

Der Leipziger Gewerbeschullehrer August Föppl und die Theoretisierung der Technik

Lothar Hiersemann

Zu den herausragenden Technikerpersönlichkeiten aus der Vorgeschichte der Leipziger Hochschule gehört neben Jakob Leupold auch August Föppl. Föppls Lebenswerk ist in der Fachwelt allgemein bekannt und anerkannt, aber gleichsam so klassisch geworden, daß man sich im einzelnen des Föpplischen Ursprungs oft gar nicht mehr bewußt ist. Noch weniger aber ist bekannt, daß Föppl seine Formung zum physikalisch geschulten Technikwissenschaftler vor allem in der Zeit erfahren hat, in der er als Lehrer an der Städtischen Gewerbeschule in Leipzig tätig war. Föppls grundlegendes sechsbändiges Lehrbuch mit dem Titel „Vorlesungen über technische Mechanik“, das von 1898 bis 1910 bei Teubner in Leipzig erschien, kennt wohl jeder Ingenieur, der seinen Beruf als Wissenschaftler begreift [1]. Dieses Buch fand eine beispiellose Verbreitung infolge der meisterhaft verständlichen Darstellung schwieriger theoretischer Probleme. Föppls systematische Aufarbeitung und fundamentale Ordnung der mechanischen Technik versetzte den zumeist an praktischer Erfahrung geschulten Ingenieur in die Lage, selbständig den richtigen theoretischen Ansatz für noch ungelöste Fragen zu finden und nicht nur einen Algorithmus vorgedachter Problemlösungen abzuarbeiten. Damit eröffnete sich ihm zugleich die Übersicht über die Vielfalt möglicher Konstruktionen für Bauwerke und Maschinen.

Als August Föppl am 25. Januar 1854 im oberhessischen Groß-Umstadt bei Darmstadt geboren wurde, befand sich der Kapitalismus auf der Grundlage der industriellen Revolution in voller Entfaltung. Jedoch war die Ablösung der Feudalmächte durch einen bürgerlichen Nationalstaat gerade erst 6 Jahre zuvor in der Revolution von 1848 gescheitert. Föppls Bildungsweg begann mit 4 Jahren in der katholischen Volksschule seines Geburtsortes, deren scholastischer Gedächtnisdrill ihn aber nur zu mittelmäßigen Leistungen stimulierte. Im Jahre 1862 übersiedelte die Familie nach Höchst im Odenwald, wo der Vater eine Kreisarztstelle übernommen hatte. Ein Jahr später starb die Mutter, und Haushälterinnen übernahmen die Erziehung des Jungen und seiner beiden Geschwister. Vom 8. bis zum 14. Lebensjahr besuchte Föppl eine Privatschule für Kinder von Beamten in Höchst, wo auch Englisch und Französisch im Lehrplan standen. Die fehlenden Fächer Griechisch und Latein, die der Vater offenbar zur humanistischen Bildung des Sohnes für unverzichtbar hielt und 1868 die Voraussetzung für die Aufnahme in die Obersecunda des Darmstädter Realgymnasiums waren, unterrichtete er selbst, wie es heißt im Doktorwagen, wenn er mit in die Praxis fuhr. Föppl erhielt zusätzlichen Privatunterricht von einem mit dem Vater befreundeten protestantischen Pfarrer in Algebra, Geometrie, Physik und Che-



Bild 1
August Föppl (1854 – 1924)

mie, die sein Interesse an den Naturwissenschaften und besonders an der Astronomie weckten. Mit dem Vater wurde ein Fernrohr gebastelt und die Frage nach der Unendlichkeit des Weltalls gestellt. Der Widerspruch, den der 14jährige zwischen seinen naturwissenschaftlichen Erfahrungen und den kirchlichen Dogmen empfand, ließen bei ihm, der gerade erst die heilige Kommunion empfangen hatte, den Gedanken an einen Kirchenaustritt konkrete Formen annehmen. Das wendete der Vater ab.

Schon 1833 war der deutsche Zollverein gegründet worden, der den im kapitalistischen Interesse notwendigen nationalen Markt gestattete und den Aufbau eines gesamtdeutschen Eisenbahnnetzes mit den völlig neuen ingenieurtechnischen Aufgaben außerordentlich förderte. Auch in Oberhessen wurde das Verkehrs- und Transportmittel der industriellen Revolution gebaut, und Eisenbahningenieure hatten freundschaftlichen Kontakt zum Hause Föppl. Sie weckten bei dem jungen August den Berufswunsch Ingenieur; denn Arzt, Pfarrer und Offizier waren ihm durch ein Verbot des Vaters verschlossen. Für den Ingenieurberuf war die Ausbildung an einem Polytechnikum erforderlich. Zur Vorbereitung auf den Besuch einer solchen höheren tech-

nischen Lehranstalt gab es im damaligen Deutschland 3 Möglichkeiten: Erstens die Realschulen ohne klassische Sprachen, aber mit sorgfältigem Unterricht in Mathematik, Naturwissenschaften, Zeichnen, Stilkunst und lebenden Fremdsprachen. Sie hatten oft auch die Bezeichnung Gewerbeschulen. Zweitens die Realgymnasien, an denen wohl auch Latein und Griechisch, aber ungleich viel mehr Mathematik und Naturwissenschaften gelehrt wurden als an den humanistischen Gymnasien. Drittens gab es an mehreren Polytechnica sogenannte Vorschulen oder Allgemeenschulen, an denen man in kürzerer Zeit die Reife für die höheren Schulen des Polytechnikums erreichen konnte. Die Schulsysteme der deutschen Splitterstaaten begannen sich zu dieser Zeit immer mehr einander anzugleichen. Das war eine Folge der Bismarckschen Realpolitik, die dem Umstand Rechnung trug, daß die ökonomische Macht den Feudalherren bereits entrissen und in die Hände der Bourgeoisie übergegangen war. Sie mündete 1871 in das einheitliche Kaiserreich unter Preußens Führung, das weder feudaler Absolutismus noch bürgerlicher Parlamentarismus war, jedoch der weiteren Entfaltung kapitalistischer Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse einen gewaltigen Auftrieb verlieh.

August Föppl bestand mit 15 Jahren, das war das geforderte Mindestalter, die Aufnahmeprüfung an der Allgemeenschule des Darmstädter Polytechnikums. Dieses Polytechnikum hatte sich gerade um 1869 aus einer höheren Gewerbeschule zur technischen Hochschule gewandelt. Der Unterricht umfaßte alle naturwissenschaftlichen Fächer, z. B. auch Botanik, Zoologie, Mineralogie und Geognosie, viel Mathematik, aber auch deutschen Stil und Literatur sowie Geschichte und Ethik, Fremdsprachen, Modellieren und Gesang. Man vermißt so etwas wie Staatsbürgerkunde und Ökonomie, was z. B. an den Leipziger Gewerbeschulen auch zu dieser Zeit schon ausgiebig gepflegt wurde. Dafür gab es das Fach Religion, von dem sich Föppl allerdings befreien ließ. Der Prager Polytechnikprofessor Edvard Korištka hob in seinem bekannten Reisebericht [2] über die europäischen technischen Studienanstalten von 1853 bei Darmstadt besonders die selbständigen physikalischen Praktika hervor, die die Schüler allein oder in kleineren Gruppen auszuführen hatten, und die er in dieser Form nirgendwo anders wiedergefunden habe. Der Besuch der Allgemeenschule mit dem Maturitätsexamen war Voraussetzung für die höheren Klassen des Polytechnikums, von denen es in Darmstadt die Mechanisch-chemische Klasse, die Bauklasse und als höchste Stufe die Ingenieurklasse gab. Wegen einer Mensur wurde Föppl im Sommersemester 1872 für ein halbes Jahr von der Anstalt verwiesen, bestand aber trotzdem seine Maturitätsprüfung und konnte dann den 1. Kurs der Bauingenieurschule belegen. Doch schon im gleichen Jahr wechselte er ans Polytechnikum nach Stuttgart, wo vor allem Otto Mohr seine wissenschaftliche Einstellung wesentlich beeinflusste. Er war es, der bei dem jungen Föppl das Interesse an Festigkeitslehre und Mechanik, also den beiden Disziplinen weckte, die ihn ein Leben lang immer wieder zur wissenschaftlichen Durchforschung anregten und zu denen es die meisten Veröffentlichungen von ihm gibt. Föppl hat seinem Lehrer Mohr stets

Hochachtung und Verehrung entgegengebracht. Doch nach dem Weggang Mohrs, der 1873 einer Berufung als Professor für technische Mechanik nach Dresden folgte, hielt es auch Föppl nicht mehr in Stuttgart. Er ging zur Maschinenbauschule nach Karlsruhe. Das Karlsruher Polytechnikum hatte durch die Ende der 50er Jahre von Ferdinand Redtenbacher durchgeführten Reformen ein sehr hohes Niveau der theoretischen Grundlagenausbildung erreicht. Föppl konnte hier seine Kenntnisse in theoretischer Mechanik und Festigkeitslehre noch weiter vertiefen, nahm an Vermessungsübungen teil und machte bereits Vorschläge zur Konstruktion eiserner Bogenbrücken. Während des Herbstpraktikums 1873 war er am Bau der Eisenbahnbrücke über die Elster, die sich an den Greizer Schloßbergtunnel anschließt, beteiligt. Unter der Leitung eines jungen Ingenieurs konnte er hier erstmalig seine theoretischen Kenntnisse praktisch anwenden. Besonders beeindruckt war er von der technischen Realisierung des Einschlags von Pfählen in die Elster für den Bau eines Fangdammes und dem folgenden Auspumpen der Baugrube, die ihm die Komplexität der praktischen Realisierung technischer Entwürfe so recht vor Augen führte. Dieses Erlebnis spielte eine Schlüsselrolle dafür, auch in seinen späteren theoretischen Arbeiten den Bezug zum praktisch Machbaren und Notwendigen niemals aus dem Auge zu verlieren. Im Jahre 1874 legte er das Diplomexamen ab und war nun geprüfter Bauingenieur. Ein Jahr später, also 1875, folgte seine erste wissenschaftliche Veröffentlichung in der Deutschen Bauzeitung über „Die Anordnung eines Brückenträgers, bei dem durch eine besondere Hilfsbelastung ein Horizontalschub von unveränderlicher Größe aufrechterhalten werden soll“ [3]. Nach der Publikation mußte er mit Enttäuschung feststellen, daß der Gedanke eines solchermaßen vorgespannten Brückenträgers von einem anderen schon viele Jahre vorher geäußert worden war.

Da mit dem Bauingenieurdiplom vorerst ein Abschluß des regulären Bildungsweges von August Föppl erreicht ist, so seien einige resümierende Gedanken dazu gestattet. Es fällt auf, daß Föppl bereits im Kindesalter, aber auch als Student sehr häufig die Lehrer und die Bildungseinrichtungen gewechselt hat und ihm dies offenbar nicht zum Schaden gereichte, sondern ihn vor Einseitigkeiten bewahrte und seinen Bildungshorizont durch Vergleiche erweiterte. Dies ist ein Aspekt, dem auch in der heutigen Studienorganisation wieder mehr Beachtung geschenkt werden sollte. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, daß Föppl trotz des Wechsels der Einrichtungen zielstrebig und fleißig die immer bessere Beherrschung mathematischer Methoden und die Vertiefung seiner naturwissenschaftlichen-technischen Kenntnisse verfolgte. Das ständige Trainieren der Grundlagen schärfte sein selbständiges Denken und das Erkennen theoretischer Zusammenhänge. Da mit der, vom Vater gewünschten, humanistischen Bildung sicherlich auch das Methodenideal der antiken Philosophie bei Föppl Fuß fassen konnte, so fragte er auch in der Technik nach ihrem Wesen, nach ihrer inneren Struktur und nach allgemeinen Normen. Doch mußte er später erkennen, daß eine nach Euklidischem Vorbild axiomatisch aufgebaute Technikwissenschaft, aus der man alle

spezifischen technischen Parameter deduktiv ableiten könnte, sich – wenn überhaupt – so wenigstens zu seiner Zeit noch nicht verwirklichen ließ. Es muß auch noch Föppls Fähigkeit erwähnt werden, schwierige Sachverhalte mit einfachen Worten und Sätzen ganz klar und scharf, aber zugleich bildhaft anschaulich formulieren zu können. Dies setze nicht nur ein gutes Vorstellungsvermögen, sondern auch die stilistische Beherrschung der Sprache voraus. Diese wurde offensichtlich in Föppls schulischem Werdegang geübt. Wir sollten auch heute daran denken, daß die Erfassung theoretischer Zusammenhänge mit ihrer sprachlichen Formulierung in Wechselwirkung steht. Stilistische Übungen sind nicht nur für den lehrenden Ingenieur wichtig, der sich dem Studenten verständlich machen will, sondern erlauben auch dem forschenden Ingenieur einen leichteren und wirkungsvolleren Zugang zur Theorie.

Als Föppl mit seiner Ausbildung fertig war, war auch der große Eisenbahnboom vorbei. Zudem war der seit 1871 im deutschen Kaiserreich erfolgte Ausdehnung der Industrieproduktion keine adäquate Erweiterung der Absatzmärkte gefolgt, so daß es 1873 zu einer Überproduktionskrise, dem sogenannten Gründerkrach, gekommen war, der eine lange Phase der wirtschaftlichen Depression folgte. Föppl fand deshalb nur eine kurze Anstellung bei einem Brückenbauobjekt der Badischen Straßenbaudirektion in Heidelberg und meldete sich, sicherlich aus dem gleichen Grund, 1875 als „Einjährig Freiwilliger“ zum Darmstädter Infanterie-Regiment. Bis 1876 genügte er seiner militärischen Dienstpflicht und wurde als Unteroffizier entlassen. Doch die durch den Gründerkrach geschwächte Industrie vermochte ihm noch immer keine Arbeit zu geben, so daß er im Herbst die auf ein halbes Jahr befristete Lehrerstelle an der Baugewerkschule in Holzminden annahm. Hier hatte er im Winterhalbjahr Bauhandwerker weiterzubilden. Dabei konnten natürlich seine theoretischen Kenntnisse und Fähigkeiten nicht zum Tragen kommen. Die Arbeit füllte ihn nicht aus. Neben einigen Aufsätzen in der Schulzeitschrift entstand während der halbjährigen Lehrtätigkeit auch das 123 Seiten umfassende Büchlein „Die graphische Lösung technischer Aufgaben für Architekten, Ingenieure, Studenten technischer Lehranstalten und gebildete Bauhandwerker“, das der Leipziger Verleger Knapp herausbrachte [4].

Der Eisenbahnbau mit seinen Dämmen, Gleisen, Brücken und Hallen hatte höhere Anforderungen an die Ingenieurkunst gestellt. An die Stelle des Gewölbes waren Fachwerkträgerkonstruktionen, an die Stelle der Baustoffe Stein und Holz zunehmend der Baustoff Eisen mit ganz anderen Materialeigenschaften getreten. Für bestimmte geometrische Formen von Fachwerkträgern war die Zerlegung der belastenden Kräfte in Komponenten längs der Stäbe eindeutig möglich geworden. Die graphische Analyse von Kräftezerlegungen an Bauwerken nach der Methode des Seil- und Kräftepolygons brachte 1864 Karl Culmanns Werk „Die graphische Statik“ [5] zur allgemeinen Anerkennung. Sie lieferte ein zeichnerisches Verfahren für die Bestimmung des Tragverhaltens von Konstruktionen ohne die zeitaufwendige Ana-

lysis. Wenn auch die Zeichnung nicht die Genauigkeit wie die Rechnung gestattete, so hatte sie doch den wichtigen Vorteil der Übersichtlichkeit, die größere Fehler leichter erkennen und vermeiden ließ als die Zahlenrechnung. Für ganz konkrete Einzelfälle war sie deshalb besser geeignet, so daß Föppl mit seinem Buch, in dem er über praktische Beispiele die Ingenieure und Studenten mit dieser Methode vertraut machen wollte, einem echten Bedürfnis entsprach.

Der Verleger Knapp war es auch, der Föppl nach Ablauf seiner Lehrtätigkeit in Holzminden dazu bewegte, sich im Oktober 1877 um eine dauernde Anstellung als Gewerbelehrer an der gerade 2 Jahre zuvor gegründeten Städtischen Gewerbeschule in Leipzig zu bewerben. Sicherlich reizten Föppl die Weiterbildungsmöglichkeiten, die ihm bei seiner Anwesenheit in Leipzig an der Universität mit zur Verfügung standen, und die er später auch ausgiebig nutzte. Hier hatten die Naturwissenschaften und insbesondere die Physik inzwischen einen bedeutenden Ruf erlangt. Wahrscheinlich war sich Föppl nicht völlig klar darüber, wohin der Weg der jungen Leipziger Gewerbeschule gehen sollte, und stellte erst später fest, daß sie sich in ihren Zielen und wissenschaftlichem Niveau z. B. deutlich von den Gewerbeakademien in Berlin oder Chemnitz unterschied. Die Personalunion in der Leitung der Leipziger Gewerbeschule mit der Kunstakademie hatte ihre Ursache in einem falschen Technikverständnis, das ihr schon von ihrem ersten Direktor Adam Friedrich Oeser seit ihrer Gründung im Jahre 1764 vorgegeben worden war. Als Maler – und bekannt als Zeichenlehrer Goethes – hatte er den Winkelmannschen Reformthesen in der Architektur zum Durchbruch verholfen. Aber in einem Streit mit seinem Lehrer für Baukunst setzte er auch durch, daß nicht Mathematik, Naturwissenschaften und Feldmessen, sondern klassizistische Formgestaltung zum Grundprinzip der technischen Bildung an der Kunstakademie erhoben wurde. Daran änderte sich in den folgenden Jahrzehnten nichts Wesentliches. Auch sein späterer Nachfolger und Föppls vorgesetzter Direktor, Ludwig Nieper, sah in dem für das Fach „Technische Naturlehre“ zuständigen Gewerbelehrer Föppl mehr ein Zugeständnis an den Zeitgeist als eine unentbehrliche Potenz für die technische Bildung. Technik war für ihn allenfalls angewandte Naturwissenschaft. Für die naturwissenschaftliche Bildung sei aber die Universität zuständig. Man sollte bei dieser, nur aus der Sicht des modernen Technikers so verständlichen Kritik an Nieper jedoch nicht übersehen, daß er bei aller grundsätzlich unterschiedlichen Auffassung über die Aufgaben der Gewerbeschule August Föppl ganz offensichtlich jede Freiheit ließ, sich intensiv mit der selbständigen theoretischen Durcharbeitung der Baukonstruktionslehre zu beschäftigen und die naturwissenschaftlichen Weiterbildungsmöglichkeiten an der Universität zu nutzen.

Deshalb kann man seine Leipziger Jahre von 1877 bis 1894 trotz des niedrigen Niveaus an der Gewerbeschule, das auch seine pädagogischen Fähigkeiten herausforderte und schulte, als die fruchtbarsten seines Lebens bezeichnen. Allerdings sind die meisten Früchte erst nach seinem Weggang, in München, reif gewor-

den. Nach einem Jahr in Leipzig heiratete der inzwischen 24jährige Föppl die Tochter des Posthalters aus Nidda (Oberhessen), Emilie Schenk. Aus dieser Ehe sind 4 Kinder hervorgegangen, die alle der Tradition der technischen Mechanik verhaftet blieben: seine in der Festigkeitslehre bestens bekannten Söhne Ludwig und Otto und die beiden Töchter, die seine auch nicht gerade unbedeutenden Schüler Prof. Prandtl und Prof. Thoma heirateten. Ludwig Föppl hatte später den Lehrstuhl für technische Mechanik in Dresden inne.

Aufgrund der praktischen Bedeutung für den Eisenbahnbrücken- und -hallenbau beschäftigte sich Föppl gleich zu Beginn seiner Leipziger Zeit intensiv mit den physikalischen Grundlagen der Baukonstruktionslehre. Daraus gingen die beiden ausgezeichneten Arbeiten „Theorie des Fachwerks“ 1880 [6] und „Theorie der Gewölbe“ 1881 [8] hervor, die zusammengefaßt als „Mathematische Theorie der Baukonstruktionen“ 1886 von der Philosophischen Fakultät der Leipziger Universität als Dissertation anerkannt wurden. Dies war ein außergewöhnlicher Vorgang; denn bekanntlich gibt es Doktor-Ingenieure erst, seit Kaiser Wilhelm II. 1899 den preußischen technischen Hochschulen das Promotionsrecht verliehen hatte. Es zeigt, welch hohen wissenschaftlichen Gehalt die Leipziger Mathematiker und Physiker in diesen technischen Arbeiten Föppl entdeckten, obwohl viele Universitätsprofessoren die akademische Gleichstellung der Techniker noch immer ablehnten. Föppl stellte hier, aufbauend auf der von Culmann, Rankine, Maxwell, Cremona u. a. schon in den 60er und 70er Jahren entwickelten Theorie der bestimmten Fachwerke, meines Wissens als erster die mathematische Bedingung für ein solches gelenkig gelagertes Stabnetz auf, bei dem man unter gegebenen Lasten alle Stabspannungen ohne Zuhilfenahme der Elastizitätstheorie bloß aus den Gleichgewichtsbedingungen der Statik finden konnte. Er leitete damit wichtige Sätze für die Stabilität von Fachwerken ab und wies unabhängig von Mohr darauf hin, daß eine Berechnung der Fachwerke auf rein kinematischem Wege möglich sei. Es entstand eine Statik, die graphische und analytische Ansätze miteinander verband. Die Maxwell-Cremona-Dualität von Kräfte- und Stabdiagrammen wurde zunächst rein pragmatisch in der britischen Tradition unter dem Titel „Bowsche Pläne“ abgehandelt. Später ergänzte er die Theorie für statisch unbestimmte, d. h. geometrisch überbestimmte Fachwerke, bei denen überzählige Stäbe vorkommen und demzufolge so viele Stabspannungen willkürlich angenommen werden können, wie es überzählige Stäbe gibt. Die Stabspannungen werden dabei so ermittelt, daß an jedem Knotenpunkt Gleichgewicht hergestellt wird. In diesem Falle genügen aber die bloßen Gleichgewichtsbedingungen nicht, sondern man muß auf die elastischen Formänderungen der Stäbe eingehen, was Föppl in exzellenter Weise im 2. Band seiner Vorlesungen über technische Mechanik, der „Graphischen Statik“ [1, Bd. 2] vorgeführt hat. Schon in seiner ersten Arbeit geht er grundlegend auf die räumlichen Fachwerke ein. Der Einsturz der Birsbrücke bei Mönchenstein, deren Konstruktion ein im Raum labiles Fachwerk bildete, veranlaßte ihn 10 Jahre später, die Problematik noch ein-

mal tiefer zu durchdenken mit dem Schluß, daß Fachwerke grundsätzlich räumliche Gebilde sind. Innerhalb von nur 2 Monaten entstand daraus 1891 die Arbeit „Das Fachwerk im Raum“ [8], das zum ersten Mal eine geschlossene Theorie der Raumfachwerke gab. Sie enthielt gegenüber der 1880 erschienenen Theorie des ebenen Fachwerks relativ wenige Berechnungen und war sehr anschaulich geschrieben. Föppls Ausgangspunkt war das Problem der Nichteindeutigkeit der Reduktion eines generischen räumlichen Kräftesystems auf 2 Kräfte („Kräftekreuz“). Durch das Studium der Variationsmöglichkeiten bei der Wahl geometrischer Bedingungen an das darstellende „Kräftekreuz“ entwickelte er ganz im Kontext der Statik das Konzept des Nullsystems. Auf diese Weise gewann er einen Begriff von der mit einem räumlichen Kräftesystem verbundenen Dualitätsrelation und schärfte dadurch die geometrisch-statische Vorstellungskraft für mögliche äquivalente Darstellungen durch verschiedene „Kräftekreuze“. Föppl trug in seiner Theorienbildung dem geforderten Bezug zur Anwendung Rechnung, gestattete aber gleichzeitig immer den Einblick in tieferliegende, strukturelle Zusammenhänge. Dabei führte Föppl auch verschiedene neue Begriffe und Fachwerkformen ein, deren Funktion nur aus der räumlichen Statik verstanden werden konnte, z. B. Flechtwerk und Netzwerkkuppel. Sie boten die Grundlage für fruchtbare Weiterentwicklungen dieser Systeme. Die Räumliche Statik wurde durch Föppls Arbeiten zur übergeordneten Lehre im Entwurf und der Berechnung von Fachwerken. Ein praktisches Ergebnis, das leider im Bombenhagel des 2. Weltkrieges untergegangen ist, war die Überdachung des unregelmäßigen Grundrisses der von Hugo Licht gebauten Leipziger Markthalle [9]. Im Auftrag des Rates der Stadt entwarf er hierfür im Jahre 1891 eine Eisenkonstruktion, die als „Leipziger Kuppel“ bekannt wurde und später auch als Übungsaufgabe in Föppls Vorlesungen über technische Mechanik eingegangen ist [1]. Er zeigte dabei, daß für dieses Problem andere Berechnungsmethoden, z. B. die Schwedlersche Kuppeltheorie, ungeeignet waren. Nach 1892 beschäftigte sich Föppl weniger mit Raumfachwerken. Erst die Schaffung der sogenannten Zimmermannschen Kuppel veranlaßte ihn, noch einmal darauf zurückzukommen und eine Arbeit über die zeichnerische Ermittlung der Stabkräfte dieser Kuppel zu schreiben.

Seit der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips durch Werner von Siemens im Jahre 1866 dehnte sich die Anwendung elektrophysikalischer Erkenntnisse, die bis dahin im wesentlichen auf die Telegraphentechnik beschränkt blieb, sehr rasch auch auf starkstromtechnische Bereiche, insbesondere auf die Beleuchtung und allmählich auch auf Antriebsmaschinen aus. Im Jahre 1883 entsandte der Rat der Stadt Leipzig August Föppl zur elektrotechnischen Ausstellung nach Wien, um sich über den Stand und die Möglichkeiten der Elektrizitätsanwendung informieren zu lassen. Föppl schreibt darüber in seinen Lebenserinnerungen [10]: „Man sah dort immerhin schon eine Wechselstrommaschine, die 1200 Glühlampen mit Strom zu versorgen vermochte. Alle größeren Firmen waren mit ihren neuesten Maschinen vertreten, und Siemens und Halske hatten auch bereits

eine elektrische Bahn von allerdings sehr bescheidenem Umfange eingerichtet, die aber deutlich genug erkennen ließ, daß es sich hierbei um eine Sache von großen Entwicklungsmöglichkeiten handelte. In Wien wurde mir klar, daß ich meine physikalischen Kenntnisse erheblich erweitern müsse, um die Möglichkeit zu haben, auf dem Gebiet der Elektrotechnik überhaupt mitzutun.“ Die Möglichkeit zur elektrophysikalischen Weiterbildung bot sich Föppl am Leipziger Physikalischen Institut der Universität bei Gustav Wiedemann. „Das physikalische Praktikum, das er abhielt, war nur für einen kleinen Kreis von fortgeschrittenen Studierenden bestimmt“, schreibt Föppl [10]. „Gewöhnlich nahmen nur einzelne Doktoranden daran teil.“ In der Zeit von 1886 bis 1894 entstand durch die stimulierende Führung des Physikers Gustav Wiedemann eine Reihe von Arbeiten zur Elektrizitätslehre, die fast alle in den von Wiedemann, Helmholtz und Planck herausgegebenen Annalen der Physik veröffentlicht wurden.

Als Krönung der intensiven Studien zur Elektrizitätslehre, die auch in den Besprechungen der Physiker uneingeschränkt als eine erstklassige Leistung bezeichnet wurde, entstand das 1894 in Leipzig bei Teubner erschienene Buch „Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität“ [11]. Ehe noch einige Bemerkungen zu diesem bei Technikern weniger, aber um so mehr bei Physikern geschätzten grundlegenden Werk gemacht werden, sei erwähnt, daß Föppl trotz der wesentlichen Einsichten, die er selbst mit der Arbeit an diesem Buch in die theoretischen Zusammenhänge elektromagnetischer Erscheinungen gewonnen und nachfolgenden Generationen vermittelt hatte, und trotz des völlig neuen methodischen Instrumentariums, das er dabei entwickelte, niemals mit der gleichen Intensität in die praktische elektrotechnische Anwendung dieser Erkenntnisse vorgestoßen ist. Föppl wurde niemals Elektrotechniker, sondern blieb seiner ursprünglichen Orientierung als technischer Mechaniker treu. Trotzdem gibt es auch einige Hinweise, daß er sich mit praktischen Anwendungen der Elektrizität befaßte. So unterstreicht er z. B. in seinem Bericht über die Wiener Ausstellung die Vorteile der elektrischen Beleuchtung gegenüber der alten Gasbeleuchtung und drängte den aufgrund verwickelter Patentbestimmungen und der noch ungenügend bekannten Vorzüge von Wechselstrom gegenüber Gleichstrom abwartenden Rat der Stadt Leipzig zum Bau einer Zentralanlage, weil sich bei längerem Abwarten immer mehr potentielle Konsumenten durch Blockstationen selbst versorgen würden. Er schreibt im „Civilingenieur“ 1890 auch einen Artikel „Über den heutigen Stand der elektrischen Beleuchtungsfrage“ [12] und ist 1894 an der Vorbereitung der elektrotechnischen Ausstellung beteiligt, die anlässlich der 2. Jahresversammlung des VDE im Leipziger Crystallpalast veranstaltet wurde. Diese Ausstellung bewirkte letztlich auch die Einrichtung des Faches Elektrotechnik an der Städtischen Gewerbeschule. Doch August Föppl berührte das nicht mehr; denn er war 1892 nach 15 Jahren Dienst als Gewerbeschullehrer einer Berufung als planmäßiger außerordentlicher Professor für landwirtschaftliche Maschinenlehre und Kulturtechnik an die Universität Leipzig gefolgt. Er hatte sich schon seit seinem Zusammenwirken mit

Gustav Wiedemann um eine elektrotechnische Bildung der Gewerbeschüler bemüht, wie folgendes Zitat von 1887 belegt [13]: „Besonders erwähnt sei noch, daß in dem Rahmen der Maschinenbauabteilung auch für solche Schüler, welche ein elektrotechnisches Gewerbe betreiben und welche sich neuerdings zahlreich einfinden, Gelegenheit zu einem Unterricht in ihrem Fach geboten ist. Allerdings müssen dieselben meist mit der allgemeinen Maschinenkonstruktionslehre bekannt sein und den diesbezüglichen Kursus in der Technischen Naturlehre absolviert haben, ehe sie mit den Konstruktionen der elektrischen Apparate und Maschinen beginnen können. Soweit ist bisher (wegen der Neuheit der Sache) noch keiner gekommen; an der nötigen Förderung wird es ihnen in der Folge nicht fehlen.“ Wenn man dieses Zitat von Föppl mit seinen Veröffentlichungen zur Elektrizitätslehre bzw. Elektrotechnik und den Zielstellungen der Leipziger Gewerbeschule vergleicht, so wird klar, daß für die Elektrotechnik Föpplers Vorstellung die Schüler der Leipziger Gewerbeschule, die nur auf eine Bedienung und Wartung der Geräte und Maschinen vorbereitet werden sollten, überfordert waren. Offenbar fehlte Föppl die elektrotechnische Praxis, um seinen Unterricht den Bedürfnissen an der Leipziger Schule anzupassen. Er hat später an der Technischen Hochschule in München auch noch Vorlesungen über Elektrizitätslehre gehalten, die von dankbaren, jedoch auf ein höheres Niveau orientierten Studenten sehr begrüßt wurden.

Das Föpplersche Lehrbuch der Elektrizität war keine einfach übersetzende Wiedergabe der Maxwellschen Theorie des elektromagnetischen Feldes. Es hat den Kampf zwischen Nahwirkungstheorie und Fernwirkungstheorie in der Elektrodynamik endgültig entschieden. Das 18. und die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts hatten nicht nur die Erscheinungen der Massenanziehung, der Elektro- und Magnetostatik, sondern auch die der neuentdeckten elektrodynamischen Wirkungen auf fernwirkende Anziehungs- und Abstoßungskräfte zurückgeführt. In einer gemeinsam mit Rudolf Kohlrausch durchgeführten Untersuchung zur Schaffung eines absoluten elektrischen Maßsystems hatte Wilhelm Weber 1856, also in seiner Leipziger Zeit, gezeigt, daß das Verhältnis der elektromagnetischen Einheit der Elektrizitätsmenge zur elektrostatischen Einheit gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Dieses Ergebnis gab den Anstoß zu der von James Clerk Maxwell entworfenen elektromagnetischen Theorie des Lichtes. Die Maxwellschen Gleichungen ersetzen 1873 die alte Fernwirkungstheorie durch die grundlegende Annahme von Kraftfeldern, d. h. durch eine Nahwirkungs- oder Feldtheorie mit räumlich und zeitlich vermittelten Wirkungen. Maxwell machte den gelungenen Versuch, die von Faraday eingeführten Vorstellungen elektrischer und magnetischer Kraftlinien durch mechanische Modelle einer Mathematisierung zugänglich zu machen. Die Föpplersche Art der Darstellung dieser Maxwellschen Theorie und ihre umfassende Bekanntmachung im deutschen Sprachraum eröffneten eine ganz andersartige, die klassische Physik ablösende Betrachtungsweise, weil auch schon die in den letzten Jahrzeh-

ten des 19. Jahrhunderts erzielten Erkenntnisse über das Wesen der Kathodenstrahlen, die Aufstellung der Lorentzischen Elektronentheorie und des Satzes von der Erhaltung der Energie mit berücksichtigt wurden. Man kann sagen, sie war bereits eine Weiterentwicklung der Maxwellschen Theorie und schlug mit der Elektrodynamik bewegter Körper eine Brücke zwischen der Feldtheorie und der heutigen Atom-, Quanten- und Kernphysik. Diese Föpplschen Ansätze wurden später in der 1905 von Abraham als 2. Band der Elektrizitätslehre herausgegebenen „Elektromagnetischen Theorie der Strahlung“ untermauert und weiterentwickelt. In der gesamten Föpplschen Darstellung ist die wunderbar klare Formulierung und mustergültige Handhabung der Sprache, das gekonnte Herausarbeiten des Wesentlichen besonders beeindruckend. Die Diskussion der Hertzischen Gleichungen für bewegte Körper bilden dafür ein glänzendes Beispiel. Der Wert des Föpplschen Buches liegt aber nicht allein in der Einbeziehung neuester Erkenntnisse der Physik und damit der Weiterentwicklung der Maxwellschen Theorie, sondern auch in der konsequenten Anwendung der Methoden der Vektoranalysis. Föppl bezeichnet sie als die „mathematische Zeichensprache der Physik der Zukunft“. In der Tat eignet sich die Vektordarstellung am besten für die Wiedergabe der Faradayschen Vorstellungen vom Kraftfluß und den daraus folgenden Maxwellschen Kraftfeldern. Die Elektrizitätslehre gewann durch die Einführung der Vektorgrößen ungemein an Klarheit und Durchsichtigkeit. Der Genauigkeit wegen sollte man an dieser Stelle erwähnen, daß die Vektorrechnung einerseits von H. Graßmanns Ausdehnungslehre aus dem Jahre 1844 und andererseits von W. A. Hamiltons Quaternionen (1853) her stammt und 1893, also 1 Jahr vor dem Erscheinen von Föppls Maxwellscher Theorie von O. Heaviside in die heutige, auch von Föppl angewandte, Form gebracht worden war. Während in der Vektorschreibweise meist mit nur einer Gleichung das physikalische Problem dargestellt werden kann, sind in Komponentenschreibweise viel mehr Gleichungen nötig. Bei Vektordarstellung erkennt man sofort den physikalischen Sachverhalt. Z. B. ist mit Divergenz die Quelle bzw. Senke eines Vektorfeldes sofort charakterisiert und anschaulich vorstellbar, was bei der umständlichen Komponentenschreibweise mit kartesischen Koordinaten nicht so einfach möglich ist. In Föppls, gleich im Anschluß an die Maxwellsche Theorie und zu deren Ergänzung und Verständnis, erschienenen Buch über die „Geometrie der Wirbelfelder“ [14] wurde die Theorie der Vektorfunktionen, völlig frei von physikalischen Hypothesen, streng mathematisch abgehandelt, so daß sie Allgemeingültigkeit erhielt und später auch auf Probleme aus anderen physikalischen Bereichen angewandt werden konnte. Föppl hat die Vektorrechnung später auch zur grundlegenden Darstellungsmethode seiner technischen Mechanik gemacht. Darin ist wohl ein weiterer wesentlicher Nutzen von Föppls Beschäftigung mit der Elektrizitätslehre zu sehen, daß er hier die Anregung und das Rüstzeug erhielt, die übliche Behandlung der Grundlagen der technischen Mechanik durch die beschleunigte Einführung der Vektorrechnung insbesondere in der Hydromechanik und Elastizitätslehre der

neuzeitlichen Entwicklung anzupassen und durch moderne Methoden zu ersetzen. Föppl verschweigt im Vorwort zu seiner Maxwellschen Theorie nicht, daß er die wesentliche Anregung zu dieser folgenschweren Arbeit von Gustav Wiedemann erhalten hatte. „Dieser hervorragende Forscher, der mir seit jenem Tage ein überaus wohlwollender Lehrer, Förderer und Gönner war, wies mich schon bei meinem ersten Besuche u. a. lebhaft auf die Maxwellschen Arbeiten hin. Zunächst freilich folgte ich ihm hierin nicht, es drängte mich mehr, in die Meisterarbeiten der deutschen Schule einzudringen, und erst nachdem ich hierbei die Überzeugung gewonnen hatte, daß auf diesem Wege kaum noch ein durchschlagender Fortschritt erhofft werden könne, war ich der Lehre des großen Briten zugänglicher geworden“ [15].

Sicherlich war es auch Wiedemann, der den begabten Föppl aus den beengten Entfaltungsmöglichkeiten der Städtischen Gewerbeschule herauslösen und an die Universität binden wollte. Leider bot sich dafür nur die Berufung als Professor für landwirtschaftliche Maschinenlehre und Kulturtechnik an, die 1892 erfolgte. Föppl betrachtete dieses ihm fernliegende Gebiet sicherlich nur als Übergangslösung und Sprungbrett für einen erstrebten Lehrstuhl der technischen Mechanik, den er 1894 mit der Berufung an die Technische Hochschule in München auch errang. Trotzdem wandte er sich in der Übergangsperiode mit Interesse und Fleiß seinen neuen Aufgaben zu. Er wurde Geschäftsführer der Maschinenprüfstation der Sächsischen Ökonomischen Gesellschaft und veröffentlichte 1893 im Landwirtschaftlichen Jahrbuch eine „Technik des Pflügens“. Er bereiste im Sommer 1892 die größeren landwirtschaftlichen Maschinenfabriken Deutschlands, um sich die nötigen Kenntnisse zu verschaffen. Später erinnerte er sich schmunzelnd, wie sonderbar er sich bei seinem ersten Informationsbesuch vorgekommen sei, sich als Professor für landwirtschaftlichen Maschinenbau vorzustellen, aber durch seine Fragestellungen bald zu verraten, daß er davon eigentlich noch nicht viel verstand. Außerdem hielt er Vorlesungen für Chemiestudenten der letzten Semester über Maschinenlehre und Elektrotechnik. Am 6. August 1894 reichte Föppl sein Entlassungsgesuch bei der Leipziger Universität ein und siedelte noch im gleichen Jahr nach München über, wo er als Nachfolger Johannes Bauschingers den Lehrstuhl für Technische Mechanik und gleichzeitig die Leitung des Mechanisch-technischen Laboratoriums übernahm, das unter Bauschinger einen bedeutenden Ruf gewonnen hatte. Föppl hat in München bis 1921 das gesamte Gebiet der technischen Mechanik allein vertreten und blieb der Stadt auch treu, als er 1900 einen Ruf nach Dresden als Nachfolger seines verehrten Lehrers Otto Mohr erhielt. Föppl, der an der Leipziger Gewerbeschule völlig unterfordert war, fühlte sich auf dem Münchener Lehrstuhl am Ziel seines wissenschaftlichen und pädagogischen Strebens angekommen. Hier fand er im Mechanisch-technischen Laboratorium auch die experimentellen Möglichkeiten, die er zur Stützung seines an den realen technischen Körpern orientierten Theorienkonzeptes unbedingt brauchte.

Den Beginn von Föppls Lehrtätigkeit in München kann

man ohne Übertreibung als einen Wendepunkt für die technische Mechanik bezeichnen. Föppl erkannte, daß die seinerzeit übliche Behandlung der wichtigsten Grundlagen der Technik im Lehrprogramm nicht mehr den neuesten Erkenntnissen entsprach. Allerdings muß eingeschränkt hinzugefügt werden, daß hier mit wichtigsten Grundlagen nur die theoretische Komponente der Technikwissenschaften gemeint war. Die sozialökonomische Komponente, die heute als ein unverzichtbarer Bestandteil jeder technischen Disziplin betrachtet wird, blieb in Föppls Schaffen weitgehend ausgespart. Föppl stellte höchste Anforderungen an sich und auch an seine Studenten. Die Vektorrechnung wurde beschleunigt in die Technische Mechanik eingeführt, und Föppl scheute sich auch nicht, die bis dahin nur in der analytischen Mechanik benutzten Lagrangeschen Gleichungen für verschiedene Freiheitsgrade sowie den Gebrauch von partiellen Differentialgleichungen in der Hydromechanik und der Elastizitätslehre zu gebrauchen. Besonderen Wert legte er darauf, daß die Studenten mit den grundlegenden Gleichungen eine anschauliche Vorstellung verbanden. Dies kam besonderes in seiner Darstellung des Schwerpunkt- und Flächensatzes und ihren verschiedenen Anwendungen z. B. beim Massenausgleich von Schiffsmaschinen zum Ausdruck. Auch die Einführung und klare Definition neuer, sich mit einer bildhaften Vorstellung verbindender Begriffe, wie z. B. des Dralls, hat seine Studenten zum Mitdenken und Verstehen geführt und vor dem schematischen Rechnen bzw. Abarbeiten bestimmter Regeln in der Mechanik bewahrt. Föppls Schüler, z. B. Schlink [16], bemängeln allerdings auch an seinen Vorlesungen, daß er bei aller Liebe zum Unterrichten seine Vorträge nicht in dem Sinne pädagogisch aufbaute, daß er schwierige theoretische Zusammenhänge nochmals mit anderen Worten wiederholte, also nicht eindringlich unterrichtete. Er trug vielmehr den Stoff so vor, wie er ihn auch später in seinen „Vorlesungen über technische Mechanik“ niedergeschrieben hat. Dies bedeutete zwar für die begabten, mit Vorkenntnissen und Verständnis für die Mechanik ausgestatteten Zuhörer sowohl Genuß als auch Zeiteinsparung und erlaubte, ohne Mehrstunden viel mehr Stoff zu bringen als an anderen Hochschulen üblich war, forderte aber der großen Masse der Studenten ein hartes Stück Arbeit ab. Mit dieser Problematik haben die Theoretiker auch heute noch zu kämpfen.

Föppl, der den Aufbau und die Durchführung seiner Vorlesungen als zweckmäßig erkannt hatte, brachte sie auch in Buchform heraus, zunächst in 4 Bänden, bei späteren Auflagen in 6 Bänden, wobei der 5. Band die höhere Festigkeitslehre und der 6. die höhere Dynamik behandelt [1]. Nur wenige Lehrbücher haben einen solchen Erfolg gehabt. Sie haben auch heute noch nichts von ihrem Glanz eingebüßt. Im Jahre 1901 schrieb R. Mollier in der VDI-Zeitschrift in einer Rezension [17]: „Die Vorlesungen sind ein Werk allerersten Ranges.“ Die Vorlesungen fanden jedoch nicht nur Beifall, sondern auch Kritiker, die es z. T. zu theoretisch, z. T. zu wenig mathematisch exakt, d. h. zu wenig abstrakt, auf den allgemeinsten Fall zugeschnitten, betrachteten. Aber Föppl hatte sich ja bewußt von zu weitgehenden Forderungen von der einen oder anderen Seite

ferngehalten, um einer möglichst großen Zahl wissenschaftlich geschulter Ingenieure das theoretische Rüstzeug zu liefern. Föppls neue Lehr- und Darstellungsmethodik der technischen Mechanik berührte den Methodenstreit um die Rolle der Mathematik in der Ingenieurausbildung. Es ging um die Frage der Mathematik als Hilfswissenschaft oder als Grundlagenwissenschaft, Beschränkung auf Elementarmathematik oder auch Anwendung der höheren Analysis. Sie zeigte eine zwischen den extremen Lagern vermittelnde Position, die schließlich auch in der Aachener Empfehlung des VDI ihren Ausdruck fand. Das sich zu dieser Zeit neu bildende Selbstverständnis der Technikwissenschaften brachte keine völlige Absage an einen mathematischen Theoretisierungsstil, der von einer allgemeinen Referenztheorie ausging, sondern nur eine Beschränkung auf die schrittweise sich vertiefende und experimentell nachprüfbare Theoretisierung einzelner Gebiete. Dabei nutzte und prüfte Föppl die Methoden verschiedener mathematischer Bereiche auf ihre Tragweite und machte sie in abgewandelter Form für die Verwissenschaftlichung der Technik fruchtbar. Er ging auch auf das allgemeine Problem des Verhältnisses von Erfahrung und Theorie ein und kam zu dem Schluß, daß die Erfahrung im weitesten Sinne, d. h. auch die aus Experimenten gewonnenen Parameter der Materialspezifik, die Grundlage jeder Theorie sein müßte. Die Theorie habe alle diese Erfahrungsparameter zu ordnen und durch mathematisch formulierte Gesetzmäßigkeiten zu verknüpfen, so daß sich die technischen Prozesse auf dieser Grundlage theoretisch nachvollziehen oder vorausberechnen ließen. Jede Theorie müßte der Überprüfung durch das Experiment standhalten. Die Experimente zeigten, ob die gemachten Voraussetzungen und eingeführten Parameter zuträfen und wo Lücken blieben. Das Versagen einer Theorie sei fast ausschließlich auf unzulässige Voraussetzungen zurückzuführen. Föppl hat mit diesem Theoretisierungskonzept entscheidende Beiträge zur Berechenbarkeit von Bauwerken und Maschinen geleistet. Die von ihm auf dem Gebiet der Dynamik herausgebrachten Arbeiten behandelten und lösten Probleme von außerordentlicher praktischer Bedeutung.

Es ist nicht möglich, sie alle aufzuzählen oder gar zu erläutern. In einer Einschätzung über das Wirken Bau-schingers im Vergleich mit seinen eigenen Zielen im Mechanisch-Technischen Laboratorium schrieb er [18]: „... daß ich es mir mehr zum Ziele gesteckt habe, das Verhalten ganzer Konstruktionsteile oder auch zusammengesetzte Konstruktionen als die Eigenschaften des dazu verwendeten Materials an sich zu erforschen. Ich werde dabei von der Absicht geleitet, entweder die Ergebnisse theoretischer Untersuchungen an der Hand beobachteter Tatsachen zu prüfen oder auch durch Versuche erst die nötige Grundlage für eine richtige Fassung der Theorie dieser Konstruktionen zu gewinnen.“ Diese Auffassung, die seinerzeit erheblich von den Meinungen der Leiter anderer Materialprüfanstalten abwich, hat, so können wir im nachhinein feststellen, sich nicht nur als richtig erwiesen, sondern auch völlig neue Wege eröffnet. Im Jahre 1895 erfolgte die Lösung des sogenannten Problems der Lavalschen Turbinenwelle [19], d. h. der Bestimmung der kritischen Umdrehungs-

geschwindigkeit schnell rotierender Wellen, z. B. für die Stromerzeugung, bei der sie unter Berücksichtigung ihrer Materialeigenschaften zu Bruch gehen. Föppl benutzte dieses Problem, durch Vergleich auch die Vorteile der Vektoranalysis zu demonstrieren und beschrieb den Vorgang durch eine Differentialgleichung 4. Ordnung mit Vektoren. Eine allgemeine Lösung dieser Gleichung ist ihm zwar nicht gelungen, aber eine Lösung mit Vernachlässigungen, die bei praktischen Anwendungen meist mit hinreicher Genauigkeit zutreffen. Es war das Verdienst Lavals gewesen zu erkennen, daß die Welle nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit unruhig lief, d. h. in Schwingungen geriet. Föppl hat den vorher nur qualitativ bekannten Vorgang auch quantitativ berechenbar gemacht und seine Lösung in eine auch für praktische Belange bequem nutzbare Formel verwandelt. Großes Aufsehen erregte seine Theorie des Schlickschen Schiffskreisels [20], die er 1903 veröffentlichte, oder die 1910 veröffentlichte „Theorie des Kreiselwagens der Einschienenbahn“ [21].

Föppl brauchte und benutzte die zahlreichen experimentellen Arbeiten aus dem mechanisch-technischen Laboratorium zur Aufstellung und Überprüfung seiner theoretischen Ansätze. Sie bildeten nach seinem Stil den Erfahrungsschatz von Voraussetzungen, der in die Elastizitätstheorie eingebracht werden mußte, wenn sie praktisch relevante Erfolge haben wollte. Die Überprüfung von Materialeigenschaften in ihrer Ausdehnung auf dynamische Probleme ganzer Konstruktionsteile führten bei ihm zur Ableitung von praktischen Formeln und Verfahren der Ingenieurwissenschaften. Sein strenger Gerechtigkeitssinn läßt ihn dabei auch die Anerkennung seiner Mitarbeiter nie vergessen. Knickversuche an Winkelheisen, Härteversuche, Abnützungsversuche an Hartsteinen wechseln mit Versuchen an Eisenbahnkupplungen über Elastizität und Festigkeit von Gußeisen, Druckfestigkeit des Holzes in der Richtung quer zur Faser u. a. 1906 kommen Stauchversuche an Kupfer und Flußeisen, Schlagversuche an Steinen zur Prüfung der Zähigkeit und endlich Dauerversuche mit eingekerbten Stäben.

Zum Schluß sei noch auf einige mögliche Quellen von Föppls Kreativität hingewiesen, die im rein physikalischen Erkenntnisprozeß beheimatet sind und deren Tragweite wir erst mit dem Bekanntwerden von Einsteins Relativitätstheorie zu erahnen begonnen haben. Föppl hatte sich seit seiner Berührung mit der Physik bei Gustav Wiedemann immer wieder mit den Grundlagen der Mechanik, ihrer Geschichte, ihrem Wesen, ihren Zielen und Methoden beschäftigt. Er scheute sich nicht, auch an diesen, bereits klassisch gewordenen Grundlagen zu rütteln. So hatten ihn seine Arbeiten zur Theorie der Elektrizität sowie die Wiederholung der Foucaultschen Kreiselversuche zur Bestimmung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde dazu veranlaßt, auch über eine Erweiterung des Newtonschen Gravitationsgesetzes nachzudenken [22]. Wie bekannt, ist nach diesem Gesetz die Kraft zwischen zwei sich gegenseitig anziehenden Massen proportional dem Produkt dieser beiden Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernung. Der Proportionalitätsfaktor wird Gravitations-

konstante genannt. Erfolge bei der Bahnbestimmung weit entfernter Himmelskörper hatten den Blick dafür verdeckt, daß die allgemeine Massenanziehung vielleicht nicht nur von der augenblicklichen Entfernung, sondern auch von der relativen Geschwindigkeit, vielleicht sogar von der Beschleunigung beider Massen gegeneinander abhängig sein könne. Der Gedanke, daß auch bei der allgemeinen Massenanziehung zu dem von der Entfernung abhängigen Gliede noch andere Glieder hinzutreten könnten, vielleicht von ähnlicher Art wie beim elektrodynamischen Grundgesetz von Weber, war schon von Newton selbst erwogen worden. Man denke nur an seinen Versuch mit dem rotierenden Wassereimer. Auch Ernst Mach hatte in seiner Mechanik darauf hingewiesen, daß niemand zu sagen vermöchte, wie Newtons Versuch ausgefallen wäre, wenn ihm mächtigere Hilfsmittel und Meßmethoden zur Verfügung gestanden hätten. Wegen der Erfolge der astronomischen Beobachtungen und der aus ihnen abgeleiteten Schlüsse hatte man diese Frage niemals wieder aufgegriffen oder mit der gleichen Genauigkeit geprüft wie die der genauen Bestimmung der Gravitationskonstanten. Hier bestätigt sich die Richtigkeit der Schrödingerschen Auffassung vom Zweck der Geschichtsforschung, daß es nämlich nicht nur gilt, „vergessene Weisheit auszugraben, sondern auch altüberkommenen Irrtum an der Quelle zu erforschen, wo er leichter zu durchschauen ist“ [23]. Föppl ist in diesem Sinn kreativ geworden. Unter Zuhilfenahme seiner theoretischen Kenntnisse aus der Elektrizitätslehre hat er die Richtigkeit des historischen Ursprungs des Gravitationsgesetzes in Frage gestellt und angenommen, daß ein von der relativen Geschwindigkeit beider Massen abhängiges Glied vorkäme, das mit der 4. Potenz der Entfernung abnimmt. Daraus erkennt man leicht, daß sich ein solches Glied bei den Bewegungen im Sonnensystem nicht bemerkbar zu machen brauchte, während es bei Versuchen mit nahe benachbarten Massen ganz gut von gleicher Größenordnung oder noch weit größer sein könnte als die Massenanziehung zwischen relativ zueinander ruhenden Massen. Föppl hat einen entsprechenden Versuch mit einem rotierenden Schwungrad und seiner Wirkung auf eine in der Nähe aufgestellte Drehwaage gemacht. Es war zwar ein Effekt nachweisbar, aber Föppl wollte trotz Ausschaltung elektrostatischer, magnetischer und elektrodynamischer Kräfte einen Versuchsfehler durch akustische Effekte nicht ausschließen. Aber er konnte eine ungefähre Grenze angeben, unterhalb der die von der Geschwindigkeit abhängigen Kräfte liegen müßten [24].

Die weiteren Ergebnisse der Föpplischen Arbeiten seien nur kurz angedeutet. Es ging um den Nachweis einer mittleren Gravitationskraft bei endlicher Massendichte im unendlich ausgedehnten Kosmos. Dies setzte voraus, daß es neben anziehenden Newtonschen Massen auch abstoßende oder, in Analogie zum elektrostatischen Feld, im Gravitationsfeld auch Senken und Quellen geben müsse. Damit besäßen alle Kraftlinien Anfangs- und Endpunkte. Sie könnten nicht ins Unendliche gelangen. Die Summe der Dichte der Senken und Quellen des Gravitationsfeldes müßte im Mittel ver-

schwinden. Dies korrespondiert formal mit Einsteins relativistischer Kosmologie. Von Bedeutung ist, daß sich Föppl vor den bahnbrechenden Veröffentlichungen Einsteins mit den Fragen der Relativitätstheorie befaßte. Nach Professor Treder [25] ist Einstein mit Sicherheit zweimal mit Föppls Werken in engeren Kontakt getreten, „und zwar erstens als Student mit Föppls Lehrbuch „Theorie der Elektrizität“ und zweitens via Ernst Machs Mechanik mit Föppls Idee eines experimentellen Nachweises des Machschen Prinzips“. Föppl reichte seine Arbeit über „Absolute und relative Bewegung“ bei der Bayrischen Akademie der Wissenschaften ein, die ihn 1909 auch als einzigen Ingenieur zu ihrem Mitglied berufen hatte [26].

Kurz vor seiner Emeritierung gab Föppl im Jahre 1920 gemeinsam mit seinem Sohn Ludwig noch das zweibändige Werk „Drang und Zwang“ [17] heraus. Dies war eine höhere Festigkeitslehre, die neueste Forschungsergebnisse kritisch aufarbeitete und durch eigene Untersuchungen ergänzte. Im Jahre 1921 suchte er um seine Emeritierung nach. Er behielt die Leitung des Mechanisch-Technischen Laboratoriums, aus dem weiterhin ohne Unterbrechung wichtige experimentelle Forschungsergebnisse veröffentlicht wurden, und zog sich bis auf kleinere Spezialvorlesungen aus der Lehrtätigkeit zurück. Bei seiner Emeritierung wurde ihm von der Bauingenieurabteilung der Technischen Hochschule München sowie der Technischen Hochschule Darmstadt der Titel eines „Doktor-Ingenieurs ehrenhalber“ verliehen. Nach seinem Tode am 12. August 1924 in Ammerland in Bayern erschienen seine Lebenserinnerungen, in denen er in berechtigt zufriedener Rückschau auf sein außerordentlich schöpferisches Leben sagt [10]: „Mein Lebensziel ist erreicht. Wenn heute oder morgen das Ende kommt, wird es mir als ein guter Abschluß willkommen sein.“

Die vorstehenden Ausführungen konnten nur eine erste Anregung zu einer intensiven Beschäftigung mit Föppls Lebensleistung sein. Eine detaillierte kritische Einschätzung steht in der Literatur noch aus. Für eine resümierende Zusammenfassung von Föppls Verdiensten um die Technikwissenschaften und für eine aktuelle Schlußfolgerung zur heutigen Ingenieurausbildung stehen aber zwei ausgezeichnet treffende Zitate zur Verfügung. Das erste stammt von Prof. S. Finsterwalder und wurde anläßlich von Föppls 70. Geburtstag im Jahrbuch der Bayrischen Akademie der Wissenschaften veröffentlicht [28]: „Wenn man sich die Erforschung eines Gebietes der Wissenschaft unter dem Bilde der Erforschung eines Landes vorstellt, so kann man Föppls Wirken auf dem Gebiet der Technischen Mechanik wohl so kennzeichnen: Er begnügte sich nicht, als Gipfelstürmer neue Aussichten zu eröffnen oder als Pfadfinder verborgene Winkel aufzuspüren, er war zugleich ein richtiger Bahnbrecher, der das von ihm und anderen entdeckte Land mit klug angelegten, wohlgepflegten Straßen durchzog und damit der Allgemeinheit erschloß.“

Für den Wert der theoretischen Bemühungen Föppls in der Technischen Mechanik auch für unsere heutige Ingenieurausbildung soll Föppl selbst zu Wort kommen. Im Anschluß an die beeindruckende Darstellung

der Plattenbiegung sagte er [1, Bd. 3]: „Überdies ist als Zweck aller solcher Untersuchungen keineswegs allein die Ableitung einiger Formeln zu erblicken, mit denen man späterhin etwas anfangen kann, sondern weit mehr noch die Schulung, die dadurch gewonnen wird, daß man sich volle Klarheit über alle Einzelheiten verschafft, die bei dem betreffenden Falle in Frage kommen. Eine solche Schulung befähigt dazu, auch in verwickelteren Fällen das Kräftespiel in allgemeinen Umrissen zu verfolgen und gibt die rechte Grundlage ab für das, was man den praktischen Blick nennt. Dieser bildet die beste und reifste Frucht der gehörigen geistigen Durchdringung eines Gegenstandes, und so ist es auch jedenfalls zu verstehen, wenn von hervorragender Seite der Satz hingestellt wurde, daß es für den Ingenieur viel wichtiger ist, richtig schätzen, als richtig rechnen zu können. Man muß nur hinzufügen, daß das Schätzen viel schwieriger ist als das Rechnen nach bekannten Regeln, und daß es nur dadurch gelernt werden kann, daß man eine Anzahl einfacher Fälle gehörig durchgerechnet hat.“

LITERATUR

- [1] Föppl, A.: Vorlesungen über technische Mechanik. 6 Bde. B. G. Teubner, Leipzig (1898 – 1910).
- [2] Korištka, C.: Der höhere polytechnische Unterricht in Deutschland, in der Schweiz, in Frankreich, Belgien und England. Gotha (1863).
- [3] Föppl, A.: Die Anordnung eines Brückenträgers, bei dem durch eine besondere Hilfsbelastung ein Horizontalschub von unveränderlicher Größe aufrechterhalten werden soll. Deutsche Bauzeitung, Berlin (1875).
- [4] Föppl, A.: Die graphische Lösung technischer Aufgaben für Architekten, Ingenieure, Studenten, technischer Lehranstalten und gebildete Bauhandwerker. Knapp, Leipzig (1877).
- [5] Culmann, K.: Die graphische Statik. Meyer u. Zeller, Zürich (1875) 2. Aufl.
- [6] Föppl, A.: Theorie des Fachwerks (Ausgew. Kap. d. math. Theorie der Baukonstruktionen, 1 Bd.). B. G. Teubner, Leipzig (1880).
- [7] Föppl, A.: Theorie der Gewölbe. (Ausgew. Kap. d. math. Theorie der Baukonstruktionen, 2. Bd.), B. G. Teubner, Leipzig (1881).
- [8] Föppl, A.: Das Fachwerk im Raum. B. G. Teubner, Leipzig (1892).
- [9] Föppl, A.: Die Eisenkonstruktion der Markthalle zu Leipzig. Der Civilingenieur NF, Leipzig 37 (1891).
- [10] Föppl, A.; Föppl, O.: Lebenserinnerungen (Rückblick auf meine Lehr- und Aufstiegsjahre). R. Oldenbourg, München und Berlin (1925).
- [11] Föppl, A.: Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität (Mit einem einleitenden Abschnitt über das Rechnen mit Vektorgrößen in der Physik). B. G. Teubner, Leipzig (1894).
- [12] Föppl, A.: Über den heutigen Stand der elektrischen Beleuchtungsfrage. Der Civilingenieur NF, Leipzig 36 (1890) 7, S. 462.
- [13] Föppl, A.: Bericht über Elektrotechnik. In: Werbeschrift d. Städt. Gewerbeschule, Leipzig (1887) S. 20.
- [14] Föppl, A.: Geometrie der Wirbelfelder. B. G. Teubner, Leipzig (1897).
- [15] Föppl, A.: Gustav Wiedemann. Elektrotechn. Ztschr., Berlin (1901) S. 59.
- [16] Schlink, W.: August Föppl. Ztschr. f. Ang. Math. Mech., Berlin 3 (1923), S. 481 – 483.

- [17] Mollier, R.: Buchbesprechung von Föppls „Vorlesungen über technische Mechanik Bd. 1“. VDI-Ztschr., Berlin 45 (1901) S. 241.
- [18] Föppl, A.: Mitteilungen aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium der K. Technischen Hochschule München. Gegr. von J. Bauschinger. Neue Folge. Th. Ackermann, München (1896).
- [19] Föppl, A.: Vereinfachte Darstellung meiner Theorie der Lavalschen Turbinenwelle. Der Civilingenieur NF, Leipzig 42 (1896), S. 249 – 252.
- [20] Föppl, A.: Schlickscher Schriftwechsel. VDI-Ztschr., Berlin 39 (1904).
- [21] Föppl, A.: Zur Theorie des Kreiselwagens der Eisenbahnen. Elektrotechn. Ztschr., Berlin (1910).
- [22] Föppl, A.: Kreiselversuche zur Messung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde. Sitzungsber. d. Bayr. Akad. Wiss., München 34 (1904) 24 S.
- [23] Schrödinger, E.: Die Natur und die Griechen. Hamburg (1956).
- [24] Föppl, A.: Versuch über die allgemeine Massenanziehung. Phys. Ztschr., Leipzig 6 (1905), S. 113 – 114.
- [25] Treder, H.-J.: Briefliche Mitteilung aus dem Einstein-Laboratorium für Theoretische Physik der Akademie der Wissenschaften der DDR. Caputh (19. 10. 1988).
- [26] Föppl, A.: Absolute und relative Bewegung. Sitzungsber. d. Bayr. Akad. d. Wiss., München 34 (1904), 13 S.
- [27] Föppl, A.; Föppl, L.: Drang und Zwang (Eine höhere Festigkeitslehre für Ingenieure), 2 Bde. R. Oldenbourg, München und Berlin (1920).
- [28] Finsterwalder, S.: August Föppl. Jb. d. Bayr. Wiss. 1924, München (1925) S. 33 – 37.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Lothar Hiersemann
Johnny-Schehr-Str. 15
Leipzig
7022