Mathematik und Physik zu studieren. Schon als Student konnte er den Doppler-Effekt mit einem selbst konstruierten Apparat nachweisen. Anfang 1860 wurde Mach Doktor der Philosophie, danach war er als Privatdozent tätig. 1864 wurde er Ordinarius für Mathematik an der Universität Graz, drei Jahre später auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik in Prag berufen. In diesem Jahr heiratete Mach Ludovica Marussig, mit der er fünf Kinder hatte. Mach wurde später Dekan der Philosophischen Fakultät und 1879 Rektor der Prager Universität. 1895 kehrte er an die Universität Wien zurück, an den für ihn geschaffenen Lehrstuhl für „Philosophie, insbesondere Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften“. 1896 wurde er Hofrat, lehnte aber den angebotenen Adelstitel ab. 1898 erlitt Mach im Alter von 61 Jahren einen Schlaganfall, der ihn halbseitig lähmte. 1901 musste er in Pension gehen, war aber geistig bei bester Gesundheit und schrieb zahlreiche Studien, ehe er 1913 zu seinem Sohn nach München übersiedelte, wo er am 19. Februar 1916 starb.



Der große Wurf

Was Mach 1 und Mach 2 bedeuten und was dies mit dem Durchbrechen der Schallmauer zu tun hat.

Die „Mach-Zahl“ gibt das Verhältnis einer Geschwindigkeit (v) zur Schallgeschwindigkeit (c) im umgebenden Fluid (etwa Luft) an. Die Mach-Zahl ist jener Faktor, mit dem sich ein Flugobjekt (zum Beispiel ein Flugzeug oder ein Projektil) schneller als der Schall bewegt. Die Mach-Zahl ist damit eine sogenannte dimensionslose Kennzahl der Geschwindigkeit – es ist eine Zahl ohne weitere Angabe. Der Hintergrund: Ernst Mach hatte erkannt, dass Projektile eine kegelförmige Druckwelle erzeugen, sogenannte Mach-Kegel. Diese Stoßwellen können als Überschallknall wahrgenommen werden. „Mach 1“ bedeutet Schallgeschwindigkeit, diese hängt nur von der Temperatur und nicht vom Luftdruck ab. „Mach 2“ ist doppelte Schallgeschwindigkeit und so weiter. Wichtig ist die Zahl vor allem in der Luftfahrt für die Fluggeschwindigkeit schneller Jets in großer Flughöhe. Die Schallgeschwindigkeit bei minus 50 Grad beträgt 1079,3 km pro Stunde. Fliegt ein Flugobjekt schneller als der Schall, überholt es die eigenen Schallwellen – dieses Durchbrechen der „Schallmauer“ ist mit einem Knall verbunden und wurde erstmals 1947 in den USA erreicht. Unter bestimmten Voraussetzungen ist dies sichtbar, wenn durch die Kondensation von Wasser ganz kurz eine Art Scheibe sichtbar wird.

„ $Ma = v/c$ “

nomieprinzips, wonach nur das behandelt und akzeptiert werden sollte, was ohne metaphysische Zusatzannahmen auskommt“, sagt Friedrich Stadler. Vor diesem Hintergrund konstruierte er als Experimentalphysiker selbst Apparate mit dem Ziel, Wissenschaft „vor Augen“ zu führen – zum Beispiel zur Bewegungsempfindung und Gestaltwahrnehmung.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Auseinandersetzung mit einem anderen führenden Physiker zu sehen: Mit Ludwig Boltzmann stritt Mach leidenschaftlich über die Existenz von Atomen. „Mach hat aus einer grundsätzlich positivistischen Einstellung heraus den Atombegriff abgelehnt“, sagt Franz Embacher vom Institut für Mathematik der Universität Wien. So ist denn auch das Bonmot überliefert, dass Mach angeblich, wenn er auf Atome angesprochen wurde, gerne repliziert haben soll: „Haben S’ schon eins gesehen?“

Ausgerechnet Boltzmann wurde Nachfolger von Mach auf dem Lehrstuhl für Naturphilosophie an der Universität Wien. Sein Vorgänger Mach war es allerdings noch gewesen, der für eine Annäherung zwischen den aufstrebenden Naturwissenschaften und der Philosophie sorgte, die bis dahin neue Erkenntnisse kaum berücksichtigt hatte. Dabei war der Schrecken der Wiener Philosophen groß, als 1895 ausgerechnet ein

Physiker zur Philosophie berufen wurde. „Diese betrachtete sich damals als abgehoben von der empirischen Forschung, doch Mach war der Meinung, dass sie sich nicht von neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen wie zum Beispiel von Helmholtz, Fechner, Darwin oder Doppler absentieren kann“, sagt Stadler.

Erstaunlich war darüber hinaus das gesellschaftliche Bewusstsein von Mach, der ein Anhänger von Aufklärung und Sozialreformen war – ein Wesenszug, der damals bei Naturwissenschaftlern äußerst selten war. Etwas zugespitzt formuliert, darf Mach zudem als Philosoph des Austromarxismus gelten, obwohl er auch in der liberalen Nationalökonomie Anklang fand. Von Lenin wurde Mach heftig attackiert, der ihm in seinem Werk „Materialismus und Empirio-kritizismus“ vorwarf, die Existenz von Materie außerhalb der Wahrnehmung zu leugnen – mit entsprechenden Äußerungen hat-

te Mach vor dem Ersten Weltkrieg in Russland eine große Anhängerschaft gefunden, sowohl bei den Bolschewiki als auch bei den Menschewiki. Heute sei die Bedeutung von Mach in Osteuropa noch immer spürbar, so Stadler, beispielsweise in Ungarn und Tschechien. Bis zur Wende 1989/90 musste in der Philosophie stets Lenin nachgebetet werden, dennoch wurde bereits davor in Ansätzen eine Mach-Forschung betrieben. Mach war laut Stadler eine „subversive Alternative zu Lenin“.

„Ernst Mach hat eine philosophische Haltung gegenüber den Naturwissenschaften geprägt“, meint Franz Embacher. Die besondere Aktualität von Mach liege darin, dass nach wie vor die Idee einer gemeinsamen Betrachtung aller Wissenschaften im Gegensatz zu einer immer tieferen Spezialisierung diskutiert wird, glaubt Stadler. Mach meinte, es müsste trotz aller Spezialisierung eine gemeinsame Sprache und Methode für die Wissenschaften gefunden werden. Und Herbert Balasin ergänzt: „Ähnlich wie an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert glauben wir auch heute, dass das Ende der Wissenschaft erreicht wird. Doch wenn ich eine Tür öffne, befinden sich dahinter drei andere verschlossene, und genau das ist ja das Spannende an der Wissenschaft.“ ■

Zum Jubiläumsjahr

► Von 16. bis 18. Juni findet an der Universität Wien und an der Akademie der Wissenschaften anlässlich des 100. Todestages die „Ernst Mach Zentenariums-Konferenz 2016“ statt, bei der Leben, Werk und Einfluss des Wissenschaftlers diskutiert werden. Infos: <http://mach16.univie.ac.at>

► Von 18. bis 20. Februar werden in Brünn die „Ernst-Mach-Tage 2016“ abgehalten, die von der Masaryk-Universität organisiert werden.



SEBASTIAN BRAUSCH/SCHÖTTLE & PROFFEL

„Ernst Mach war der Meinung, die Philosophie könne sich nicht von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen abkoppeln.“

**Friedrich Stadler,
Universität Wien**