

Robert Emden – Wanderer zwischen Welten

Alfred Gautschy, Zürich

In der modernen Astrophysik ist der Name Emden hauptsächlich über die Lane-Emden-Gleichung ein Begriff geblieben; die meisten seiner wissenschaftlichen Arbeiten sind aber in Vergessenheit geraten. Vor allem ist nur wenig bekannt, dass Robert Emden in mehreren anderen Disziplinen wissenschaftlich genauso daheim war wie in der Astrophysik. Anlässlich seines 150. Geburtstages soll nachfolgend Leben und Wirken von Robert Emden in groben Zügen in Erinnerung gerufen werden.

In modern astrophysics, Emden is mainly remembered as one of the names in the Lane-Emden equation; but most of his scientific work has fallen into oblivion. It is not widely known that Robert Emden has scientifically felt at home in various fields of science other than astrophysics. On the occasion of his 150th birthday, life and work of Robert Emden shall be sketched in the following exposition.

Familiärer Hintergrund und frühe Jahre

Am 3. März 1862 wurde in der Ostschweizer Stadt St. Gallen Jacob Robert Emden als erster Sohn in die wohlhabende Stoffhändlerfamilie Emden geboren.¹ Der Vater Moriz Philipp (1826–1907) entstammte der Frankfurter jüdischen Gemeinde, die Mutter Emma (1840–1926) war die Tochter einer aus dem Allgäuischen nach St. Gallen gezogenen jüdischen Unternehmerfamilie. In die Schweiz reiste das Ehepaar Moriz und Emma Emden aus New York ein, wo sie einige Jahre für das Unternehmen Gerstle im Stoffhandel tätig waren. Es war auch in New York, wo sie im Jahr 1854 die amerikanische Staatsbürgerschaft

¹ Biografische Daten der Familie Emden basieren, wenn nicht anders vermerkt, auf Auskünften des Stadtarchivs sowie auf dem Bürgerbuch von St. Gallen.

erwarben und 1859 heirateten.² Das St. Galler Geschäft widmete sich weiterhin dem Textilhandel, diesmal hauptsächlich dem Export der schon damals berühmten St. Galler Stickereien in die Vereinigten Staaten.



Bild 1. Robert Emden im Schulalter. Quelle: Privatbesitz Clara Bernasconi-Emden.

Insgesamt hatte das Ehepaar Emden drei Söhne. Der Zweitgeborene, Gustav Raphael (1864–1935), schlug in der Tradition des Elternhauses eine kaufmännische Laufbahn ein, emigrierte in die USA, wo er in New York auch mit Stoffen handelte, die amerikanische Staatsbürgerschaft annahm und wo auch seine beiden Kinder geboren wurden. Nach seiner Scheidung 1910 kehrte Gustav Emden mit den Kindern nach St. Gallen zurück und lebte bis zu seinem Tod im elterlichen Haus. Im Jahre 1874 erhielt Robert schließlich noch einen Bruder mit Namen Paul Moriz (1874–1955); dieser studierte Maschinenbau und arbeitete danach als Ingenieur im Turbinenbau für Energieunternehmen in der Schweiz und in Deutschland. Die einzige bekannte wissenschaftliche Arbeit von Paul Emden ist seine Dissertation, eingereicht an der Universität Basel; sie behandelt das Ausströmverhalten von Wasserdampf aus Düsen (Emden 1903). Nach der Promotion wurden noch einige Patentanmeldungen für technische Verbesserungen von Turbinen (speziell zur Verminderung von Gasverlusten in Gasturbinen)

² Gemäß privater Mitteilung der Familienchronik durch H. Müller, Enkel von Robert Emden.

unter seinem Namen eingereicht. Während des 1. Weltkrieges wirkte Paul Emden wieder in der Schweiz, als Chef der Sektion Maschinen und Metalle des Eidgenössischen Kriegswirtschaftsamtes. Nach dem Krieg war Paul Emden für einige Jahre in leitender Position im Elektronunternehmen Therma in Schwanden (Kanton Glarus) tätig, bevor er wieder in seine Heimatstadt zurückzog, ein eigenes Ingenieurbüro eröffnete und dort bis zu seinem Tod verblieb.³

Robert Emden verbrachte seine gesamte Oberstufen-Schulzeit in St. Gallen; nachdem er bis in die vorletzte Klasse das Gymnasium klassischer Ausprägung besuchte, wechselte er für das letzte Jahr noch in die technische Abteilung (Realgymnasium) und schloss dort im Jahr 1881 mit einer ausgezeichneten Matur ab. Die noch existierenden Gymnasialzeugnisse (DM-NIE:NL132/001)⁴ zeigen Robert Emden über die gesamte Gymnasialschulzeit hinweg als ausgezeichneten Schüler mit sehr guten Noten und offenbar lobenswertem Benehmen.



Bild 2. Robert Emden (links unten) mit Bergführer bei einem Gletschertisch; Aufnahme unbekanntem Datums. Quelle: Privatbesitz Clara Bernasconi-Emden.

³ Stadtarchiv St. Gallen, Glarner Wirtschaftsarchiv, Archiv ETH-Bibliothek.

⁴ Die Abkürzung DM-NIE bedeute im Folgenden “Deutsches Museum München, Nachlass Emden”; das daran angehängte Kürzel verweist auf die Signatur des Dokumentes im Nachlass.

Nach Beendigung der Kantonsschule in St. Gallen zog es Robert Emden für seine universitären Studien aus der Schweiz weg. Er studierte in Berlin, Heidelberg und danach in Straßburg Mathematik und Physik. Bei August Kundt in Straßburg verfasste Emden seine Doktorarbeit mit dem Titel *Ueber die Dampfspannungen von Salzlösungen* (Emden 1887); für unterschiedliche Salzlösungen und Konzentrationen maß er die Dampfspannungen, um daraus schließlich die Siedepunkte errechnen und die beobachteten Gesetzmäßigkeiten mathematisch modellieren zu können. Der Dokortitel für diese Untersuchungen wurde ihm 1887 verliehen.

Wenn immer möglich verbrachte Robert Emden, wie schon in seinen Jugendjahren, den Sommer in den Bergen. Da er finanziell gut gestellt und somit unabhängig war, konnte er es sich jeweils leisten, für den ganzen Sommer einen Bergführer anzuheuern, mit dem er ausgiebige Touren in den Hochalpen unternahm. Zu seinen stolzesten alpinen Leistungen gehörten etwa eine frühe Besteigung des Matterhorns oder die Erklimmung des Piz Bernina über den Biancograt (inklusive Notbiwak, CBE⁵).

Von Straßburg aus zog Emden nach Zürich weiter, um am Eidgenössischen Polytechnikum (heute ETH) bei Heinrich Weber, der dort seit 1875 als Professor die physikalischen und elektrotechnischen Laboratorien leitete, weiter zu arbeiten. Bei der Auswahl des Arbeitsortes wird ihn wohl auch die Nähe zu den Alpen gereizt haben. Die Zeitdauer des Aufenthaltes in Zürich lässt sich nicht genau bestimmen. In einer Publikation von Weber zum Glühverhalten von Metallen (Weber 1887) weist dieser am Ende darauf hin, dass er Herrn Dr. Emden veranlasst habe, für eine Reihe unterschiedlicher Substanzen die Temperaturen zu bestimmen, bei denen diese zu glühen beginnen. Vorgestellt wurde diese Arbeit der preußischen Akademie der Wissenschaften am 9. Juni 1887. Aus diesem Forschungsauftrag an Emden ging dann schließlich auch eine Veröffentlichung hervor (Emden 1889), diese schließt mit der Angabe der Adresse als „Physikalisches Laboratorium des eidgenössischen Polytechnikums Zürich, im Juli 1888“.

Belegt ist weiterhin durch eine Bestätigung, unterzeichnet vom Direktor des Polytechnikums (ausgestellt am 12. April 1888),⁶ dass Emden im Sommersemester 1887 und im Wintersemester 1887/1888 als Hörer am Polytechnikum eingeschrieben war; dabei besuchte er anscheinend ausschließlich Kurse von Weber (Physik, Dynamomaschine, Zylinderfunktionen und deren Anwendungen auf physikalische Probleme, physikalisches und speziell elektrisches Praktikum, physikalisches Seminar, die Prinzipien der Elektrotechnik, Theorie der elektrischen Messmethoden und Messinstrumente). Die Protokolle der Schulleitung belegen weiterhin, dass der Präsident des Polytechnikums am 16. Juli 1888 die

⁵ CBE bedeute im Folgenden: Gemäss mündlicher Mitteilung von Clara Bernasconi-Emden in Gesprächen mit dem Autor, geführt in den Jahren 2009 und 2010.

⁶ Dokument im Privatbesitz des Autors.

Einholung von Gutachten bei Heinrich Weber und Heinrich Schneebeli – beides Physik-Professoren am Polytechnikum⁷ – für Emdens Habilitationsgesuch verfügte. Schon im Schulratsprotokoll vom 26. Juli 1888⁸ (!) findet sich dann die Entscheidung, dass zu jenem Zeitpunkt das Ansinnen Emdens auf Erteilung der *Venia Docendi* abzuweisen sei. Die Antwort auf den Habilitationsantrag ist nicht weiter verwunderlich, wenn man bedenkt, dass Emden zu jenem Zeitpunkt erst etwa ein Jahr nach der Promotion, also akademisch praktisch ohne Erfahrung und kaum mit selbständigen Veröffentlichungen dandand.

Ein weiterer Grund für das Scheitern des Habilitationsgesuchs mag in der Person von Weber gelegen haben. In den Jahren 1887 bis 1890 war Weber neben dem Ausbildungsbetrieb zusätzlich mit der Überwachung des Baus des eigenen großen Physikalischen Instituts am Polytechnikum betraut und zu alledem war er für seine autoritäre und streng hierarchische Führung bekannt. Alles in allem ist es kaum verwunderlich, dass Weber wenig Interesse hatte, in jener belastenden Phase auch noch Mitarbeiter an sein Institut zu holen, die sich durch bohemischen Lebensstil und Eigensinn seinem Einflussbereich entzogen und wodurch er wohl auch seine Autorität untergraben sah. Befremdend hingegen ist die Tatsache, dass Weber Robert Emden offenbar nicht davon abhielt (oder abhalten konnte) einen Habilitationsantrag, den er selbst ganz offensichtlich nicht unterstützte, bei der Schulleitung des Polytechnikums einzureichen. Etwa 10 Jahre nach Emdens Zürcher *Zeit* zementierte Weber seinen Ruf, mit Freigeistern nicht zurecht zu kommen, im späteren Fall betraf es dann den Studenten Einstein (Cahan 2000).

Wie sich Emden nach der Ablehnung am Polytechnikum umorientierte und wann er daraufhin Zürich verließ, ist unklar. Interessant ist in diesem Zusammenhang jedoch noch seine Staatsangehörigkeit. Die Eltern Robert Emdens lebten, wie eingangs beschrieben, einige Jahre in New York, wo sie die amerikanische Staatsbürgerschaft erlangten. Vor diesem Hintergrund beantragte Robert im Jahre 1885 bei der US-amerikanischen Vertretung in Bern einen amerikanischen Pass. Sein Ansinnen wurde jedoch wegen Überschreitung der Volljährigkeit und des Umstandes, dass er die ganze Zeit in der Schweiz – ohne spezielles Bemühen um amerikanische Einbürgerung – lebte, abgelehnt (Van Dyne 1980). Da in der Schweiz die Staatsbürgerschaft mit einer Ortsbürgerschaft einhergeht, ist zu vermuten, dass Robert erst 1888 einen Schweizer Pass erhalten hat: Im Bürgerbuch der Ortsbürgergemeinde St. Gallen wird Robert Emden nämlich ab 1888 als Bürger der Stadt geführt. Da auch im Maturitätszeugnis, wo bei der Herkunft normalerweise die Bürgergemeinde aufgeführt wird, für Emdens Her-

⁷ ETH-Bibliothek, Archive, SR2: Schulratsprotokolle 1888, Präsidialverfügung Nr. 184 vom 16.7.1888.

⁸ ETH-Bibliothek, Archive, SR2: Schulratsprotokolle 1888, Sitzung Nr. 3, Traktandum Nr. 75 vom 26.7.1888.

kunftsart „aus New York“ vermerkt ist, besaß er vermutlich in jungen Jahren die Schweizer Staatsbürgerschaft noch nicht. Wie auch immer, spätestens 1888 erhielt Robert Emden einen Schweizer Pass, eine Tatsache, die für ihn und seine Familie später noch von großer Bedeutung werden sollte. Kaum hatte er also diesen Schweizer Pass, zog es ihn aber wieder aus dem Land weg.

Im Bildarchiv der ETH findet sich eine Aufnahme des unteren Grindelwaldgletschers, die das obere und untere Eismeer zeigt, datiert von 1889 und aufgenommen von Emden.⁹ Das Bild stammt aus dem Archiv der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften; im Sommer des Jahres 1889 war Emden also in den Schweizer Alpen unterwegs. Dies war zwar nicht außergewöhnlich, weil er dies in den meisten Sommern so tat, auch als er schon viele Jahre im Ausland weilte (vgl. CBE, Gray 2009). Interessant ist die Aufnahme des Grindelwaldgletschers aber hinsichtlich einer wissenschaftlichen Untersuchung Emdens, bei der er sich mit der Körnigkeit des Gletschereises befasste; thematisch also etwas völlig anderes als das, womit er sich davor beschäftigte. Emden räumte durch sorgfältig gesammeltes Beobachtungsmaterial und mittels eigenen Experimenten mit damals vorherrschenden Ansichten auf, dass es sich beim oft eigentümlich aussehenden Gletschereis (optisch einachsiger Eiskristall, Tyndallsche Schmelzfiguren, Forelsche Streifen) um eine eigene gletscherspezifische Form des Eises handle. Vielmehr konnte er nachweisen, dass unter geeigneten Temperaturverhältnissen und damit richtig geregelten Schmelz- und Gefrierphasen selbst im Labor Eis mit Gletscherkorn-Struktur erzeugbar ist. Emden führte dieses sich verändernde Kristallbauverhalten auf molekulare Umlagerungsprozesse zurück.

Die resultierende Veröffentlichung mit dem Titel *Zum Gletscherkorn* (Emden 1892) zeigt Emden zudem schon in jenen jungen Jahren frühere Arbeiten schonungslos einschätzend mit wenig Scheu, undiplomatisch zu sein. In der Gletscherkorn-Arbeit bleibt er aber hart bei der Sache und wird nicht persönlich verletzend. Die Veröffentlichung, die mit der Angabe von Ort und Datum „München, Mai 1890“ beendet wird, zeigt, dass Robert Emden zu jener Zeit schon in München weilte und dort Zugang zu Laboratorien hatte, in denen er seine Eisversuche ausführen konnte. In der Tat hatte Robert Emden gemäß Melde- und Steuerakten der Stadt München im Jahr 1889 dort Wohnsitz genommen.¹⁰ Die Gletscherkorn-Arbeit reichte Emden schließlich bei der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft im Rahmen eines Preisausschreibens ein und wurde 1892 dafür mit dem Preis der Schläflistiftung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft ausgezeichnet; damit machte er sich auch außerhalb der Physik, in Kreisen der Geologen, einen Namen. Forschungsthemen aus den Erdwissenschaften sollten Emden daraufhin bis an sein Lebensende begleiten.

⁹ Signatur im ETH Bildarchiv: Hs_1458-GK-B085-1889-01.

¹⁰ Mitteilung von A. Löffelmeier vom Stadtarchiv München.

Die frühen Münchner Jahre

Nachdem sich Zürich also als akademische Sackgasse herausstellte, übersiedelte Robert Emden nach München, um an dem von Leonhard Sohncke geleiteten Physikalischen Institut der Technischen Universität München (TUM) weiter zu arbeiten. Die erste physikalische Forschungsarbeit, die Emden unter der Münchner TUM-Adresse veröffentlichte, beschäftigte sich mit der Messung der Magnetisierung von Eisen im Vergleich zu der von Kupfer unter dem Einfluss hochfrequenter elektrischer Felder (Emden 1892). Diese Arbeit gleicht vom Stil her den in Zürich und Straßburg entstandenen, diesmal jedoch ohne physikalische Interpretation oder gar Modellierung; sie besteht im Wesentlichen aus einer Datensammlung zur Selbstinduktion von Materialien unter unterschiedlichen elektrischen Einflüssen. Die Veröffentlichung erweckt mehr den Eindruck einer Auftragsarbeit als einer der späteren Emdenschen breit angelegten Verständnisarbeiten. Thematisch sollte es das letzte Mal sein, dass sich Robert Emden mit der experimentellen Bestimmung physikalischer Materialeigenschaften auseinandersetzte.

Am physikalischen Institut der TUM, wo auch Pioniere der Luftschiffahrt lehrten und forschten, etwa die Professoren Sohncke und Sebastian Finsterwalder, wurde Emden mit dem Virus der Ballonfahrt angesteckt, einer Beschäftigung, der er sich bis zu seiner Heirat mit wissenschaftlichem Enthusiasmus wie auch sportmännischer Leidenschaft hingab, und eines Themas, das ihm zur Illustration physikalischer Vorgänge erhalten bleiben sollte. Die Jahrhundertwende war die große Zeit der Ballonfahrt und damit einhergehend auch die Blütezeit der wissenschaftlichen Ballonfahrt, bei der es nebst meteorologischen und geophysikalischen Beobachtungen, das erste Mal nicht mehr erdgebunden, natürlich auch um Abenteuer und Mutproben ging. Diese Verknüpfung von wissenschaftlicher Tätigkeit mit sportlicher Herausforderung dürften ganz nach dem Gusto von Robert Emden gewesen sein. Belegt zu sein scheint, dass im Juni 1892 Emden das erste Mal als Passagier im Korb des Ballons „München“ mitflog (Tilgenkamp 1942). Unter dem Einfluss von Sohncke und Finsterwalder kam Emden mit Photogrammetrie und meteorologischen Themen, die später in seinen astronomischen Schriften immer wieder zur Illustration oder thematischen Motivation dienen sollten, in Berührung. Im Jahr 1896 muss Emden die Ballonführerprüfung abgelegt haben, denn zwischen 1896 und 1906 wurde er insgesamt 12 Mal als Führer einer Ballonfahrt erwähnt. Dass sich Emden auch aktiv im Vereinsleben des „Münchner Vereins für Luftschiffahrt“ einbrachte, lässt sich aus der Tatsache schließen, dass er von 1899 bis 1902 als Redakteur der *Illustrierten Aeronautischen Mitteilungen* zeichnete (Höhler 1901).

Emden beschäftigte sich aber nicht nur mit der mittels Luftfahrt zugänglichen geophysikalischen Information, wie etwa in seiner Arbeit zu Luftwogen (Emden

1897), auch die Luftschiffahrt als solche war für ihn Forschungsthema. So veröffentlichte er schon 1901 eine Arbeit mit dem Titel *Theoretische Grundlagen der Ballonführung* (Emden 1901). Als praktisch orientiertes Brevier, das Ballonführern auch während Fahrten objektive, physikalisch motivierte Entscheidungen ermöglichen sollte, veröffentlichte Emden schließlich einige Jahre nach Beendigung seiner eigenen aktiven Ballonfahrerzeit das Buch *Grundlagen der Ballonführung* (Emden 1910). Selbst nach dem Ausscheiden aus der aktiven Luftschiffahrt blieb Emden diesem Ressort noch lange verbunden, zumal sein Lehrauftrag an der TUM ab 1899 nebst Meteorologie auch die Luftschiffahrt umfasste. Im Jahre 1906 gewann Emden zusammen mit seinem Mitfahrer Flemming im Rahmen einer internationalen Ballon-Wettfahrt in Berlin für den spektakulären Flug bis Orlov in Russland den Ehrenpreis des Deutschen Kaisers (Höhler 1901). Der zum Ehrenpreis gehörige Pokal ist noch heute in der Flugwerft Schleißheim des Deutschen Museums ausgestellt. In Empfang genommen hat Emden den Pokal aber erst 1908 anlässlich seiner Hochzeitsreise zu einer Ballonausstellung in Berlin (CBE).



Bild 3. Robert Emden (links) im Atelier des Kunstmalers C. Steiger (rechts).
Quelle: Privatbesitz Clara Bernasconi-Emden.

In den frühen Münchner Jahren spielte Robert Emden im Münchner Akademischen Schachclub intensiv Schach; das Publikationsorgan *Münchner Akademisches Monatsheft* betreute er außerdem über Jahre als Redakteur. Er war in jener Zeit sowohl erfolgreicher Turnierspieler in Bayern wie auch bekannt als Löser und ab Herbst 1890 selbst als Aufgabensteller pointierter Schachprobleme.¹¹ Noch heute finden sich von ihm aufgestellte Schachprobleme aus den 1890er Jahren auf einschlägigen Schach-Internetseiten.¹²

Aber nicht nur wissenschaftlich-analytisch war Robert Emden äußerst aktiv, auch den Künsten war er zugetan; so galt er als sehr guter Klavierspieler und er verkehrte gern und oft in den Kreisen von in München wirkenden Schweizer Kunstmalern wie etwa Adolf Stäbli und Otto Fröhlicher; Robert Emden schmückte sein Heim gern mit Originalwerken und betrieb so gleichzeitig direkte Kunstförderung (CBE). Das Beispiel eines Ölgemäldes von Philip Klein (1903) aus seiner Münchner Zeit, das Emden selbst mit obligater Zigarre an einem Pult in einer gebundenen Zeitschrift lesend zeigt, hängt heute im Lesesaal der Bibliothek des Deutschen Museums in München.

Mit der Veröffentlichung von *Eine Beobachtung über Luftwogen* (Emden 1897) taucht in den Forschungsarbeiten Emdens erstmals ein fluiddynamisches – diesmal noch meteorologisch motiviertes – Thema auf. In jener Arbeit beschrieb er die Eigenschaften der Kelvin-Helmholtz-Instabilität in einer Warmfront, wie sie während einer wissenschaftlichen Ballonfahrt im Korb von ihm selbst direkt erlebt und gemessen wurde. Für seine Habilitation (Emden 1899a) beschäftigte er sich mit Ausströmerscheinungen von Gasen aus Düsen, speziell um die sich dabei einstellenden fluiddynamischen Erscheinungen, die mit der Schlierenmethode seit wenigen Jahren beobachtet und fotografiert werden konnten. Emden führte ausgiebige Experimente für eine Reihe von Überdruck- und Düsen-Verhältnissen mittels unterschiedlicher Gase (Luft, Kohlensäure und Wasserstoff) durch.

Aus der Habilitationsschrift heraus wurden in Auszügen noch im selben Jahr zwei Arbeiten publiziert, die erste mit den experimentellen Erläuterungen (Emden 1899b), die zweite mit einer theoretischen Analyse (Emden 1899c) der vorgängig beschriebenen Erscheinungen. Da Robert Emden der damals vorherrschenden Meinung anhing, die maximale in einer Strömung zulässige Geschwindigkeit sei die lokale Schallgeschwindigkeit, interpretierte er die Stoßstrukturen hinter den Düsen als stehende, ebene akustische Wellen; auf diesem Hintergrund entwickelte er ein Modell, das die beobachteten zyklischen Abstände der Verdichtungsflächen überraschend gut beschreiben konnte. Im Jahre 1903 erschien schließlich noch eine weitere, verwandte experimentelle Arbeit zu Ausströmerscheinungen an Düsen, diesmal studiert an Wasserdampf, verfasst als Dissertati-

¹¹ Neue Zürcher Zeitung, 3. November 1940, Schachspalte.

¹² Siehe etwa die Schachproblem-Seite <http://www.softdecc.com/pdb/index.pdb>.

on, eingereicht an der Universität Basel von Bruder Paul, der als Ingenieur im Turbinenbau tätig war; dementsprechend anwendungsorientiert war die Arbeit auch. In der Einleitung zur Doktorarbeit erfährt der Leser, dass Paul Emden die Untersuchungen in der Tat auf Anregung seines Bruders Robert ausführte (Emden 1903). Die Beobachtungen der Verdichtungsstrukturen in den Emdenschen Experimenten dienten schließlich Ludwig Prandtl 1904 als Ausgangspunkt für dessen berühmt gewordene Untersuchung von stationären Wellen in einem Gasstrahl; dabei wies Prandtl als erster nach, dass die beobachteten Phänomene nur mit dem Auftreten von Überschallströmungen verträglich sind (Prandtl 1904).

Im Jahre 1899 verließ also die TU München Robert Emden die Venia Legendi für die Fächer Meteorologie, Luftschiffahrt und später auch für theoretische Physik; es war dies das gleiche Jahr in dem auch Karl Schwarzschild, damals zurück von der Kuffner-Sternwarte in Wien, an der Ludwig-Maximilians-Universität München bei Hugo von Seeliger habilitierte. Es ist nicht abwegig anzunehmen, dass sich die beiden Habilitanden in der damals noch kleinen und sich ausgiebig sozialisierenden akademischen Gemeinde Münchens kannten. Interessanterweise tauchen nämlich um 1900 herum das erste Mal astronomische Themen in Emdens wissenschaftlichen Veröffentlichungen auf.

Astronomische Themen

Auf seine Beobachtungen einer Kelvin-Helmholtz-Instabilität während eines Ballonfluges zurückgreifend, versuchte Emden (Emden 1901a) dieses Phänomen auf die differentiell rotierende Sonne anzuwenden, um damit den Wärmetransport in ihren äußeren Schichten zu beschreiben und gleichzeitig über die dabei zu erwartenden Wirbelfelder ein Modell für die Sonnenflecken zu entwickeln. In Emdens Ansatz wären die Sonnenflecken als die Wirbelzentren mit starken Abwärtsströmungen auf der flüssigen Sonnenoberfläche zu verstehen gewesen. Dieser Modellierungsansatz erfolgte im gedanklichen Umfeld der Interpretation der Sonnenflecken in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts; damals wurde die Phänomenologie der Sonnenflecken oft im Zusammenhang mit der Struktur irdischer Zyklone diskutiert (Thomas & Weiss 2008, Kap. 2.3). Zu einem quantitativen Vergleich des Modells mit Beobachtungen ist es aber nie gekommen und die Formulierungen von Emden blieben sehr allgemein und im Deskriptiven stecken. Obwohl sich das Modell für die Sonnenflecken nicht durchgesetzt hat und diese heute völlig anders erklärt werden, wurde schon diese erste astronomische Arbeit von Emden ins Englische übersetzt und vom *Astrophysical Journal* im Jahre 1902 (Emden 1902) abgedruckt.¹³

¹³ In den frühen Jahren des *Astrophysical Journal* wurden von den Herausgebern als wichtig empfunden.



Bild 4. Emden im Beobachtungzelt in Guelma am Sonnenteleskop mit dem aufgesetzten Objektivprisma zur Aufnahme von Flash- und Coronaspektren während der Sonnenfinsternis von 1905. Quelle: Deutsches Museum München, Archiv.

Ganz im Sinne seiner sommerlichen Abenteuerurlaube reiste Robert Emden 1905 für die am 29. August über Nordafrika sichtbare totale Sonnenfinsternis nach Algerien, um in Guelma mit seinem Freund Karl Schwarzschild und dem ihm seit seinem Studium bekannten Carl Runge zusammenzutreffen. Das Teleskop mit Objektivprisma zur Aufnahme von Sonnenspektren (Emden, Schwarzschild) und die Messgeräte für luftelektrische Untersuchungen (Runge) wurden im römischen Amphitheater von Guelma aufgebaut. Unter dem Eindruck der guten klimatischen Bedingungen im Süden scheint dabei die Idee entstanden zu sein, dass sich die Sternwarte Göttingen, deren Direktor Schwarzschild zu jener

dene, nicht in Englisch veröffentlichte Arbeiten übersetzt, um sie so allen amerikanischen Astronomen zugänglich zu machen.

Zeit war, eine Südsternwarte errichten sollte, um den schon damals als schlecht empfundenen meteorologischen Bedingungen Mitteleuropas zu entrinnen (Schwarzschild 1905). Diese Idee gedieh so weit, dass Emden und Schwarzschild im Herbst 1907 sogar ausgedehnte Rekognoszierungstouren für den Standort eines Sonnenobservatorium (und einer geophysikalischen Messstation) im Inneren von Sizilien unternahmen und Schwarzschild danach einen entsprechenden Finanzierungsantrag an das Ministerium einreichte (Voigt 1992). Das Projekt verlief jedoch im Sand, einerseits weil Schwarzschild wenig später als Direktor nach Potsdam berufen wurde und so aus Göttingen weg zog, und andererseits durch seinen frühen Tod während des ersten Weltkriegs.

Das Jahr 1907 erwies sich insgesamt als ereignisreich, sowohl in beruflicher wie auch privater Hinsicht: Robert Emden erhielt in jenem Jahr eine außerordentliche Professur für Physik und Meteorologie an der TU München. Eine planmäßige Professur war ihm, wie anderen jüdischen Akademikern in jener Zeit an der TUM, jedoch nicht beschieden (Herrmann 2006). Zudem heiratete er im selben Jahr Clara Schwarzschild, das jüngste der sechs Kinder einer auch der Frankfurter jüdischen Gemeinde entstammenden Familie. Clara war die Schwester des seit seiner Münchner Zeit mit Emden befreundeten Karl Schwarzschild. Obwohl Clara 25 Jahre jünger war als Robert Emden, wurde diese Verbindung von den Eltern Schwarzschild als standesgemäß sanktioniert, gaben sie ihre einzige Tochter damit doch einem vermögenden, erfolgreichen Akademiker – gut befreundet mit dem eigenen akademisch äußerst erfolgreichen Sohn – aus dem gleichen kulturellen Umfeld an die Seite. Obwohl sich Robert Emden nach langer Junggesellenphase in der neu sich konstituierenden familiären Umgebung in der Habsburgerstraße 4 in München nicht leicht tat (CBE), entsprangen dieser Ehe zwischen 1909 und 1921 sechs Kinder: Zu Robert Emdens Gram waren es am Ende fünf Töchter und nur ein Sohn.

Ebenfalls im Jahre 1907 erschien das Buch, wofür Robert Emden in der Astrophysik berühmt geworden und lange über seinen Tod hinaus geblieben ist. Das Werk mit dem Titel *Gaskugeln* befasst sich in breiter Weise, wie im Untertitel ausgeführt, mit *Anwendungen der mechanischen Wärmetheorie auf kosmologische und meteorologische Probleme*. Der Inhalt entspricht der Ausarbeitung von Vorlesungsmaterial aus den an der TUM zwischen 1901 und 1904 gehaltenen Vorlesungen zum im Untertitel bezeichneten Thema. In der Tat ist das Buch gespickt mit Anwendungsbeispielen aus Meteorologie und Astronomie; immer wieder werden Rechnungen detailliert mit Zahlenwerten ausgeführt. Das Vorwort wurde von Emden im März 1907 abgefasst und schon im Juni des gleichen Jahres hatte Karl Schwarzschild eine außergewöhnlich lange Buchrezension der *Gaskugeln* verfasst (Schwarzschild 1908). Allein die zeitliche Nähe der Besprechung zum Erscheinungstermin des Buches weist darauf hin, dass Schwarzschild die Entstehung des Werkes aus der Nähe miterlebt hat. Genau wegen dieser Nähe warnt der Rezensent auch gleich am Anfang der Buchbesprechung vor

mangelnder Objektivität. Über den Punkt, den Schwarzschild am Buch zuerst kritisiert, nämlich die Länge des Textes, stolpert er schließlich selbst: Auf 29 Seiten legt er noch einmal ausführlich die Hauptthemen des Emden-Buches dar. Der sich durch die *Gaskugeln* hindurchziehende rote Faden ist die Differentialgleichung – heute bekannt unter der Bezeichnung *Lane-Emden Gleichung* – bzw. ihre Lösungen und deren Anwendungen. Die Differentialgleichung beschreibt den hydrostatischen Aufbau selbstgravitierender Kugeln unter der Bedingung, dass Druck und Dichte in direkter Beziehung zueinander stehen, nämlich einer polytropen Relation gehorchend.¹⁴

Im ersten Teil der *Gaskugeln*, dem Theorieteil, diskutierte Emden erst die thermodynamischen Hintergründe der polytropen Zustandsänderung, um dann über die Gleichung für hydrostatisches Gleichgewicht die heute als Lane-Emden-Gleichung bekannte Beziehung abzuleiten. Dabei wurden die mathematischen Eigenheiten der Differentialgleichung für unterschiedliche Polytropenindizes ausgiebig diskutiert. Der wichtigste Grundstein zum Erfolg des Buches ist aber nicht die ausführliche mathematische Diskussion, sondern die sehr genauen numerischen Lösungen der Differentialgleichung und der Abdruck von ausführlichen numerischen Tabellen für unterschiedliche Exponenten. Obwohl Emden nicht der erste Wissenschaftler war, der sich mit selbstgravitierenden Kugeln mit polytropen Zustandsänderungen auseinandersetzte, war es die Ausführlichkeit der numerischen Datensammlung, die dank der Rechenarbeit von Studenten über Jahre hinweg zusammengetragen werden konnte, die das Buch zum unverzichtbaren Referenzwerk für alle Forscher machte, die sich später mit quantitativen Modellen von Sternen beschäftigten wollten.

Die Möglichkeit, numerisch genaue Werte für die Lösungen der Lane-Emden Gleichung anzugeben, verdankte Emden einem damals neuen numerischen Verfahren von Wilhelm Kutta (der auch 1907 zum außerordentlichen Professor an der TUM ernannt wurde und davor als Privatdozent ebendort unterrichtete), das es erlaubte, wenn auch von Hand und mit erheblichem Aufwand, sehr genaue Lösungen von Differentialgleichungen erster Ordnung (Kutta 1901) bzw. Systemen von Differentialgleichungen erster Ordnung zu berechnen. Das numerische Verfahren für Systeme von Differentialgleichungen beschreibt Kutta denn auch gleich selbst in einem Anhang zum 5. Kapitel in *Gaskugeln*. Die numerische Methode, bekannt als Runge-Kutta-Verfahren, ist bis heute all jenen ein Begriff, die numerische Lösungen von Differentialgleichungen zu berechnen haben.

¹⁴ Eine polytrope Relation verknüpft Druck und Dichte gemäß $P \propto \rho^{1+1/n}$, mit n dem Polytropenindex. Bei einer polytropen Zustandsänderung sind die Temperaturänderung dT und die zugeführte Wärmemenge dq über $dq = c_n dT$ verbunden, wobei die polytrope Wärmekapazität c_n als konstant angenommen wird. Je nach der bei der Zustandsänderung konstant gehaltenen physikalischen Größe, nimmt der charakteristische Exponent n unterschiedliche Werte an; daher auch die wenig erleuchtende Bezeichnung *polytrop* – transliteriert aus dem griechischen πολύτροπος, was soviel wie *vielfältig* heißt.

Im Theorieteil der *Gaskugeln* diskutierte der Autor unterschiedlich zusammengesetzte selbstgravitierende Systeme ausführlich, so etwa isotherme und polytrophe Gaskugeln mit starren Hüllen, wie auch umgekehrt, starre Kerne mit aufgesetzten polytropen Hüllen und isotherme oder starre Kerne mit polytropen Hüllen. Im Anwendungsteil wurden die theoretisch dargelegten Modellsysteme schließlich, zusammen mit dem numerischen Datenmaterial, auf Problemstellungen der Astronomie und der Physik der Erde angewandt. In der astronomischen Ecke modellierte Emden etwa die Entwicklung kosmischer Staubmassen zu unserem Sonnensystem oder er berechnete physikalische Zustände in Gasnebeln. Die Strahlenbrechung in polytropen Hüllen tauchte auch schon im Hauptwerk Emdens auf, ein Problem, auf das er in einem späteren Projekt noch einmal zurückgekommen sollte, als er sich mit der allgemeinen Relativitätstheorie auseinandersetzte. Im selben Kapitel (§13) erwähnt Emden die kurz vor der Fertigstellung des Buches erschienene Veröffentlichung von Schwarzschild über das Strahlungsgleichgewicht, ohne es aber schon in seiner Tiefe und Konsequenz einschätzen zu können. Für Emden waren die Schwarzschild'schen Resultate nur dort von Interesse, wo sie streckenweise auf Polytropen mit Index $n = 5$ führen. Bei den Anwendungen betrachtete Emden zuerst die Atmosphäre der Erde und am Ende schließlich die Sonne und ihre atmosphärischen Erscheinungen, um diese im Rahmen seiner polytropen Modelle zu beschreiben; dabei wird die Gelegenheit beim Schopf gepackt, das schon 1901 vorgestellte Modell der Sonnenrotation und die daraus abgeleitete Natur der Sonnenflecken etwas aufgebüsstet noch einmal ausführlich anzupreisen.

Speziell der astronomische Aspekt des Anwendungsteils brachte Emden aber auch Kritik ein, so wurde ihm von Seiten der Astronomen zu viel Spekulation vorgeworfen, bzw. die viel zu genaue Angabe von Resultaten (z.T. auf vier Nachkommastellen) vor dem Hintergrund beobachterisch nicht bestätigter Modellannahmen für die Sterne. Jeans etwa bezog sich speziell auf den Fall der physikalischen Eichung der Doppelstern-Komponenten von ζ Herculis, deren Zentraltemperaturen von Emden exemplarisch berechnet wurden (Jeans 1909). Die Temperaturen von etwas über 1×10^8 Kelvin sind zwar, nach heutigem Wissen, rund einen Faktor 10 zu hoch, zeigten aber doch schon in diesem ersten Anlauf den Bereich auf, mit dem im Sterninnern zu rechnen ist; für die damalige Astronomie waren dies aber noch völlig unerhörte Wertebereiche.

Wie oben erwähnt war Emden nicht der Erste, der sich mit polytropen selbstgravitierenden Kugeln befasste. Im Jahre 1870 tauchte das Konzept der adiabatischen (als Spezialfall der polytropen Zustandsänderung betrachtbaren), sich im konvektiven Gleichgewicht befindenden, selbstgravitierenden Kugel zum ersten Mal beim Ingenieur und Experimentalisten Jonathan Homer Lane auf, als dieser versuchte, die (Oberflächen-)Temperatur der Sonne theoretisch zu errechnen (Lane 1870). Sehr ausführlich diskutiert wurde später die polytrophe Aufbaugleichung selbstgravitierender Körper für ausgewählte Polytropenindizes von Au-

gust Ritter, wiederum einem Ingenieur und nicht etwa einem Astronomen, in seinen insgesamt 18 Traktaten, die zwischen 1878 und 1889 in Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie erschienen. In der dritten Arbeit (Ritter 1878) taucht die entscheidende Differentialgleichung für den Fall des konvektiven Gleichgewichts zum ersten Mal auf und wurde in späteren Veröffentlichungen verallgemeinert und weiter diskutiert. Außer bei Emden haben die astrophysikalischen Arbeiten Ritters in jener Zeit keine große Beachtung gefunden.¹⁵ Im Anhang der *Gaskugeln* schließlich, worin sich Emden noch mit der Geschichte des aufgearbeiteten Fachgebietes auseinandersetzte, erfährt der Leser, dass sich der Autor ausgiebig mit den Ritterschen Aufsätzen auseinandersetzte und sich für seine eigenen Studien darauf abstützen konnte. Bezüglich der zentralen Differentialgleichung in *Gaskugeln* und ihrer historischen Entwicklung wäre es somit eigentlich korrekter von der *Lane-Ritter-Emden-Gleichung* zu sprechen.

Anfänglich war das Buch *Gaskugeln* astronomisch nicht der große Erfolg, zu weit weg waren die Astronomen noch von der Kenntnis des inneren Aufbaus der Sterne. Erst als klar wurde, dass polytrope Strukturgleichungen den mechanischen Aufbau von Sternen zufriedenstellend beschreiben können, wurde das Emdensche Werk zum unverzichtbaren Begleiter diesbezüglicher Forschungen. Speziell die Beschreibung des Wärmetransports im Sterninnern wurde erst mit den Arbeiten von Eddington – siehe Eddington (1926) und Chandrasekhar (1939) – erfolgreich mit dem Problem des mechanischen Aufbaus verknüpft.

Wie schon in früheren Veröffentlichungen Emdens, scheute dieser auch in *Gaskugeln* nicht davon zurück, mit spitzer Feder und teils wenig diplomatisch gegen seiner Meinung nach Falsches und Irreführendes in der wissenschaftlichen Literatur anzuschreiben. So polemisiert er etwa im Kapitel zur Sonne exemplarisch zum Versuch, die Protuberanzen zu verstehen, „*die billige Erklärung, dieselben als emporgeschleuderte Gasmassen [...] aufzufassen, dürfte wohl ziemlich allgemein nur noch als Notlüge angesehen werden*“. Aber nicht immer blieb es bei sachbezogener Kritik; den einen oder anderen Seitenhieb gegen die Autoren selbst konnte er sich gelegentlich nicht verkneifen, so wenn er etwa schreibt, „*Die Schmidtsche Sonnentheorie steht so jenseits von Theorie und Erfahrung, dass dieser geistreiche Blender weiterhin nur noch der Geschichte der Sonnenforschung angehören sollte*“.

In den ersten theoretischen Kapiteln von *Gaskugeln* beweist Emden den Satz: „*Alle Kreisprozesse, die aus zwei festliegenden Isothermen und zwei Polytropen mit gleichen, aber beliebigen γ bestehen, haben denselben maximalen Nutzeffekt*“; wobei γ eine Wärmekapazität bezeichnete. Dieser, auch das *Emdensche Theorem* genannte Satz ist eine Verallgemeinerung des Carnotschen Kreisprozesses (der mit je einem Paar von Isothermen und Adiabaten arbeitet). Jeder

¹⁵ Eine der bis heute wenigen wissenschaftshistorischen Aufarbeitungen des Ritterschen Lebenswerkes findet sich in Schwarz (1993).

Studierende lernt, dass der Carnotsche Kreisprozess den maximalen Wirkungsgrad besitzt, von der polytropen Verallgemeinerung des Kreisprozesses wird aber unverständlicherweise kaum oder nie gesprochen. Im Anhang der *Gaskugeln* verweist Emden korrekterweise darauf, dass offenbar die polytrope Verallgemeinerung des Kreisprozesses schon vor ihm – 1883 von M. Schröter in völlig anderem Zusammenhang – in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure veröffentlicht wurde (Schröter 1883).

Nachdem sich Emden seit 1901 wiederholt zu den theoretischen Grundlagen der Ballonführung geäußert hatte, erschien schließlich im Jahre 1910 ein handliches Büchlein beim Vieweg-Verlag (Emden 1910), in dem in kompakter Form dieses Thema zusammengefasst wurde. Format, Inhalt und Umfang waren so gestaltet, dass das Werk auf Ballonfahrten mitgenommen werden konnte, so dass der Ballonführer auch unterwegs theoretisch fundierte Entscheidungen treffen konnte; dementsprechend war der formale, der tabellarische und der grafische Aufbau des Büchleins gestaltet. Gewidmet wurde das Brevier Major Heinrich Nees, dem Kommandeur der königlich Bayerischen Luftschifferabteilung von 1905 bis 1908. Auch das Vorwort, verfasst in den Sommerferien 1910 in Weissbad im Kanton Appenzell, bedient sich ausgiebig militärischen Jargons zur Motivation der theoretischen Überlegungen zur Ballonführung. Die Überlappungen der Interessen von akademischer Forschung und militärischen Ambitionen im Ballonflug führte auch dazu, dass Emden während des ersten Weltkrieges als Abnahmekommissär für Militärflugzeuge für die deutsche Armee amtierte (Tilgenkamp 1942); dies obwohl er Ausländer, aber zumindest auf Grund seiner akademischen Anstellung in Deutschland beamtet war.

Aus heutiger Sicht pikant ist Robert Emdens Engagement im deutschen Militär vor allem vor dem Hintergrund, dass sein Bruder in der Zeit des ersten Weltkrieges als Chef die Sektion Maschinen und Metalle des Eidgenössischen Kriegswirtschaftsamtes leitete. Der Beamtenstatus untersagte es Robert Emden jedoch, während des Krieges das Land zu verlassen, so dass die persönlichen Kontakte mit der Verwandtschaft selten gewesen sein dürften. Wenigstens konnte er aber seine Familie in Zeiten schlechter Versorgungslage zur Schweizer Verwandtschaft nach St. Gallen schicken (Gray 2009). Laut Joos scheiterte im Jahr 1916 der Versuch, Emden die deutsche Staatsbürgerschaft zu erteilen, offenbar an formalen Kriterien (Joos 1959); es scheint, als ob Emden mit der Einreichung des Antrags auf die Erwerbung der deutschen Staatsbürgerschaft solange zuwartete, bis er das wehrpflichtige Alter überschritten hatte (Litten 1992).

Im Jahr 1913 erzielte Robert Emden wieder außerhalb der Astrophysik einen wesentlichen wissenschaftlichen Erfolg; motiviert durch seinen Schwager (Schmauß et al. 1932) übertrug er das Schwarzschildsche Konzept des Strahlungsgleichgewichts in der Sonnenatmosphäre auf den Fall der Erdatmosphäre; damit konnte er die bis anhin nicht verstandene Temperaturinversion in der Stratosphäre erklären (Emden 1913). Diese sehr umfangreiche Veröffentlichung

wurde in den Fachkreisen der Meteorologen als einer der wichtigsten Beiträge zur theoretischen Meteorologie der damaligen Zeit betrachtet (Süring 1932).

Im Jahre 1916 verlor Robert Emden seinen engen Freund und Schwager Karl Schwarzschild, der während seiner Zeit an der Ostfront an einer Autoimmunschwäche erkrankte, an der er schließlich verstarb. Nach 1916 gibt es denn auch nur mehr wenige neue, astronomisch motivierte Forschungsarbeiten. Es folgte noch eine Reihe Übersichtsartikel, aus denen hervorgeht, dass Emden das Geschehen in den entsprechenden Forschungsgebieten detailliert mitverfolgte. Speziell hervorzuheben ist der Artikel für die Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften (Emden 1926), worin er im ersten Teil seine früheren Polytropen-Ergebnisse noch einmal darlegt, diesmal aber (im zweiten Teil) um die Resultate der Eddingtonschen Arbeiten zum Sternaufbau, speziell den Wärmetransport betreffend, erweitert. Dazu kamen wiederum typisch Emdensche Kapitel wie etwa *Wiederkehrende Irrtümer*, Bezug nehmend auf die Thermodynamik von Atmosphären, und *Fühlbare Lücken in der Theorie*, wobei diese Lücken die Spektroskopie, d.h. Atomphysik, betraf, die sich erst wenige Jahre davor als diagnostisches Instrument in der Astrophysik etablierte. Was zu jener Zeit noch immer ausstand, war die Identifikation der Energiequelle, die es den Sternen erlaubt, über kosmische Zeitspannen hinweg ihre Leuchtkraft aufrecht zu halten.

Der Beitrag zur Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften wurde wie ein selbständiges Buch ausführlich rezensiert, gelobt, aber auch kritisiert (MacMillan 1931). Rückblickend stellt sich heraus, dass speziell die Kritik ungeRechtfertigt war, denn die mathematisch elegante Modellierung der Sterne durch Polytropen, wie von Emden vorangetrieben und von Eddington schließlich um den thermodynamischen Teil vervollständigt, sollte sich zu guter Letzt als grundsätzlich korrekte Beschreibung des Grundgerüsts für den Sternaufbau herausstellen.

In einer 1920 publizierten Studie diskutierte Emden den Einfluss einer polytrop geschichteten Sonnenatmosphäre auf die Refraktion von sie durchdringenden Lichtstrahlen (Emden 1920); er legte darin dar, dass die während der berühmten Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 gemessenen Positionsverschiebungen von bei jener Gelegenheit nahe an der Sonnenscheibe beobachtbaren Sternen nicht mit der Lichtbrechung in der Sonnenatmosphäre erklärbar sind, sondern ein, wie von Einstein vorhergesagt, allgemein relativistischer Effekt ist. Würde nämlich die Positionsverschiebung der Sterne durch Lichtrefraktion verursacht, müsste die Sonnenatmosphäre eine Schichtung aufweisen, die mit astronomischen Beobachtungen der Korona unverträglich ist. Für diese Veröffentlichung hatte sich Emden in die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie einzuarbeiten, was er – wie ihm im Nachhinein attestiert wurde – mit dem ihm eigenen jugendlichen Elan tat (Sommerfeld 1948).

Ansonsten widmete sich Emden aber mehrheitlich Fragen der Physik der Erdatmosphäre: Einige kürzere Arbeiten wurden in den Sitzungsberichten der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht: Im Jahre 1916 erschien eine Abhandlung über die abnorme Hörbarkeit (Emden 1916), die sich, im damals laufenden Krieg motiviert vom Donner schwerer Geschütze, mit Seltsamkeiten im Zusammenhang mit der Ausbreitung von Schall in windbewegten Atmosphären beschäftigte; zum gleichen Thema veröffentlichte Emden zwei Jahre später noch einmal eine ausführlichere Arbeit (Emden 1918a), in der er das Problem im wesentlichen unter dem Gesichtspunkt der geometrischen Akustik anging. Im gleichen Jahr analysierte er auch das Brechungs- und Reflexionsverhalten elektromagnetischer Wellen in Medien mit räumlich variabler Dielektrizitätskonstante (Emden 1918). Er kam zum Schluss, dass unter anderem Wellen der "drahtlosen Telegraphie" (elektromagnetische Wellen) an Wolken vollständig reflektiert werden können. Auch dies war wieder eine Arbeit, die mathematisch sehr präzise und aufwändig ausgeführt wurde, um am Ende aber auf ein sehr konkretes, praktisches Problem Antworten zu liefern versuchte. Obwohl die große Zeit der wissenschaftlichen Ballonfahrten schon einige Zeit zurücklag, schrieb Emden 1930 schließlich noch ein letztes Mal einen Übersichtsartikel zum Thema Freiluftballon für das Handbuch der Experimentalphysik (Schiller 1930).

In den Jahren 1916 bis 1918 veröffentlichte Sir Arthur Eddington in den *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* den Hauptteil seiner Arbeiten zum physikalischen Aufbau der Sterne, worin er das von Schwarzschild formulierte Kriterium des Strahlungsgleichgewichts in Sternatmosphären auf die Sterne als Ganzes anwandte. Auf Grund des Krieges war der Austausch auch zwischen den Wissenschaftlern Europas weitgehend zum Stillstand gekommen, ganz speziell traf dies auf Deutschland und England zu. Eddington, mit seinem ausgeprägten Quäker-Hintergrund, versuchte, nach dem ersten Weltkrieg den Dialog wieder in Gang zu bringen und veröffentlichte eine Zusammenfassung seiner Arbeiten zur Sternphysik auf Deutsch, worin er gleichzeitig einige Korrekturen und Erweiterungen zu den Originalen hinzufügte (Eddington 1921).

In einem bei der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte 1922 in Leipzig gehaltenen Vortrag referierte Emden über neuere Entwicklungen in der Erforschung des Aufbaus und der Entwicklung der Sterne. In der schriftlichen Ausarbeitung des Vortrages (Emden 1922) ging er auf von Eddington eingeführte Erweiterungen der Sternmodellierung ein und arbeitete auch gleich seine divergierende Interpretation der Eddingtonschen Fundamentalgleichung des Strahlungsgleichgewichtes heraus, betonte aber, dass die Eddingtonsche Theorie der Sterne als großer Fortschritt im Verständnis der Sterne zu würdigen sei. Speziell angetan war Emden in der schriftlichen Ausarbeitung des Leipziger Vortrages von der Sahaschen Theorie der Ionisation der Atome und deren Manifestation in der Sternmaterie, spricht in der Spektralanalyse der Sterne. Zu jenem Zeitpunkt machte Emden aber den Schritt von den Sternatmosphären ins Sterninnere noch nicht, dieser hätte es ihm – dank der Einsicht Sahas – erlaubt, die Riesen- und die

Zwergsterne in einer einheitlichen thermodynamischen Beschreibung zu verstehen.

Als eigentliche Replik auf die deutsche Zusammenfassung der Eddingtonschen Studien muss aber die längere Arbeit von Emden (1924) verstanden werden, die er in der gleichen Zeitschrift wie die Eddingtonsche Publikation veröffentlichte. Nicht untypisch für Emden, begann er gleich auf der ersten Seite mit einer grundlegenden sachlichen Kritik, diesmal des Strahlungsgleichgewichts, wie von Eddington verwendet. Emden strich die Wichtigkeit der Erklärung der Energieversorgung der Sterne heraus, eine physikalische Größe, die er in seinen vergleichenden Rechnungen explizit in den Formeln belässt; in Ermangelung besseren Wissens setzt er die spezifische Energieerzeugungsrate als durch den Stern hindurch konstant an. Im Jahr 1927 schließlich war es dann an Emden, das epochale Werk Eddingtons, *The Internal Constitution of the Stars* (Eddington 1926), zu besprechen. In einer siebenseitigen Rezension (Emden 1927) handelte er in einer Mischung aus feuilletonistischem und dozierendem Tonfall das Problem des Sternaufbaus, nun von Eddington um die Effekte des Energietransportes erweitert, ab.

Außergewöhnlich ist die Tatsache, dass die früher herausgearbeitete und publizierte Kritik an der Interpretation der Energietransportgleichung diesmal gar keine Erwähnung mehr findet, sondern dass das Eddingtonsche Werk uneingeschränkt gelobt wird. Ganz im Sinne des Emdenschen Wissenschaftsansatzes lobt er denn auch Eddingtons Buch dafür, dass es die noch junge Atomphysik ausnützt, um damit das Problem des Sternaufbaus anzupacken. Emden scheint nämlich unterdessen klar geworden zu sein, dass dank der Ionisation der Sternmaterie selbst Zwergsterne mit einer idealen Gasgleichung beschrieben werden können und somit zwischen Riesen und Zwergen kein wesentlicher Unterschied mehr im Aggregatzustand besteht (ausgenommen waren jedoch immer noch die Weißen Zwerge). So schreibt denn Emden auch treffend (und wüsste man nicht wann es geschrieben wurde oder betreffe es nicht die „junge Atomphysik“, es könnte eine sehr moderne Mahnung sein): *“Ohne eingehende Kenntnis der jung entstandenen Atomphysik ist die astrophysikalische Forschung unmöglich, und die glänzendste Beobachtungstechnik zerflattert in hohle Virtuosität, wenn sie nicht durch reife Überlegung verinnerlicht fruchtbarer Entzifferung fähige Resultate liefert.”* (Emden 1927)

Das ganz große, damals noch ausstehende Problem beim Sternaufbau blieb die Identifikation der Energiequelle der Sterne, die deren Leuchtkraft über sehr lange Zeiten aufrechterhalten lässt. Es war klar, dass die Helmholtzsche Kontraktionshypothese auszuschließen war, da sie schon mit dem Alter der Erde im Konflikt stand. Eddington schloss auch die Radioaktivität für die Sonne aus, da er sie in diesem Falle mehrheitlich aus Uran hätte aufgebaut sehen müssen. So griff er schließlich auf die in der Relativitätstheorie geprägte Äquivalenz von Masse und Energie zurück; sogar die Verschmelzung von vier Wasserstoffato-

men zu einem Heliumatom wurde in Betracht gezogen. Da aber die Dominanz von Wasserstoff in der Materie der Sonne und der Sterne noch nicht allgemein akzeptiert, das Alter der Erde etwas zu hoch angesetzt, und die Wahrscheinlichkeit für die Verschmelzung von vier Protonen zu Helium als zu gering eingeschätzt wurden, wurde als Energiequelle ad hoc die vollständige Umwandlung von Protonen und Elektronen in Strahlung vorgezogen. Schon 1929 sollte aber, quantenmechanisch fundiert, die Verschmelzung von Wasserstoff und leichten Elementen zu Helium, bei thermodynamischen Bedingungen wie in der Sonne vorherrschend rehabilitiert werden. Die detaillierten kernphysikalischen Abläufe aufzuzeigen, sollte aber noch einige Jahre mehr in Anspruch nehmen.

Eddingtons Arbeiten überzeugten Emden von der Wichtigkeit des Strahlungsfelds für das Sterninnere. Vermutlich in diesem gedanklichen Umfeld beschäftigte sich Robert Emden mit der Lichtquanten-Hypothese. Im Jahr 1921 erschien eine sehr interessante, aber keine Resonanz findende Arbeit (Emden 1921); darin untersuchte er die Form der physikalischen Eigenschaften von Strahlung, wenn diese als Gesamtheit von Lichtquanten an Stelle von Wellen aufgefasst wurde. In der kurzen Veröffentlichung leitete Emden Strahlungsdruck, Wiensches Verschiebungsgesetz und Plancksches Strahlungsgesetz ab. Obwohl Emden die Lichtquantenhypothese anwandte, konnte er sich nicht durchringen, die Energien als $\epsilon_i = h\nu$ zu quantisieren. Explizit erwähnt er am Ende von Kapitel VI gar, dass es sich *“bei konsequentem Festhalten an dem Standpunkt der Lichtquanten erübrigt”*, das Wirkungsquantum h einzuführen. Emden leitete also schon 1921 korrekt die Energieabhängigkeit der Energiedichte eines Schwarzkörperstrahlers ab. Aber erst Bose (1924) sollte es schließlich gelingen, mit konsequenter Unterteilung des Phasenraumvolumens der Photonen in Zellen der Größe h^3 , nicht nur die Energieabhängigkeit der Planckschen Strahlungsformel, sondern auch den zugehörigen Vorfaktor *ab initio* herzuleiten. Diese Quantenstatistik ging später unter dem Namen Bose-Einstein-Statistik in die Annalen der Physik ein. Einmal mehr war Emden früh an einem fundamentalen Thema dran und er war nah am Erfolg, aber in Ermangelung konsequenter Anwendung der Methoden der *“neuen Physik”* (Quantisierung) sollte es auch diese Arbeit nicht zu wissenschaftlichem Ruhm bringen.

In München verkehrte Emden nicht nur an der TUM, er war auch an der benachbarten LMU ein oft gesehener Gast (Benz 1975), speziell im physikalischen Kolloquium, das Sommerfeld ab 1906 in seinem Institut an der Amalienstraße etablierte. Im Kondolenzschreiben von Sommerfeld an die Witwe Clara Emden würdigte Sommerfeld Robert Emden denn auch für seine seinerzeitige freundschaftliche Führung durch die akademischen Gepflogenheiten in München, als er dort 1906 den Ruf auf den Lehrstuhl für theoretische Physik annahm (DM-NIE:NL132/024). Auch privat waren Sommerfeld und Emden, beides begeisterte Berggänger, während der ganzen Münchner Zeit oft zusammen und in den Alpen unterwegs (CBE).

Dank seiner vielseitigen, breiten Interessen und seines gut gepflegten Soziallebens war Emden in Münchens akademischen Kreisen gut verwurzelt und vernetzt, so dass er 1916 als außerordentliches und schließlich, während der Präsidentschaft von Hugo von Seeliger, 1920 als ordentliches Mitglied in die Bayerische Akademie der Wissenschaften aufgenommen wurde. Ab 1934, nachdem Emden in die Schweiz übersiedeln musste, wurde er schließlich noch als korrespondierendes Mitglied geführt. Schon lange vor seiner offiziellen Mitgliedschaft veröffentlichte Emden wissenschaftliche Abhandlungen in den Sitzungsberichten der Akademie; dies lässt darauf schließen, dass er über viele Jahre hinweg, auch ohne Mitgliedschaft, ein treuer Teilnehmer an den Akademiesitzungen war.

Auf Wunsch Hugo von Seeligers hin, der an der Sternwarte München und somit an der LMU wirkte, wurde Robert Emden von eben dieser Universität im Jahre 1928, nach dem Tode von Seeligers, zum Honorarprofessor für Astrophysik ernannt. Vom Sommersemester 1928 bis zum Wintersemester 1932/1933 hielt Emden dort durchgängig zu insgesamt sieben unterschiedlichen Themen Vorlesungen ab, alle mit astrophysikalischer Ausrichtung im Umfeld einer sonst noch klassisch astronomisch geprägten Ausbildung an der Universität München.

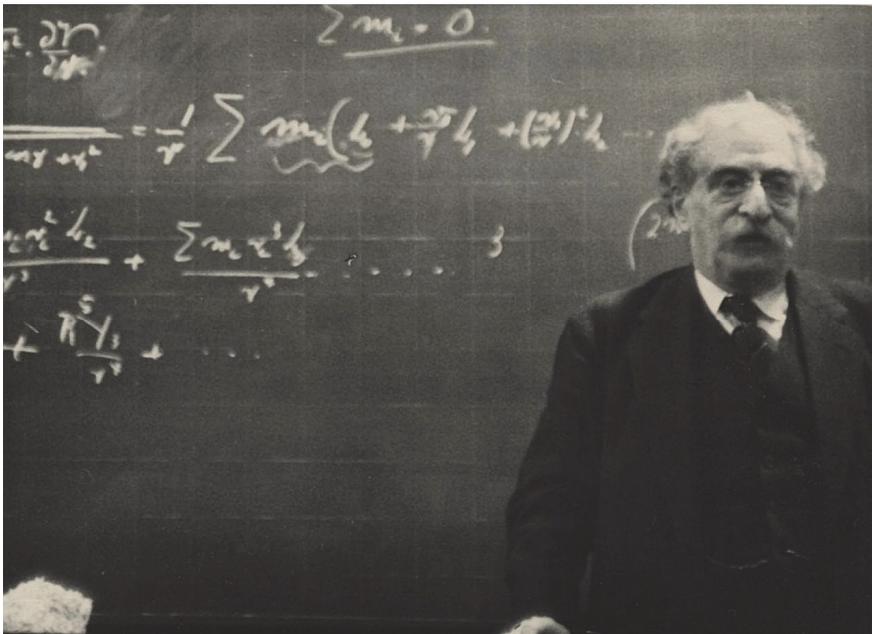


Bild 5. Emden während einer Vorlesung. Quelle: Aus dem Privatbesitz des Autors.
Ein vergleichbares Bild findet sich in DM-NIE:NL 132.

Um der modernen Astrophysik im deutschsprachigen Raum eine wirkungsvolle Plattform bereitzustellen, gründete im Jahr 1930 der Springer-Verlag die *Zeitschrift für Astrophysik*. Nach Martin Schwarzschild¹⁶ soll Walter Grotrian in Potsdam die treibende Kraft hinter der Gewinnung des Springer-Verlages für dieses Unterfangen gewesen sein. Mit Emden als Doyen und Aushängeschild der Physikalisierung der astronomischen Forschung in Deutschland konnte für die neue Zeitschrift ein Herausgeber mit internationaler Ausstrahlung und ein Garant für Qualität gefunden werden; das Amt übernahm Emden trotz seiner bald 70 Jahre noch mit Enthusiasmus.



Bild 6. Karikatur von Robert Emden in charakteristischer Pose, dozierend mit Zigarre, erschienen in der Geburtstagszeitung, die vom Physikalischen Institut der TU München anlässlich seines 70. Geburtstages herausgegeben wurde.

Am 4. März 1932 wurde am Physikalischen Institut der TU München mit einem großen Fest der 70. Geburtstag von Robert Emden gefeiert. Für die erschienene Festgesellschaft wurde im Stile eines Extrablattes eine kabarettistische Festzeitung erstellt, gefüllt mit satirischen Beiträgen zum Institutsleben und natürlich Eigenheiten des Ehrengastes. In mehreren Beiträgen tauchen wiederholt dieselben Markenzeichen von Emdens Lebensstil auf: Zigarren, Wein und die Angelrute; sowie bezüglich seiner Wesensart: Direktheit, gründliches Nachbohren und

¹⁶ Interview von Dr. Martin Schwarzschild mit Spencer Weart am 10. März 1977, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA, http://www.aip.org/history/ohilist/4870_1.html.

Angriffslust. Auch trafen aus allen Teilen Deutschlands zu dieser Gelegenheit Glückwunsch-Telegramme ein. *Die Naturwissenschaften* druckten am Anfang von Heft 10 des 20. Jahrgangs eine Würdigung für Robert Emden, verfasst von Max Wolf und Arnold Sommerfeld, gefolgt von je einer Glückwunschnotiz von Eddington (1932), der die Beiträge zur Astrophysik, und Süring (1932), der diejenigen zur Meteorologie herausstrich. Auch die *Meteorologische Zeitschrift* (Schmauß et al. 1932) sowie die von Emden herausgegebene *Zeitschrift für Astrophysik*¹⁷ publizierten Würdigungen von Emdens wissenschaftlichem Werk. Die große Geburtstagsfeier in München sollte gleichzeitig das letzte unbeschwerete Zusammensein in großer Runde der Münchner Forscher und Freunde um Emden herum sein. Die dunklen Wolken des Nationalsozialismus standen unverkennbar am Horizont; im privaten Leben erfuhren die Emdens, vor allem die Kinder, schon die Vorboten dessen, was die Zukunft bringen sollte (CBE).

Die letzten Jahre in Zürich

Die Mitteilung, dass Robert Emden von dem im April 1933 eingeführten “Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums” betroffen war, erreichte ihn und seine Familie Ende Juli während der in der Schweiz verbrachten Sommerferien (CBE). Zum 21. Juli 1933 verlor Emden nach Paragraph 3 des kurz davor in Kraft getretenen Gesetzes den Status als Honorarprofessor an der LMU und auf den 10. August 1933 schied er aus der Technischen Universität München aus (Litten 1992). Dank der raschen Reaktion und der intuitiv richtigen Erfassung der möglichen weiteren Konsequenzen drängte Clara Emden ihren Mann dazu, möglichst schnell den Hausstand in München aufzulösen und in die Schweiz zu ziehen. Offenbar setzte sich Clara Emden durch, denn schon im Herbst 1933 übersiedelte fast der gesamte Haushalt Emden dank der Schweizer Staatsbürgerschaft Emdens problemlos in die Kempterstrasse 5 in Zürich. Zurück in München blieb nur die älteste Tochter, die an der Universität München noch ihr Chemiestudium abschloss; danach reiste auch sie in die Schweiz aus und fand schließlich in der Basler Pharmaindustrie eine Anstellung (Gray 2009).

Der Grund für die Familie Emden, sich in Zürich und nicht etwa in der geliebten Ostschweiz niederzulassen, lag im Wunsch Robert Emdens, sich weiterhin mit Kollegen im akademischen Umfeld zu treffen, um sich mit ihnen wissenschaftlich austauschen zu können. Emden hatte noch Kollegen an den Zürcher Hochschulen (sowohl in der Physik wie auch der Astronomie); offenbar war er dann auch ein oft gesehener und immer noch eifrig mitdiskutierender Gast bei den Kolloquien (Brunner 1940). Der Rückzug in die Schweiz führte auch dazu,

¹⁷ ZfA 4, 73 (1932), gezeichnet von Kuratorium, Schriftleitung und Verlag.

dass er seiner Jugendpassion wieder zu frönen begann; er trat dem Schachclub Zürich bei, um dort in geselliger Runde wieder intensiv diesem Brettspiel nachzugehen.¹⁸ Selbst in seinen letzten Jahren muss er im Schachclub durch seinen angriffslustigen und kampffreudigen Spielstil aufgefallen sein. Und wie schon während der vielen Jahre in München zog es Robert Emden immer wieder mit seiner Angelrute hinaus, nun an die Sihl, auf der Suche nach Petri Heil, ohne dieses aber allzu oft zu finden (CBE).

Kaum ein Jahr in Zürich, veröffentlichte Emden (1934) schon einen Verteidigungssessay zu Gunsten von Kant und dessen frühen Vorstellungen der Kosmogonie. Verschiedentlich wurde Kant von prominenten Wissenschaftlern, die sich in jener Zeit mit der Entstehung der Gestirne zu beschäftigen begannen, vorgeworfen, die Drehimpulserhaltung in seinen Thesen der Systembildungen verletzt zu haben. Emden konnte und wollte diese Vorwürfe nicht auf Kant sitzen lassen, speziell im Vergleich mit Laplace, der in dieser Sache viel besser wegkam. Mit Hilfe von Zitaten aus den Originalarbeiten, sowohl von Kant wie auch Laplace, und der notwendigen physikalischen Interpretation der sprachlich ausschweifenden Beschreibungen legte Emden dar, dass Kant und Laplace im Kern physikalisch gleich weit waren und dass speziell Kant sich der Drehimpulserhaltung durchaus bewusst war. Der Hintergrund oder die Motivation für diese wissenschaftsgeschichtliche Exegese ist wohl in der im Wintersemester 1930/1931 an der LMU München gehaltenen Vorlesung *Hypothesen der Kosmogonie* zu suchen, bei deren Vorbereitung Emden sich an der seiner Ansicht nach ungerechten Kritik an Kant gestoßen haben mag.

Auch in den letzten Jahren seines Lebens ließ die Thermodynamik Emden nicht los. So erschien 1938 in der Zeitschrift *Nature* ein Brief an den Herausgeber unter dem Titel *Why do we have winter heating?* (Emden 1938), worin er in seiner bekannten bildhaften Sprache darüber nachdachte, was wirklich passiert, wenn Häuser im Winter geheizt werden. Dabei kam er zum Schluss, dass beim Heizen des Hauses die innere Energie nicht erhöht, dafür aber die Entropie erniedrigt wird. Um den Sachverhalt darzulegen, wählte er als Beispiel eine Flasche Claret, die aus dem Keller geholt werde und sich im Zimmer erwärmt; letzteres darf wohl auch als Hinweis auf den anhaltenden Lebensgenuss des alten Emden gelesen werden; wie auch der ganze Brief an *Nature* als spätes Zeugnis seiner Suche nicht nach neuen Informationen, wohl aber nach vertieftem Verständnis von schon oft Gesehenem zu lesen ist. Speziell die Rolle von Entropie und Energie beim Heizprozess hat, trotz der Kürze des Artikels, noch jahrelang nachgewirkt. Sowohl das Lehrbuch von Sommerfeld (1952) *Thermodynamik und statistische Mechanik* wie auch das Büchlein *Entropie und Information* von

¹⁸ Ein Nekrolog erschien in der Schachspalte der Neuen Zürcher Zeitung vom 3. Nov. 1940, 3. Bund, zusammen mit einer Schachaufgabe von R. Emden, die auf eine Partie Bezug nahm, die 1893 am bayerischen Schachkongress in Augsburg gespielt wurde.

Wolkenstein (1990) nahmen noch auf die Emdensche Arbeit Bezug. Dass die schon 1938 pädagogisch gedachte Veröffentlichung selbst heute noch aktuell ist, beweist die Arbeit von Kreuzer und Payne (2011), die ganz auf der Emdenschen Nature-Notiz aufbauend, lediglich in mehr zeitgemäßer physikalischer Sprache für Studenten bzw. Dozenten die Rolle von Energie und Entropie beim Heizvorgang herausarbeitet.

Die allerletzte wissenschaftliche Arbeit Emdens beschäftigte sich schließlich noch einmal mit einem thermodynamischen Problem in geophysikalischem Umfeld: Dem Wärmehaushalt von Seen. Dabei versuchte Emden die korrekte mathematische Modellierung der vertikalen Temperaturverteilung des Wassers in Seen und ihre zeitliche Variation zu finden. Er erkannte, dass nur in der Kombination von Sonneneinstrahlung und in der Absorption dieser Energie, zusammen mit der Wärmeleitung die notwendigen positiven Temperaturgradienten für Konvektion erzeugt werden können. Obwohl Emden qualitativ die Temperaturstruktur mit den Beobachtungen in Einklang brachte, passte sein Modell quantitativ nicht, so dass er am Ende der Arbeit die Lösung doch noch auf eine nicht weiter identifizierte Temperaturquelle in den Seen abschieben musste. Den Abschluss des wissenschaftlichen Publikationsprozesses erlebte er nicht mehr. Am 8. Oktober 1940, noch mit der Korrektur der Druckfahnen für die Veröffentlichung der Wärmehaushalt-Arbeit in *Helvetica Physica Acta* (Emden 1940) beschäftigt, verstarb Robert Emden an den Folgen eines akuten Nierenversagens (CBE). Die Beisetzung fand auf Grund der europäischen Kriegswirren und der damit verbundenen geschlossenen Grenzen in Zürich in kleinstem Kreise, ohne die früheren Freunde aus der Münchner Runde der Physiker und Künstler statt. Unter anderem für die Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft schrieb (Brunner 1940) von der Sternwarte der ETH Zürich einen ausführlichen Nekrolog, mit einem Verzeichnis aller wissenschaftlicher Veröffentlichungen von Robert Emden im Anhang.

Ende der 1960er Jahre erhielt Martin Schwarzschild, einer der Söhne Karl Schwarzschilds, unterdessen selbst renommierter Astrophysiker in Princeton, die Möglichkeit, Vorschläge zur Benennung von Mondkratern auf der Mondrückseite einzureichen. Die Internationale Astronomische Union, die für die Namensgebung astronomischer Objekte zuständige Organisation, folgte den Schwarzschildschen Vorschlägen und benannte 1970 drei in der Nähe des Mondnordpols gelegene Krater nach den drei ehemals eng befreundeten Forschern Emden (mit den Mondkoordinaten $63^{\circ}18' \text{ N}$ und $177^{\circ}18' \text{ W}$), Schwarzschild ($70^{\circ}06' \text{ N}$ und $121^{\circ}12' \text{ O}$) und Sommerfeld ($65^{\circ}12' \text{ N}$ und $162^{\circ}24' \text{ W}$).

Danksagung: Der Autor ist Frau Clara Bernasconi-Emden (der jüngsten Tochter von Robert Emden) und Frau Margarethe Emden (Schwiegertochter von Robert Emden und Witwe von Karl Emden) für die Gespräche, das Teilen ihrer Erinne-

rungen an die Emden- und Schwarzschild-Familien und für die Überlassung von Fotografien und Dokumenten zu großem Dank verpflichtet. Das Archiv des Deutschen Museums in München gestattete großzügigen und unkomplizierten Zugang zu den Unterlagen des dort lagernden Splitternachlasses von Robert Emden. Frau G. Hassler vom Stadtarchiv St. Gallen war eine große Hilfe bei Fragen zum familiären Umfeld von Robert Emden und seiner Verwandtschaft. Herr A. Löffelmeier vom Stadtarchiv München half bei der Suche nach den Spuren der Familie Emden in München. Der ausgezeichnete Bestand, der prompte Service und die Unterstützung der Bibliothek der ETH-Zürich ermöglichte das effiziente Studium aller relevanten Originalarbeiten wie auch pertinenter Werke der Wissenschafts- und Technikgeschichte. Der Freihandbestand der Zentralbibliothek Zürich ermöglichte schließlich die oft geschätzte, spontane Konsultation alter Bayerischer Akademieberichte in ihren Kellerräumen.

Literatur

- Benz, U. 1975: *Arnold Sommerfeld*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart
- Bose, S. 1924: *Planck's Law and the Light Quantum Hypothesis*. In: Zeitschrift für Physik 26, S. 178–181
- Brunner, W. 1940: *Robert Emden 1862–1940*. In: Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Ges. 120, 1–6
- Cahan, D. 2000: In *Einstein: The Formative Years*, Bd. 8. Einstein Studies. Kap. The Young Einstein's Physics Education: H.F. Weber, Hermann von Helmholtz, and the Zurich Polytechnic Physics Institute, S. 43. Birkäuser, Basel
- Chandrasekhar, S. 1939: *An Introduction to the Study of Stellar Structure*. University of Chicago Press, Chicago
- Eddington, A. 1921: *Das Strahlungsgleichgewicht der Sterne*. In: Zeitschrift für Physik 7, S. 351–397
- Eddington, A. 1926: *Internal Constitution of the Stars*. Cambridge University Press, Cambridge, England
- Eddington, A. 1932: *Polytropes*. In: Die Naturwissenschaften 20, S. 162–164
- Emden, P. 1903: *Die Ausströmerscheinungen des Wasserdampfes*. Oldenbourg, München
- Emden, R. 1887: *Ueber die Dampfspannungen von Salzlösungen*. Metzger & Wittig, Leipzig
- Emden, R. 1889: *Ueber den Beginn der Lichtemission glühender Metalle*. In: Annalen der Physik 272, S. 214–235
- Emden, R. 1892a: *Ueber das Gletscherkorn*. H. Georg, Libraire-Editeur, Bâle
- Emden, R. 1892b: *Ueber den Magnetismus des Eisens unter dem Einfluss elektrischer Schwingungen*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Classe der k. b. Akademie der Wissenschaften 22, S. 71–76
- Emden, R. 1897: *Eine Beobachtung über Luftwogen*. In: Annalen der Physik 52, S. 374
- Emden, R. 1899a: *Über die Ausströmungserscheinungen permanenter Gase*. Barth, Leipzig

- Emden, R. 1899b: *Ueber die Ausströmungserscheinungen permanenter Gase*. In: Annalen der Physik 305, S. 264–289
- Emden, R. 1899c: *Ueber die Ausströmungserscheinungen permanenter Gase*. In: Annalen der Physik 305, S. 426–453
- Emden, R. 1901a: *Beiträge zur Sonnentheorie*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften 31, S. 339–363
- Emden, R. 1901b: *Theoretische Grundlagen der Ballonführung*. In: Illustrierte Aeronautische Mitteilungen 5, S. 77–89
- Emden, R. 1902: *Contributions to the Solar Theory*. In: Astrophysical Journal 15, p. 38
- Emden, R. 1910: *Grundlagen der Ballonführung*. Teubner, Leipzig und Berlin
- Emden, R. 1913: *Über Strahlungsgleichgewicht und atmosphärische Strahlung. Ein Beitrag zur Theorie der oberen Inversion*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften, S. 55–142
- Emden, R. 1916: *Über abnorme Hörbarkeit*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften, S. 113–123
- Emden, R. 1918a: *Über die Ausbreitung des Schalls in einer windbewegten polytropen Atmosphäre*. In: Meteorologische Zeitschrift 35, 13–29
- Emden, R. 1918b: *Über elektrische Wellen in geschichteten Medien*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Klasse der Königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften, Heft I, 417–435
- Emden, R. 1920: *Sonnenatmosphäre und Einsteineffekt*. In: Sitzungsberichte der math.-phys. Klasse der Bayer. Akademie der Wissenschaften, Heft II, 387–396
- Emden, R. 1921: *Zeemaneffekt und Sonnenforschung*. In: Die Naturwissenschaften 9, 916–925
- Emden, R. 1922: *Über den Bau und die Entwicklung der Sterne*. In: Physikalische Zeitschrift 23, 490–499
- Emden, R. 1924: *Über Strahlungsgleichgewicht*. In: Zeitschrift für Physik 23, 176–213
- Emden, R. 1926: *Thermodynamik der Himmelskörper*. Teubner, Leipzig und Berlin
- Emden, R. 1927: *The Internal Constitution of the Stars*. In: Die Naturwissenschaften 15, 769–776
- Emden, R. 1934: *Kant und der Flächensatz*. In: Die Naturwissenschaften 22, 533–535
- Emden, R. 1938: *Why do we have winter heating*. In: Nature 141, 908
- Emden, R. 1940: *Zum Temperaturproblem der Seen*. In: Helvetica Physica Acta 13, 396–434
- Gray, T. (Hg.) 2009: *The Schwarzschild Family*. Bound Biographies
- Herrmann, W. 2006: *Technische Universität München. Die Geschichte eines Wissenschaftsunternehmens*, Bd. 1. Metropolis Verlag, Berlin
- Höhler, S. 2001: *Luftfahrtforschung und Luftfahrtmythos*. Campus, Frankfurt; New York
- Jeans, J. 1909: *Gaskugeln: Anwendungen der mechanischen Wärmetheorie*. Astrophysical Journal 30, 72–74
- Joos, G. 1959: *Geist und Gestalt*, Bd. 2. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München
- Kreuzer, H. und Payne, S. 2011: *Thermodynamics of Heating a Room*. In: American Journal of Physics 79, p. 74–77
- Kutta, W. 1901: *Beiträge zur näherungsweise Integration totaler Differentialgleichungen*. In: Zeitschrift f. Mathematik u. Physik 46, 435–453

- Lane, J. H. 1870: *On the Theoretical Temperature of the Sun*. In: American Journal of Science and Arts 50, 57
- Litten, F. 1992: *Astronomie in Bayern 1914–1945*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart
- MacMillan, W. D. 1931: *Review: Thermodynamik der Himmelskörper*. In: Astrophysical Journal 74, p. 145–152
- Prandtl, L. 1904: *Über die stationären Wellen in einem Gasstrahl*. In: Physikalische Zeitschrift 5, 599–601
- Ritter, A. 1878: *Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Constitution gasförmiger Weltkörper*. In: Wiedemanns Annalen der Physik und der Chemie 6, 135–144
- Schiller, L. (Hg.) 1930: *Der Freiluftballon*. Kap. Hydro- und Aerodynamik, S. 115–131, Nr. IV, Teil 3. In: Handbuch der Experimentalphysik. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig
- Schmauß, A., Schmidt, W., und Süring, R. 1932: *Zu Robert Emdens siebzigsten Geburtstag*. In: Meteorologische Zeitschrift 49, S. 7
- Schröter, M. 1883: *Ueber die Anwendung von Regeneratoren bei Heißluftmaschinen*. In: Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 27, S. 449–469
- Schwarz, O. 1993: *August Ritter und die erste Theorie des Aufbaus und der Entwicklung von Fixsternen als konvektive Gaskugeln*. In: NTM, Zeitschrift f. Geschichte der Wissenschaften, Technik u. Medizin 1, S. 137–145
- Schwarzschild, K. 1905: *Zur Sonnenfinsternis vom 29. August in Nordafrika*. In: Die Umschau 46, S. 901–907
- Schwarzschild, K. 1908: *R. Emden. Gaskugeln*. In: Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft 43, S. 26–55
- Sommerfeld, A. 1948: *Robert Emden*. Jahrbuch der Bayer. Akad. d. Wissenschaften 1944–1948, S. 229–231
- Sommerfeld, A. 1952: *Thermodynamik und statistische Mechanik*. Vorlesungen über theoretische Physik, Band 5. Dietrich'sche Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden
- Süring, R. 1932: *Robert Emden und die Physik der Atmosphäre*. In: Die Naturwissenschaften 20, S. 164–166
- Thomas, J. & Weiss, N. 2008: Cambridge Astrophysics Series, Vol. 46, Sunspots and Starspots. Cambridge University Press, Cambridge
- Tilgenkamp, E. 1942: *Schweizer Luftfahrt*. Aero-Verlag, Zürich
- Van Dyne, F. 1980: *Citizenship of the United States*. Fred B. Rothman & Co., Littleton, CO
- Voigt, H. 1992: *Karl Schwarzschild. Gesammelte Werke*, Bd. 1. Springer, Berlin
- Weber, H. 1887: *Die Entwicklung der Lichtemission glühender fester Körper*. In: Annalen der Physik 268, S. 256–270
- Wolkenstein, M. 1990: *Entropie und Information*. Deutsch-Taschenbücher, Band 67. Harri Deutsch, Thun; Frankfurt am Main

Anshr. d. Verf.: PD Dr. Alfred Gautschy, ETH-Bibliothek, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz; e-mail: gautschy@library.ethz.ch