Emmy Noether[1]

Emmy Noether
Begründerin einer mathematischen Schule[2]

von Mechthild Koreuber und Renate Tobies

Emmy Noether (1882–1935) gilt als die bedeutendste Mathematikerin des 20. Jahrhunderts (vgl. Gottwald et al. 1990). Einige Mathematiker bezeichnen sie heute als die „Mutter der modernen Algebra“ (erstmals Kaplanski 1973; Tollmien 2000). Bereits 1927 war mit einer gewissen Selbstverständlichkeit von der Noether-Schule die Rede; so schrieb beispielsweise Helmut Hasse (1898–1979): „. . . die durch E. Noether und ihre Schule gut eingebürgerte idealtheoretische Ausdrucksweise.“ (Hasse 1927, 393) Auch Bartel L. van der Waerden (1903–1906) sprach von der „Schule“ Emmy Noethers (vgl. Hilbert 1933, 402); ihre Schüler wurden als „Noether-Knaben“ bezeichnet (Weyl 1935, 210).

Spätestens mit den umfangreichen Nachrufen Hermann Weyls (1885–1955), Pawel S. Alexandrows (1896–1985) und van der Waerdens bürgerte sich diese Beschreibung für die Gruppe um Noether ein. Diese Bezeichnung fand auch Eingang in mathematikhistorische Arbeiten (vgl. z. B. Wußing/Arnold 1975, 509; Corry 1996, 221f.). Im Vergleich zur mathematischen Schule Issai Schurs (1875–1941) gilt die algebraische Schule Noethers als die abstraktere (Brüning et al. 1998, 23).

Dennoch werden Zweifel über Einfluss und schulenbildende Wirksamkeit Emmy Noethers formuliert. Fauvel (1994) beschränkt ihren Einfluss auf das frühe 20. Jahrhundert und hält es für notwendig, die Schwierigkeiten ihres Weges und ihr männliches Aussehen herauszustreichen. In Pier (2000, 1230) wird ihr gar – im Vergleich mit dem Wirken Schurs – abgesprochen, eine eigene mathematische Schule begründet zu haben. Insgesamt herrscht ein intuitiver Umgang mit dem Schulenbegriff vor, der u. a. verhindert, zwischen Doktoranden und Schülern präzise zu unterscheiden.

Wir skizzieren zunächst kurz die Karriere Emmy Noethers und ihr Programm, womit sie in die Lage versetzt wurde, eine Gruppe von Personen um sich zu sammeln und mit ihnen zu arbeiten. Dabei nehmen wir insbesondere Noethers Wirken als Doktormutter in den Blick. In der Analyse um die schulenbildende Wirkung Noethers stützen wir uns auf bisherige Arbeiten zum Schulenbegriff und analysieren, ob die Merkmale für diese Gruppe zutreffen.

Von der Promotion zur Professorin

Emmy Noether galt lange Zeit als die erste in Deutschland geborene Frau, die in Mathematik pro-

1 Quelle: Handschriftenabteilung der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

2 Der Beitrag präsentiert einige neuere Ergebnisse zur Biographie Emmy Noethers und ihrer Schüler/innen, die in Verbindung mit dem Promotionsvorhaben „Emmy Noether, die Noether-Schule und die moderne Algebra – Zur Geschichte einer kulturellen Bewegung“ Mechthild Koreubers und dem von der Volkswagen-Stiftung geförderten Projekt „Frauen in der Mathematik. Determinanten von Berufsverläufen in der Mathematik unter geschlechtsvergleichender Perspektive“ von Renate Tobies gefunden wurden. Für die Unterstützung bei den Archivarbeiten danken die Autorinnen Herrn Dr. C. Wachter, UA Erlangen, und Herrn Dr. U. Hunger, UA Göttingen, Herrn Dr. H. Rohlfing, UB Göttingen. R. Tobies dankt zudem Prof. Dr. Ch. J. Scriba (Hamburg) und Dr. G. Schubring für Literaturhinweise zum Schulenbegriff; den Professoren R. Schimming (Greifswald), R. Siegmund-Schultze (Kristiansand) und W. Purkert (Bonn) für wichtige Hinweise bei der Durchsicht einer ersten Version dieses Aufsatzes.

movierte. Inzwischen ist bekannt, dass – nach Sofja Kowalewskajas (1850–1891) Promotion 1874 in Göttingen – im Jahre 1895 Marie Gernet (1865–1924) als erste Deutsche den Doktortitel unter Leo Koenigsberger (1837–1921) in Heidelberg erwarb (Tobies 1997, 137ff.). Nach weiteren sechs ausländischen Mathematik-Promovendinnen unter Felix Klein (1849–1925) und David Hilbert (1862–1943) im Zeitraum von 1895 bis 1906 in Göttingen, einer Engländerin, zwei Amerikanerinnen und drei Russinnen (vgl. Tobies 1999), folgte Emmy Noethers Promotion in Erlangen.

Über ihren Weg von der Promotion zur Professorin besteht noch weitreichende Unkenntnis, da die Darlegungen in für Mathematiker nicht leicht zugänglichen Publikationsorganen erschienen. Die drei Anläufe, die Emmy Noether bis zur erfolgreichen Habilitation (1915, 1917, 1919) benötigte, analysierte Tollmien (1990, 1991). Dabei ist der außerordentliche Einsatz der Göttinger Mathematiker Klein, Hilbert u. a. zu unterstreichen, die schließlich erreichten, dass Emmy Noether als erste Frau in Mathematik habilitiert wurde. Einige im Hilbert-Nachlass gefundene Briefe erhellen den frühen wissenschaftlichen Kontakt Emmy Noethers mit den Göttinger Mathematikern.

Nach einem Studiensemester (WS 1903/04) in Göttingen, ihrer Promotion an der Universität Erlangen bei Paul Gordan (1837–1912) mit der Dissertation „Über die Bildung des Formensystems der ternären biquadratischen Form“ (*Crelle-Journal* 134 (1908) 23–90) (Rigorosum: 13. 12. 1907; Promotionsdatum: 1908) und weiterer wissenschaftlicher Tätigkeit in Erlangen, hatten Klein[3] und Hilbert Emmy Noether während des Ersten Weltkrieges (zum SS 1915) nach Göttingen geholt. Sie war seit 1909 Mitglied der DMV[4] und hatte nach ihrer Dissertation zunächst weiter zur Invariantentheorie gearbeitet. Den neuen Zugang hierzu hatte Hilbert bereits mit einer Arbeit von 1888 eröffnet (Hilbertsches Basistheorem) und mit seiner berühmten Problemliste auf dem II. Internationalen Mathematiker-Kongress 1900 in Paris weitere Impulse gegeben. Noether knüpfte an Problem 14[5] an, trug darüber erstmals auf der Jahresversammlung der DMV 1913 in Wien vor und schickte das ausgearbeitete Manuskript mit folgendem Anschreiben am 4. Mai 1914 aus Erlangen an Hilbert (UBG):

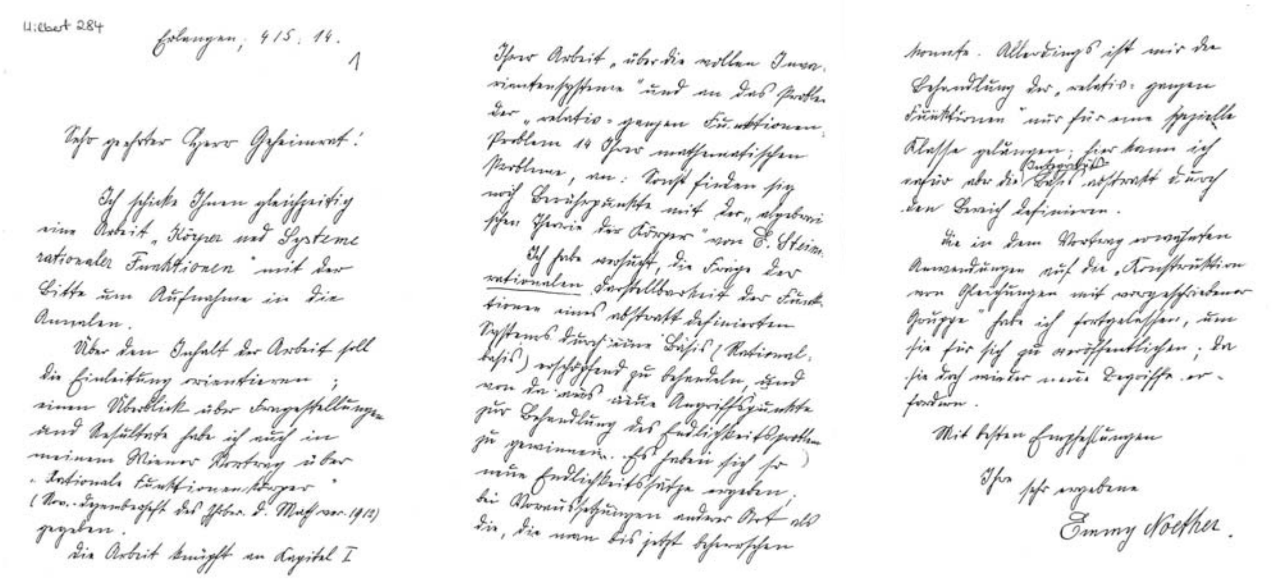
> Sehr geehrter Herr Geheimrat!
>
> Ich schicke Ihnen gleichzeitig eine Arbeit „Körper und Systeme rationaler Funktionen“ mit der Bitte um Aufnahme in die Annalen.
>
> Über den Inhalt der Arbeit soll die Einleitung orientieren; einen Überblick über Fragestellungen und Resultate habe ich auch in meinem Wiener Vortrag über „Rationale Funktionenkörper“ (Nov.–Dezemberheft des Jhrber. d. Mathver. 1913) gegeben.
>
> Die Arbeit knüpft an Kapitel I Ihrer Arbeit „über die vollen Invariantensysteme“ und an das Problem der „relativ-ganzen Funktionen“, Problem 14 Ihrer mathematischen Probleme, an. Sonst finden Sie noch Berühr[ungs]punkte mit der „algebraischen Theorie der Körper“ von E. Steinitz.
>
> Ich habe versucht, die Fragen der rationalen Darstellbarkeit der Funktionen eines abstrakt definierten Systems durch eine Basis (Rationalbasis) erschöpfend zu behandeln, und von da aus neue Angriffspunkte zur Behandlung des Endlichkeitsproblems zu gewinnen. Es haben sich so neue Endlichkeitssätze ergeben; bei Voraussetzungen anderer Art als die, die man bis jetzt beherrschen konnte. Allerdings ist mir die Behandlung der „relativ-ganzen Funktionen“ nur für eine spezielle Klasse gelungen; hier kann ich dafür aber die Integritäts-Basis abstrakt durch den Bereich definieren.
>
> Die in dem Vortrag erwähnten Anwendungen auf die „Konstruktion von Gleichungen mit vorgeschriebener Gruppe“ habe ich fortgelassen, um sie für sich zu veröffentlichen; da sie doch wieder neue Begriffe erfordern.
>
> Mit besten Empfehlungen
>
> Ihre sehr ergebene Emmy Noether

Die erwähnte Arbeit erschien im Band 76 (1915) in den *Mathematischen Annalen* und war ihre erste Publikation in dieser Zeitschrift. Diese Arbeit reichte sie auch – auf Anregung Hilberts – als erste Habilitationsschrift ein, nachdem sie im SS 1915 nicht nur Klein und Hilbert, sondern alle Göttinger Mathematiker von ihren Leistungen überzeugt hatte. Da das preußische Kultusministerium am 29. Mai 1908 einen Erlass verfügt hatte, der Frauen die Habilitation grundsätzlich untersagte, blieben das Habilitationsgesuch 1915 und ein zweiter Versuch 1917 erfolglos. Hilbert konnte ab WS 1916/17 durchsetzen, dass

3 Bereits bei der Arbeit am Nachruf auf Paul Gordan war Klein von den außerordentlichen Leistungen Emmy Noethers überzeugt worden (vgl. Tobies 1991/92).

4 Vor E. Noether waren folgende Frauen bereits DMV-Mitglied: ab 1901 die Russin Nadjeschda von Gernet, die 1901 bei Hilbert promoviert hatte, und ab 1905 die Italienerin Laura Pisati (Toepell 1991).

5 Das 14. Hilbertsche Problem besteht darin „zu entscheiden, ob es stets möglich ist, *ein endliches System von relativganzen Funktionen von* $X_1, \ldots, X_m$ *aufzufinden, durch die sich jede andere relativganze Funktion von* $X_1, \ldots, X_m$ *in ganzer rationaler Weise zusammensetzen läßt.* Wir können das Problem noch einfacher formulieren, wenn wir den Begriff *des endlichen Integritätsbereiches* einführen . . . .“ Das Problem wurde durch M. Nagata schließlich negativ beantwortet (vgl. Manin 1971).



Brief Emmy Noethers an David Hilbert, vom 14. Mai 1914 (Quelle: Handschriftenabteilung der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Nachlass Cod. Ms. Hilbert, Nr. 284)

Noether unter seinem Namen in das Vorlesungsverzeichnis aufgenommen wurde: „Prof. Hilbert mit Unterstützung von Frl. Dr. Noether". Es war schließlich Albert Einstein (1879–1955), der am 27. Dezember 1918 mit einem Schreiben an Klein das Thema erneut aufwarf, und der bereits emeritierte Klein schrieb am 5. Januar 1919 an Ministerialdirektor Naumann in Berlin:

> [...] Bei den heutigen Zeitumständen kann es in der Tat nicht fehlen, dass die jetzige Stellung von Frl. Noether von vielen Seiten als eine unbillige Einengung empfunden wird, zumal die wiss. Leistung von Frl. Noether alle von uns gehegte Voraussicht weit übersteigt. Sie hat im letzten Jahre eine Reihe theoretische Untersuchungen abgeschlossen, die oberhalb aller im gleichen Zeitraum von anderen hierorts realisierten Leistungen liegen (die Arbeiten der Ordinarien mit eingeschlossen) [...]
>
> (vollständig zitiert in Tobies 1991/92)

Am 8. Mai 1919 beschied das Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung, dass es keine Einwände gegen Emmy Noethers Habilitation erhebe, dies noch vor dem generellen Erlass vom 21. Februar 1920, der bestimmte, „daß in der Zugehörigkeit zum weiblichen Geschlecht kein Hindernis gegen die Habilitation erblickt werden darf." Noethers Verfahren umfasste ein wissenschaftliches Kolloquium am 28. Mai 1919 und eine Probevorlesung zum Thema „Fragen der Modultheorie" am 4. Juni 1919. Als Habilitationsschrift war ihre Arbeit „Invariante Variationsprobleme" anerkannt worden, die Klein am 26. Juli 1918 der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften vorgelegt hatte und die in den Nachrichten der Gesellschaft 1918 erschienen war (vgl. auch Rowe 1999).

Wie schon Kleins Schreiben ausdrückte, hatte sie eine unvergleichliche Produktivität entfaltet, die bereits die Anregung von zwei Dissertationen umfasste und die niemand besser als sie selbst zu beurteilen vermochte. Deshalb sei an dieser Stelle aus ihrem Lebenslauf zitiert, den sie am 4. Juni 1919 für das Habilitationsverfahren verfasste (UAG):

> [...] Meine Dissertation und eine weitere Arbeit „Zur Invariantentheorie der Formen von n Variablen" gehören noch dem Gebiet der formalen Invariantentheorie an, die mir als Schülerin Gordans nahe lag. Die große Arbeit „Körper und Systeme rationaler Funktionen" beschäftigt sich mit allgemeinen Basisfragen, erledigt vollständig das Problem der rationalen Darstellbarkeit und gibt Beiträge zu den übrigen Endlichkeitsfragen. Eine Anwendung dieser Resultate ist enthalten in der Arbeit „Invarianten endlicher Gruppen", die einen ganz elementaren Endlichkeitsbeweis dieser Invarianten bringt mit wirklicher Angabe der Basis. In diese Gedankenreihen gehört weiter die Arbeit „Algebraische Gleichungen mit vorgeschriebener Gruppe", die einen Beitrag zu der Konstruktion solcher Gleichungen bei beliebigem Rationalitätsbereich liefert. *Für Gleichungen dritten und vierten Grades ist diese Parameterkonstruktion als Erlanger Dissertation im einzelnen durchgeführt worden von F. Seidelmann.*
>
> Die Arbeit über „Ganze rationale Darstellung von Invarianten" weist eine von D. Hilbert ausgesprochene Vermutung als zutreffend nach und gibt zugleich einen rein begrifflichen Beweis für die Reihenentwicklungen der Invariantentheorie, die auf der Äquivalenz linearer

Formenscharen beruht und teilweise Gedankengängen von E. Fischer nachgebildet ist. Diese Arbeit gab dann ihrerseits wieder E. Fischer den Anstoß zu einer größeren Arbeit über „Differentiationsprozesse der Algebra" (Crelle 148).

Zu diesen rein algebraischen Arbeiten gehören auch zwei noch unveröffentlichte: ein Endlichkeitsbeweis für die ganzzahligen binären Invarianten, über den ich in der math. Gesellschaft berichtet habe, und eine gemeinsame mit W. Schmeidler verfaßte Untersuchung über nicht-kommutative, einseitige Moduln, die durch gelegentliche Frage von E. Landau angeregt wurde. Hierher gehört auch die Beschäftigung mit Fragen der Algebra und Modultheorie und mit der Frage nach der „Alternative bei nicht linearen Gleichungssystemen", über deren Resultate ich gleichfalls in der math. Gesellschaft berichtet habe. Die größere Arbeit „Die allgemeinsten Bereiche aus ganzen transzendenten Zahlen" benutzt neben den algebraisch-arithmetischen Prinzipien auch solche der abstrakten Mengentheorie. Nachdem Zermelo gelungen war, überhaupt einen Bereich der ganzen transzendenten Zahlen zu konstruieren, wird hier ein Überblick gegeben; und zugleich die Konstruktion der ganzen Größen auf beliebige, abstrakt definierte Körper ausgedehnt. Derselben Richtung gehört die Arbeit „Funktionengleichungen der isomorphen Abbildungen" an, die die allgemeinste isomorphe Abbildung eines beliebig abstrakt definierten Körpers angibt.

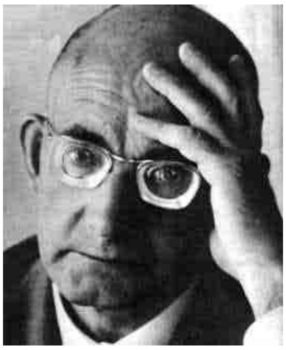
Schließlich sind noch zwei Arbeiten über Differentialinvarianten und Variationsprobleme zu nennen, die dadurch mit veranlaßt sind, daß ich die Herren Klein und Hilbert bei ihrer Beschäftigung mit der Einsteinschen allgemeinen Relativitätstheorie unterstützte. Die vorläufige Note „Invarianten beliebiger Differentialausdrücke" gibt für die Differentialausdrücke die Zurückführung der Fragen nach den allgemeinsten Invarianten gegenüber der Gruppe aller analytischen Transformationen auf eine Frage der linearen Invariantentheorie. Die zweite Arbeit „Invariante Variationsprobleme", die ich als Habilitationsschrift bezeichnet habe, beschäftigt sich mit beliebigen endlichen oder unendlichen kontinuierlichen Gruppen im Lie'schen Sinne und zieht die Folgerungen aus der Invarianz eines Variationsproblems gegenüber einer solchen Gruppe. In den allgemeinen Resultaten sind als Spezialfälle, die in der Mechanik bekannten Sätze über erste Integrale, die Erhaltungssätze und die in der Relativitätstheorie aufgetretenen Abhängigkeiten zwischen den Feldgleichungen enthalten, während andererseits auch die Umkehrung dieser Sätze gegeben wird. *Ferner möchte ich noch erwähnen, daß außer der oben genannten noch eine weitere Erlanger Dissertation von mir angeregt worden ist: „Über Verzweigung der Lösungen nichtlinearer Differentialgleichungen" von H. Falckenberg.* Es handelt sich dort um Realitätsuntersuchungen im Anschluß an die Schmidtsche Arbeit über nichtlineare Integralgleichungen. [Hervorhebung d. A].

Emmy Noether Emil Artin
(Quelle: `http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk`)

Ab Herbst-Zwischensemester 1919 bot Noether Lehrveranstaltungen erstmals unter ihrem eigenen Namen an. Obwohl für die a.o. Professur in der Regel eine vorausgehende Privatdozentenzeit von mindestens sechs Jahren Bedingung war, beschloss die mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät bereits am 9. Februar 1922, den Titel für sie zu beantragen. In der Antragsbegründung hieß es, sie übe „auf die begabten Studenten eine starke wissenschaftliche Anziehungskraft aus und hat viele von ihnen wesentlich gefördert, darunter auch solche, die inzwischen Ordinariate erreicht haben".[6] Noether erhielt den Titel nichtbeamteter außerordentlicher (n.b.a.o.) Professor am 6. April 1922. Das war das höchste, was einer Frau an einer preußischen Universität zu dieser Zeit zugestanden wurde. Finanzielle Einkünfte hatte sie nur durch einen Lehrauftrag für Algebra, der im SS 1923 erstmals erteilt wurde und jährlich neu beantragt werden musste. Je ein Semester wirkte sie als Gastprofessorin in Frankfurt a.M. (1927) und Moskau (1928/29). Ihre international errungene Anerkennung drückte sich 1932 in der Einladung zu einem Hauptvortrag auf dem Internationalen Mathematiker-Kongress in Zürich aus. Die ebenfalls 1932 erfolgte Verleihung des Alfred Ackermann-Teubner Gedächtnispreises an sie – und Emil Artin (1898–1962) – war ein Ausdruck des zeitgenössischen Verständnisses, wer die Hauptleistungen in „Arithmetik und Algebra" erbracht hatte. Nach der von den Stiftern festgelegten Reihenfolge mathematischer Gebiete[7] wurde der alle zwei Jahre vergebene Preis seit 1916 erstmals wieder dafür erteilt.

Als ihr 1933 die Lehrbefugnis entzogen wurde, hinterließ sie „eine mathematische Schule [. . .], aus der die

6 Hier wird u. a. auf Werner Schmeidler (1890–1969) angespielt, dessen Habilitationsschrift Noether angeregt und betreut hatte.
7 Vgl. auch Stiftungsurkunde, *Jahresbericht der DMV* 21 (1912) Abt.2, 139ff.


Pawel Aleksandrow


Richard Dedekind


Bartel L. van der Waerden


Emmy Noether

(Quelle: `http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk`)

tüchtigsten der jüngeren Mathematiker hervorgegangen sind, die jetzt zum Teil Dozenten, zum Teil Ordinarien an deutschen Universitäten sind“, wie zwölf ihrer Doktoranden und Schüler formulierten. (UAG, publ. in Tollmien 1990, 208) Emmy Noether entschloss sich zur Emigration in die USA und konnte mit Unterstützung der Rockefeller-Stiftung (vgl. Siegmund-Schultze 2001) bis zu ihrem frühen Tod am Frauen-College Bryn Mawr wirken.

Vom begrifflichen Denken zur strukturellen Mathematik

Van der Waerden (1935, 476) charakterisierte Noethers Auffassung über Mathematik und ihre Methode mit folgenden Worten:

> Ein unerhört energisches und konsequentes Streben nach begrifflicher Durchdringung des Stoffes bis zur restlosen methodischen Klarheit; ein hartnäckiges Festhalten an einmal als richtig erkannten Methoden und Begriffsbildungen, auch wenn diese den Zeitgenossen noch so abstrakt und unfruchtbar vorkamen; ein Streben nach Einordnung aller speziellen Zusammenhänge unter bestimmte allgemeine begriffliche Schemata.

Alexandrow führte im Nachruf auf Emmy Noether aus:

> She then appeared as the creator of a new direction in algebra and became the leader, the most consistent and brilliant representative, of a popular mathematical doctrine – of all that is characterized by the term „Begriffliche Mathematik“ [Hervorhebung i. O.] (Alexandroff 1935, 101)

Diese Bezeichnung wurde bisher in historiographischen Arbeiten kaum aufgegriffen. Doch verweist sie stärker auf Noethers Anliegen als alle anderen Charakterisierungsversuche wie etwa „axiomatisch“ in Anlehnung an Hilbert, „modern“ oder „abstrakt“ in Abgrenzung zur klassischen u. a. von Issai Schur vertretenen Algebra. Van der Waerden (1935, 469) schrieb:

> Die Maxime, von der sich Emmy Noether immer hat leiten lassen, könnte man folgendermaßen formulieren: Alle Beziehungen zwischen Zahlen, Funktionen und Operationen werden erst dann durchsichtig, verallgemeinerungsfähig und wirklich fruchtbar, wenn sie von ihren besonderen Objekten losgelöst und auf allgemeine begriffliche Zusammenhänge zurückgeführt werden.

Zwölf ihrer Schüler bezeichneten 1933 „ihre Wesensauffassung der Mathematik“ mit den Worten:

> Nicht um abgerissene einzelne Sätze handelt es sich, sondern um Erkennen, Verstehen des Ganzen, und dies gelingt E. Noether auf Grund der von ihr in den letzten Jahren entwickelten begrifflich inhaltlichen Methode. Das Gebiet, das sie erforscht, die lebendigen Fragestellungen, die sie aufstellt, haben alle ihre Schüler mit Begeisterung und Leidenschaft für die Mathematik erfüllt. (UAG, zitiert bei Tollmien 1990, S. 208f.)

Begriffe waren für Noether der Ausgangspunkt mathematischen Forschens. Begriffe präzise zu bestimmen und ihre Zusammenhänge herzustellen, waren wesentlicher Teil ihres mathematischen Tuns. Doch anders als ihr Vorbild Richard Dedekind[8] (1831–1916), auf den zentrale algebraische Bezeichnungen wie Ideal, Ring und Körper zurückgehen (vgl. Mehrtens 1979), schuf Noether kaum neue Begriffe. Die wenigen neuen Worte – wie etwa das verschränkte

8 Es ist überliefert, dass Noether häufig davon sprach, alles stände bereits bei Dedekind; seine wichtigste Arbeit über Ideale las sie gemeinsam mit ihren Studierenden.

Produkt in der Klassenkörpertheorie – bildete sie in kanonischer Weise. Noether ging es um die Arbeit mit Begriffen und um die Bedeutung, die dem begrifflichen Arbeiten im Sinne der innermathematischen Bewertungskriterien von „fruchtbar" und „tiefliegend" zukommt. Bereits in dem zitierten Lebenslauf von 1919 betonte sie die Bedeutung des begrifflichen Zugangs, so etwa wenn sie darauf verwies, dass die Arbeit „einen rein begrifflichen Beweis" gibt.

Noether hinterließ keine über die Mathematik reflektierenden Äußerungen, so dass es für ein präziseres Verständnis ihrer Auffassungen und ihres methodischen Vorgehens notwendig ist, ihre mathematischen Texte detailliert zu analysieren. Ergebnisse können hier nur kurz angerissen werden (vgl. Koreuber/Große-Rhode 1998; Koreuber 2001). Der Philosoph Ernst Cassirer (1874–1945) bietet mit seinem 1910 veröffentlichen Werk „Substanzbegriff und Funktionsbegriff" die Möglichkeit, aus einer gewissen Distanz heraus Noethers spezifischen Ansatz zu erfassen. Cassirer entwickelte zwei sich gegenüberstehende Positionen der Begriffsbildung und -bestimmung. Er charakterisierte mit dem Wort Substanzbegriff eine Form,

> deren Bezugspunkt die Grundverhältnisse des Realen bilden. Die Bestimmung des Begriffs durch seine nächst höhere Gattung und durch die spezifische Differenz gibt den Fortschritt wieder, kraft dessen die reale Substanz sich successiv in ihrer besonderen Seinsweise entfaltet [...] Das vollständige System der wissenschaftlichen Definitionen wäre zugleich der vollständige Ausdruck der substanziellen Kräfte, die die Wirklichkeit beherrschen. (Cassirer 1910, 9).

Zentrale Elemente dieser ontologischen Auffassung von Begriffsbildung sind Erkennen von Ähnlichkeiten der realen Dinge und Abstraktion von ihren Besonderheiten. Dagegen stellte Cassirer den Funktionsbegriff:

> In den Definitionen der reinen Mathematik aber ist [...] die Welt der sinnlichen Dinge und Vorstellungen nicht sowohl wiedergegeben, als vielmehr umgestaltet und durch eine andersartige Ordnung ersetzt. Verfolgt man die Art und Weise dieser Umbildung, [...] so hebt sich ein gegliedertes System streng unterschiedener gedanklicher Funktionen heraus, die durch das einförmige Schema der ‚Abstraktion' nicht bezeichnet, geschweige denn begründet werden. (ebd., 19) Der bloßen ‚Abstraktion' tritt daher ein eigener Akt des Denkens, eine freie Produktion bestimmter Relationszusammenhänge, gegenüber. (ebd., 15).

Mit Cassirers Analyse im Hintergrund kann Noethers Umgang mit Begriffen als eine im ontologischen Sinne „freie Produktion von Relationszusammenhängen" verstanden werden, als gedankliche Konstruktionen, die des Rückgriffs auf die Substanz, etwa der konkreten, vertrauten Zahlen, nicht bedürfen. Begriffe sind das Benennen von Beziehungen, die die Ähnlichkeit von Dingen herstellen. Cassirer betrachtete die mathematische Begriffsbildung[9], die er mit Funktionsbegriff charakterisierte, als die wissenschaftlich wahre. Die von ihm abgelehnte Position vertritt eine Art der Begriffsbestimmung, die sich an Substanz, Realität, an Vertrautheit mit der Welt orientiert und die es ermöglicht, Begriffe dadurch zu gewinnen, dass Ähnlichkeiten von Objekten benannt werden und von ihren Besonderheiten abstrahiert wird. Ähnlich lässt sich auch Noethers Gegenhorizont beschreiben. Noether beherrschte auch das andere Vorgehen exzellent, wie u. a. ihre Doktorarbeit zeigt, lehnte jedoch später das symbolische Rechnen entschieden ab. Van der Waerden schrieb dazu:

> Ihr Denken weicht in der Tat in einigen Hinsichten von dem anderer Mathematiker ab. Wir stützen uns doch alle so gern auf Figuren und Formeln. Für sie waren diese Hilfsmittel wertlos, eher störend. Es war ihr ausschließlich um Begriffe zu tun, nicht um Anschauung oder Rechnung. (van der Waerden 1935, 476).

Wie van der Waerden hier ebenfalls andeutete, war Noethers Vorgehen für viele ihrer mathematischen Zeitgenossen befremdlich. Noether war sich dessen bewusst. Immer wieder verwies sie in ihren Publikationen auf den Sinn begrifflichen Arbeitens, so wenn sie „begriffliche Durchdringung" forderte, „Begriffe als Grundlage der Untersuchung" bezeichnete oder „vermöge bestimmter Begriffe Beweise vereinfacht". Auch ihr 1932 auf dem Internationalen Mathematikkongress gehaltener Vortrag stand unter diesem Zeichen. Ausgehend von zwei klassischen Problemen präsentierte Noether ihre neuesten Ergebnisse in der Algebrentheorie und fügte damit ihre eigene Forschungsperspektive in den Kontext der von der mathematischen Gemeinschaft als tiefliegend akzeptierten Fragestellungen. Sie schrieb:

> Mit dieser Skizze, die ich später ausführen werde, möchte ich zugleich das Prinzip der Anwendung des Nichtkommutativen auf das Kommutative erläutern: *Man sucht vermöge der Theorie der Algebren invariante und einfache Formulierungen für bekannte Tatsachen über quadratische Formen und zyklische Körper zu gewinnen, d.h. solche Formulierungen, die nur von Struktureigenschaften der Algebren abhängen. Hat*

9 Cassirer setzte dabei, indem er sich u. a. auf Guiseppe Peano (1858–1932) und Dedekind bezog, moderne Entwicklungen in der Mathematik mit Mathematik in ihrer Gesamtheit gleich.

> *man einmal diese invarianten Formulierungen bewiesen* – und das ist in den oben angegebnen Beispielen der Fall – *so ist damit von selbst eine Übertragung dieser Tatsachen auf beliebige galoische Körper gewonnen.* [Hervorhebungen i. O.] (Noether 1932, 189).

Mit den Worten „invariante Formulierungen zu gewinnen" benannte Noether ihr Vorgehen, die Bestimmung von Begriffen in den Mittelpunkt zu stellen und ihre Zusammenhänge begrifflich zu fassen. Ziel war es, sich loszulösen von einer Orientierung an vertrautem und deshalb hinderlichem Wissen über Objekte, um die „gedanklichen Konstruktionen", die „Struktureigenschaften" zu erkennen. Diese Zugangsweise zur Mathematik wurde erst später „strukturell" genannt. Corry befasste sich ausführlich mit Noethers Beitrag dazu (Corry 1996, 221ff.) und verwies auch auf den Anteil der Noether-Schule an dieser Entwicklung. Spricht man in Sinne Thomas Kuhns von einem Paradigmenwechsel von (relativ) „konkreter Mathematik" zu Strukturmathematik, so stehen Emmy Noether und ihre Schule für diese Veränderungen. Die Charakterisierung als moderne Algebra geht auf ihren Schüler van der Waerden zurück, dessen Lehrbuch „Moderne Algebra" (1930/31) inzwischen in der 9. Auflage erschien.

Noethers Auffassung drang in viele andere mathematische Gebiete ein. Sie wurde von Noether-Schülern in die algebraische Geometrie, in die Zahlentheorie und in die algebraische Topologie getragen. Das weite Anwendungsfeld der neuen Methode hatte Hasse bereits 1929 auf der Jahresversammlung der DMV in Prag hervorgehoben:

> Wie schon angedeutet, ist die moderne algebraische Methode keineswegs auf den klassischen Bestand der Algebra beschränkt, sondern greift darüber hinaus und durchsetzt eigentlich die ganze Mathematik. Überall kann man ihr Prinzip anwenden, die einfachsten begrifflichen Grundlagen für eine vorliegende Theorie aufzusuchen und dadurch vereinheitlichend und systematisierend zu wirken, von der Logik angefangen, in der man schon seit längerer Zeit von der Algebra der Logik redet, über die Mengenlehre, die Grundlagentheorie, die Zahlentheorie, die synthetische und die analytische Geometrie, die Topologie, die Integralgleichungstheorie, die Variationsrechnung bis zur Quantentheorie, die neuerdings durch das Eingreifen der Theorie der unendlichen Matrizen und der abstrakten Operatoren in algebraisches Fahrwasser geraten ist. (Hasse 1930, 33f.)

Wie konkret der persönliche Anteil Noethers z. B. für die Topologie war, beschrieben Alexandrow und Heinz Hopf (1894–1971):

Emmy Noether mit P. Dubreil und M. L. Dubreil, Göttingen, Frühjahr 1931 (Quelle: `http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk`)

> Das Interesse an Topologie in Göttingen konzentrierte sich damals vor allem in dem regen mathematischen Kreis um Emmy Noether. An sie denken wir heute in Dankbarkeit zurück. Die allgemeine mathematische Einsicht von Emmy Noether beschränkte sich nicht auf ihr spezielles Wirkungsgebiet, die Algebra, sondern übte einen lebhaften Einfluß auf jeden aus, der zu ihr in mathematische Beziehung kam. Für uns war dieser Einfluß von der größten Bedeutung, und er spiegelt sich auch in diesem Buch wider. Die Tendenz der starken Algebraisierung der Topologie auf gruppentheoretischer Grundlage, der wir in unserer Darstellung folgen, geht durchaus auf Emmy Noether zurück. Diese Tendenz scheint heute selbstverständlich; sie war es vor acht Jahren nicht; es bedurfte der Energie und des Temperaments von Emmy Noether, um sie zum Allgemeingut der Topologen zu machen und sie in der Topologie, ihren Fragestellungen und ihren Methoden, diejenige Rolle spielen zu lassen, die sie heute spielt. (Alexandroff/Hopf 1935, IX)

Beim Aufbau der Mathematik durch die Mathematiker-Gruppe Bourbaki wurde der Strukturbegriff zum tragenden Element (vgl. u. a. Gottwald et al., 71f). Weitgehend unbekannt und in ihrer inhaltlichen Bedeutung kaum untersucht ist die Tatsache, dass mehrere Bourbaki-Mitglieder in ihren Göttinger Studienjahren bei Noether Lehrveranstaltungen besuchten. Dazu gehörten neben Claude Chevalley (1909–1984) und André Weil (1906–1998) auch Paul S. L. Dubreil (1904–1994), der 1929 auf Empfehlung von Ernest Vessiot (1805–1952) zum Zusatzstudium zu Noether kam (Siegmund-Schultze 2001, 110). In Noethers strukturtheoretischen Auffassungen liegen auch die Wurzeln für die Kategorientheorie (vgl. Koreuber/Große-Rhode 1998). In der Kategorientheorie, die in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts entstand, ist die strukturtheoretische Sicht der

Mathematik bis zur letzten Konsequenz ausgearbeitet worden.

„Doktormutter“

Im Zeitraum von WS 1907/08 bis WS 1944/45 wurden an deutschen Universitäten und Hochschulen mehr als 1400 mathematische Dissertationen verteidigt, darunter 8 % von Frauen (vgl. Tobies/Görgen 2001). Emmy Noether war die einzige Mathematikerin in Deutschland, die in diesem Zeitraum Dissertationen anregte. Um Noethers Wirken als „Doktormutter“ deutlich werden zu lassen, müssen nicht nur die von ihr auch formal begleiteten Promotionsverfahren in den Blick genommen werden, sondern ebenso Arbeiten, die sie inspirierte und inoffiziell betreute. Damit ergeben sich vier Kategorien von Noether-Schülern (vgl. auch Koreuber 2001):

- Personen, die sie bereits vor ihrem Status als n.b.a.o. Professorin zur Promotion führte;
- Promovierende, deren Promotionsverfahren maßgeblich unter ihrer Leitung stand;
- Promovierende, deren Dissertation sie betreute und die sich im Lebenslauf ihrer Dissertation eindeutig als Emmy-Noether-Schüler bekannten, die jedoch von anderen Mathematikern begutachtet und geprüft wurden;
- ausländische Mathematiker, deren Dissertationen von ihr betreut wurden, die jedoch die Arbeiten im Ausland einreichten.

Bereits in ihrem Lebenslauf von 1919 hatte Noether dezidiert auf die von ihr angeregten Arbeiten Falckenbergs und Seidelmanns verwiesen. Schmeidler erwähnten wir bereits; seine Habilitationsschrift stand „unter dem Einfluß von Fräulein Noether, unserer Hauptsachverständigen auf diesem Gebiet“, wie der Gutachter Edmund Landau (1877–1938) formulierte (UAG). Als Landau auch nach Noethers Ernennung zur n.b.a.o. Professorin bei Margarethe Hermann (1901–1984) noch als Hauptreferent fungieren sollte, schrieb er am 4. Februar 1925 in die Promotionsakte (UAG):

> Für diese abstrakten Fragen der Mathematik ist Frl. Koll. Noether **die** Autorität. Ihrem Gutachten[10] kann ich mich daher ohne weiteres anschließen.
>
> In der Annahme, dass der zu erwartende Fakultätsbeschluss in einem solchen Ausnahmefall es gestattet, Frl. Noether als Hauptreferenten der Arbeit zu bezeichnen (Teilung der mündlichen Prüfung zwischen ihr und mir scheint mir durchaus angebracht), stimme auch ich für Zulassung zum mündlichen Examen mit dem Prädikat „sehr gut“ für die Arbeit.

Mathematische Einkehr. Nikolausberg, Göttingen 1932 (v.l.n.r.: Ernst Witt, Paul Bernays, Helene, Hermann und Joachim Weyl, Emil Artin, Emmy Noether, Ernst Knauf [1912–1942], ?, Chiungtze C. Tsen, Erna Bannow [Dr. 1939 U Hamburg, später verheiratet Witt]. Quelle: Kimberling 1981)

Bei den weiteren Doktoranden Noethers wurde das Verfahren beibehalten. Bereits am 13. Mai 1925 fand die nächste mündliche Doktorprüfung statt (Wilhelm Dörnte), bei dessen Dissertation Noether als (Haupt-)Referentin und Landau als „Korreferent“ fungierten. Dörnte bedankte sich im Lebenslauf zu seiner Dissertation in besonderem Maße bei Noether; bisher ist er jedoch in keinem Verzeichnis ihrer Doktoranden enthalten (vgl. Weyl 1935; Dick 1970, S.42f.). Bereits Jentsch (1986) hatte Ludwig Schwarz[11] als einen zuvor nicht bekannten Schüler Noethers erkannt. Dieser war maßgeblich von ihren „begrifflichen Methoden“ geprägt worden und wollte bei ihr promovieren, wie er im Lebenslauf zur Dissertation schrieb. Im Rahmen der umfassenden empirischen Untersuchungen des VW-Projekts fanden sich weitere Doktoranden Noethers. (Sie sind in der nachfolgenden Liste mit * gekennzeichnet.) Ebenso muss die Doktorarbeit van der Waerdens als von Noether angeregt und betreut gesehen werden (vgl. Koreuber 2001, 65). Otto Schilling, von Dick (1970) bereits ohne nähere Begründung als Doktorand Noethers genannt, reichte seine Arbeit in Marburg ein. Hasse war sein Referent, doch geht aus den beigefügten Unterlagen hervor, dass auch er als Doktorand Noethers in dem oben dargelegten erweiterten

10 Es befindet sich auf gesondertem Blatt in der Akte, datiert am 21. 2. 1925.

11 E. Noether empfahl ihn mit Schreiben vom 10. September 1933 für eine Assistentenstelle an der Universität Halle bei Heinrich Brandt (1886–1954), vgl. (Jentsch 1986).

Sinne zu betrachten ist. Ein Grenzfall ist Wolfgang Krull (1899–1971) (vgl. Schöneborn 1980, 52; Remmert 1995, 89f.), dessen Dissertation „Über Begleitmatrizen und Elementarteilertheorie“ (1921) thematisch von Alfred Loewy (1873–1935) in Freiburg angeregt, aber methodisch durch seinen Göttinger Aufenthalt geprägt worden war (vgl. Koreuber 2001, 64). Krulls Habilitationsschrift „Algebraische Theorie der Ringe“ zeigte den Bezug zu Noethers Konzept noch deutlicher. Er bedankte sich im beigefügten Lebenslauf bei „Herrn Professor Loewy und Fräulein Professor Nöther, welche mir nicht nur wertvolle Anregungen gaben, sondern mir auch jederzeit freundlichst mit Rat und Tat zur Seite standen.“[12] Der Japaner Kenjiro Shoda (1902–1977), der von dem Algebraiker Teiji Takagi (1875–1960) zu Noether geschickt worden war, kann ebenfalls als ihr Schüler gelten. Er promovierte 1931 in Tokio, nach dem Aufenthalt in Göttingen, und wurde zum Begründer der modernen Algebra in Japan. Erwähnt sei auch Wolfgang Gröbner (1899–1980), der 1931 in Wien bei Philipp Furtwängler (1869–1940) promoviert hatte und auf dessen ausdrückliche Empfehlung zwei Semester zu Noether nach Göttingen ging. Wie Reitberger (2000, 2) jüngst erläuterte, regte sie Gröbner zu seiner bedeutendsten Arbeit an (Gröbner 1934). Untersuchungen über die Wege weiterer Mathematiker können weitere Verbindungen zu Noether ans Licht bringen; das betrifft auch beim Moskauer Studienaufenthalt angeregte Arbeiten zur Algebra. Deshalb erhebt die nachfolgende Liste der Noether-Schüler/innen keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

Falckenberg, **Hans** (1885–1946): Über Verzweigung von Lösungen nichtlinearer Differentialgleichungen. Universität Erlangen (Referent: Ernst Fischer[13]). Rigorosum am 16. 12. 1911: Mathematik; Physik, Pädagogik; Note: magna cum laude. Promotionsdatum: 18. 4. 1912. *Weitere Karriere*: 1914 Hab. TH Braunschweig, 1919 PDoz. U Königsberg, 1922 planm. a.o. Prof. U Gießen, 1931 o. Prof. Gießen, 1943 i.R.

Seidelmann, **Fritz** (geb. 18. 9. 1890): Die Gesamtheit der kubischen und biquadratischen Gleichungen mit Affekt bei beliebigem Rationalitätsbereich. Universität Erlangen (Referent: Max Noether). Rigorosum am 4. 3. 1916: Mathematik; Physik, Chemie; Note: summa cum laude. Promotionsdatum: 5. 4. 1916.[14] *Weitere Karriere*: Lehrer an der Erlanger Lehrerinnenbildungsanstalt; 1936 bis mindestens 1951 Studienprofessor Oberrealschule Ansbach.

Van der Waerden, Bartel L. (1903–1996): De algebraiese grondslagen der meetkunde van het aantal, publiziert in: *Math. Ann.* (1926/27), drei Aufsätze. Universität Amsterdam (Referent: Hendrik de Vries) Rigorosum am 24. 3. 1926, U Amsterdam: Mathematik/Physik Promotionsdatum: Ostern 1926 *Weitere Karriere:* 1927 Hab. U Göttingen, 1928 o. Prof. Groningen, 1931–1945 o. Prof. U Leipzig, 1949 o. Prof. Amsterdam, 1951 o. Prof. U Zürich und Direktor des mathematischen Instituts.

Hermann, Margarethe (1901–1984): Die Frage der endlich vielen Schritte in der Theorie der Polynomideale. Unter Benutzung nachgelassener Sätze von Kurt Hentzelt[15], publiziert in: *Math. Ann.* 95 (1925). Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: sehr gut. Rigorosum am 25. 2. 1925: Mathematik; Physik, Philosophie. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 4. 5. 1926 *Weitere Karriere*: Privatass. des Philosophen Leonard Nelson (1882–1927); Emigration; seit 1949, Leiterin seit 1950 o. Prof. für Mathematik der PH Bremen, 1966 i. R.

Dörnte, Wilhelm* (geb. 4. 12. 1899): Über einen verallgemeinerten Gruppenbegriff, publiziert in: *Math. Zeitschrift* 29 (1928). Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: sehr gut. Rigorosum am 13. 5. 1925: Mathematische Analysis; Physik, Philosophie;. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 30. 6. 1927 (1928). *Weitere Karriere*: wiss. Ass. für reine Mathematik TH Danzig (Mangoldt, Sommer); Studienrat im höheren Schuldienst.

Grell, Heinrich (1903–1974): Beziehungen zwischen den Idealen verschiedener Ringe. Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: ausgezeichnet. Rigorosum am 14. 7. 1926: Mathematische Analysis; Geometrie, Astronomie. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 4. 11. 1926. *Weitere Karriere*: 1928/30 wiss. Ass. U Jena, 1930 Hab. Jena, 1934 Umhab. U Halle, PDoz., 1935 amtsenthoben, 1935/39 Privatgelehrter in Lüdenscheid, 1939/45 wiss. Mitarb. u. Gruppenleiter Messerschmitt AG Augsburg, 1944/45 Mitarb. Reichsforschungsrat, 1946/47 Ass. U Erlangen, 1947/48 LA Phil.-Theol. HS Bamberg, 1948 OAss. u. Prof. m. LA Humboldt-U Berlin, 1950 Prof. m.v. LA, 1953 Prof. m. Lehrstuhl, 1959 Dir. Institut f. Reine Mathematik der Deutschen Akademie der Wissenschaften Berlin.

Hölzer, Rudolf: Zur Theorie der primären Ringe. Hölzer starb vor Abschluss des Promotionsverfahrens.

Weber, Werner (1906–1975): Idealtheoretische Deutung der Darstellbarkeit beliebiger natürlicher Zahlen durch quadratische Formen, publiziert in: *Math. Ann.*, Bd. 102. Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: ausgezeichnet Rigorosum am 13. 5. 1925: Mathematische Analysis, Geometrie, theoretische Physik. Note: ausgezeichnet. Promotionsdatum: 14. 6. 1929. *Weitere Karriere*: 1928 wiss. Ass. U Göttingen, 1931 Habilitation Göttingen, 1935 Doz. U Berlin, 1935/37 Vertretung (o.Prof.) U Heidelberg, 1938 nb.ao. Prof. u. 1939/1945 apl. Prof. U Berlin, 1946 Verlagskorrektor Hamburg, 1951 wiss. Lehrer Inst. Dr. Brechtefeld Hamburg.

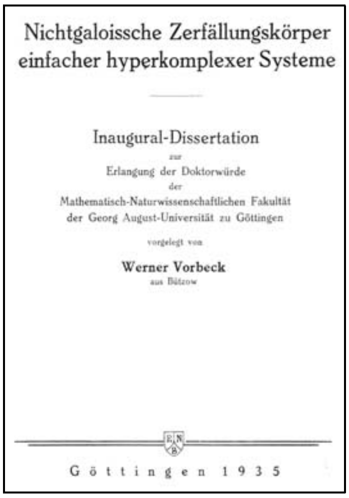
Levitzki, Jakob (1904 in Cherson, Rußland – 1956) Über vollständig reduzible Ringe und Unterringe, publiziert in: *Math. Zeitschrift*, Bd. 33. Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: ausgezeichnet. Rigorosum am 26. 6. 1929: Mathematische Analysis, Geometrie, Philosphie; Note: sehr gut. Promotionsdatum: 12. 8. 1929 (1931). *Weitere Karriere*: 1928/29 Hilfsass. math. Institut U

12 Der Einfluss Noethers auf Krull war auch für die nächste Generation präsent, so dass sich die Doktoranden Krulls z.T. als Enkel Noethers betrachteten (vgl. Koreuber/Große-Rhode 1998, 152)

13 Fischer war 1911 nach Erlangen berufen worden. Falckenberg dankte im Lebenslauf zur Dissertation Max Noether als seinem „Förderer und Lehrer“ sowie Emmy Noether, die ihm das Thema der Arbeit überlassen habe (UAE, C4/3b Nr. 3393). In Toepell (1991, 100) sind die Referenten falsch angegeben.

14 UAE, C4/3b Nr. 3778.

15 Kurt Hentzelt war ein Schüler Noethers, der im 1. Weltkrieg fiel.



Nichtgaloissche Zerfällungskörper einfacher hyperkomplexer Systeme

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg August-Universität zu Göttingen

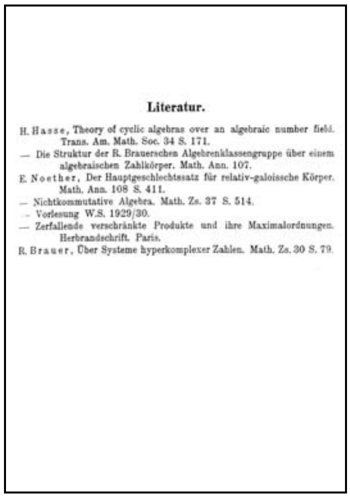
vorgelegt von

Werner Vorbeck
aus Bützow

Göttingen 1935

Lebenslauf.

Am 12. März 1909 als Sohn des Justizrats Erdwin Vorbeck und seiner Ehefrau Helene, geb. Müller, zu Bützow in Mecklenburg geboren, besuchte ich nach 3jähriger Vorschule von Ostern 1918 bis Ostern 1927 das Realgymnasium zu Bützow. Nach bestandener Reifeprüfung studierte ich Mathematik, Physik und Chemie an folgenden Universitäten: Freiburg i. Br. S.S. 1927, Wien W.S. 1927/28, München S.S. 1928 und W.S. 1928/29, Freiburg i. Br. S.S. 1929, Rostock W.S. 1929/30 und seit Ostern 1920 an der Universität zu Göttingen. In Göttingen besuchte ich die mathematischen Vorlesungen und Seminare der Professoren Herglotz, Noether, Weyl sowie Landau und Courant. Insbesondere habe ich Frl. Noether für viele Anregungen und Ratschläge, auch zu dieser Arbeit, zu danken.



Literatur.

H. Hasse, Theory of cyclic algebras over an algebraic number field. Trans. Am. Math. Soc. 34 S. 171.
— Die Struktur der R. Brauerschen Algebrenklassengruppe über einem algebraischen Zahlkörper. Math. Ann. 107.
E. Noether, Der Hauptgeschlechtssatz für relativ-galoissche Körper. Math. Ann. 108 S. 411.
— Nichtkommutative Algebra. Math. Zs. 37 S. 514.
— Vorlesung W.S. 1929/30.
— Zerfallende verschränkte Produkte und ihre Maximalordnungen. Herbrandschrift. Paris.
R. Brauer, Über Systeme hyperkomplexer Zahlen. Math. Zs. 30 S. 79.

Titelblatt, Lebenslauf und verwendete Literatur der Dissertation Werner Vorbecks

Kiel; mit Sterling-Stipendium an der Yale-University, New Haven, Conn. USA; 1948 Shimshon Amitsur Hebrew University.

Deuring, Max (1907–1984): Zur arithmetischen Theorie der algebraischen Funktionen, publiziert in: *Math. Ann.*, Bd. 106. Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: E. Landau). Note: mit Auszeichnung. Rigorosum am 18. 6. 1930: Mathematik; Geometrie, Physik. Note: mit Auszeichnung. Promotionsdatum: 6. 6. 1931. *Weitere Karriere*: 1935 Hab. Göttingen (venia legendi verweigert), 1931–1937 Ass. U Leipzig (van der Waerden), 1937/43 Doz. U Jena, 1943/45 ao. Prof. U Posen, 1947 o. Prof. Marburg, 1948 U Hamburg, 1950 U Göttingen, 1976 emer.

Fitting, Hans (1906–1938): Zur Theorie der Automorphismenringe Abelscher Gruppen und ihr Analogon bei nichtkommutativen Gruppen, publiziert in: *Math. Ann.*, Bd. 107. Universität Göttingen (Referentin: E. Noether, Korreferent: R. Courant). Note: ausgezeichnet. Rigorosum am 29. 7. 1931: Mathematische Analysis; Geometrie, Physik. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 23. 3. 1932. *Weitere Karriere*: 1932/1934 Göttingen und Leipzig, 1934 Ass. U Königsberg, 1937 Hab., Priv.-Doz. Königsberg.

Schwarz, Ludwig (geb. am 16. 7. 1908): Zur Theorie des nichtkommutativen Polynombereichs und Quotientenrings, publiziert in: *Math. Ann.*, Bd. 120 (1948). Universität Göttingen (Berichterstatter: H. Weyl; Mitberichterstatter: G. Herglotz; stellv. Berichterstatter: H. Hasse). Note: ausgezeichnet. Rigorosum am 26. 7. 1933: Mathematische Analysis; Geometrie, Physik. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 2. 6. 1944 *Weitere Karriere*: Okt. 1933-Febr. 1938 Ass. U Halle, 1938 Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen (DMV-Mitglied: 1933-ca. 1945).

Witt, Ernst (1911–1991): Riemann-Rochscher Satz und Zeta-Funktion im Hyperkomplexen, publiziert in: *Math. Annalen*, Bd. 110. Universität Göttingen (Referent: E. Noether[16], Korreferent: G. Herglotz). Note: ausgezeichnet. Rigorosum am 27. 7. 1933: Mathematische Analysis; Geometrie, Physik. Note: gut. Promotionsdatum: 20. 7. 1934. *Weitere Karriere*: 1938 Hab., Priv.Doz. U Göttingen, 1939 planm. ao. Prof. U Hamburg, 1954 pers. o. Prof. Hamburg, 1957/79 o. Prof. Hamburg. (vgl. Kersten 2000)

Tsen, Chiungtze C. (geb. am 2. 4. 1898 in Nanchang, China, 1940): Algebren über Funktionenkörpern. Universität Göttingen (Referent: E. Noether; Korreferent: F. K. Schmidt). Note: sehr gut. Rigorosum am 6. 12. 1933: Mathematische Analysis; Geometrie, Philosophie. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 20. 2. 1934. *Weitere Karriere*: 1934/35 Studien bei Artin in Hamburg, 1935 Assoc. Prof. Universität Zhejang, China; 1937 Prof. Beijang Inst. of Technology in Tienjin, 1939 am National Xikang Inst. of Technology, Provinz Xikang (vgl. Lorenz 1999).

Schilling, Otto (geb. 3. 11. 1911, gestorben 1973): Über gewisse Beziehungen zwischen der Arithmetik hyperkomplexer Zahlsysteme und algebraischer Zahlkörper, publiziert in: *Math. Annalen*, Bd. 111. U Marburg (Referent: H. Hasse). Note: sehr gut. Rigorosum am 30.7. und 1. 8. 1934: Mathematik; angewandte Mathematik, Physik. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 1. 9. 1935. *Weitere Karriere*: im DMV-Mitgliederverzeichnis (Toepell 1991) in Apolda lebend von 1934 bis ca. 1945 angegeben; er emigrierte 1935 in die USA (vgl. Kimberling 1981, S.41; Schilling 1950).

Wichmann, Wolfgang* (geb. am 7. 4. 1912): Anwendungen der p-adischen Theorie im Nichtkommutativen, publiziert in: *Monatshefte für Mathematik und Physik* 44 (1936), 203–224. Universität Göttingen (Referent: F. K. Schmidt). Note: sehr gut. Rigorosum am 25. 7. 1934: Mathematik; Geometrie, Physik. Note: sehr gut. Promotionsdatum: 3. 9. 1936 *Weitere Karriere*: ?

Vorbeck, Werner* (geb. 1909): Nichtgaloissche Zerfällungskörper einfacher hyperkomplexer Systeme. Universität Göttingen (Referentin: F. K. Schmidt, Korreferent: E. Noether). Note: gut. Rigorosum am 30. 5. 1934: Mathematische Analysis; Geometrie, angewandte Physik. Note: gut. Promotionsdatum: 13. 2. 1936. *Weitere Karriere*: Studienrat in Niedersachsen.

Stauffer, Ruth: The construction of a normal basis in a separable extension field, publiziert in: *American Journal of Mathematics*, 58 (1936), 585–597. Bryn Mawr College, USA. Rigorosum unter Richard Brauer. Promotionsdatum: 1935. *Weitere Karriere*: verheiratet Ruth McKee, Tätigkeit in der Research Agency of the Pennsylvania State Legislature (30 Jahre lang).

Es ist besonders hervorzuheben, dass sieben Dissertationen mit der besten Note (summa cum laude/ ausgezeichnet) beurteilt wurden und weitere acht mit

16 Das Formblatt der Akte nennt nur Herglotz als Gutachter. E. Noether war schon emigriert, hatte aber noch das Gutachten verfasst, das in der Akte an erster Stelle abgeheftet ist; danach folgt ein ausführliches Gutachten von Herglotz.

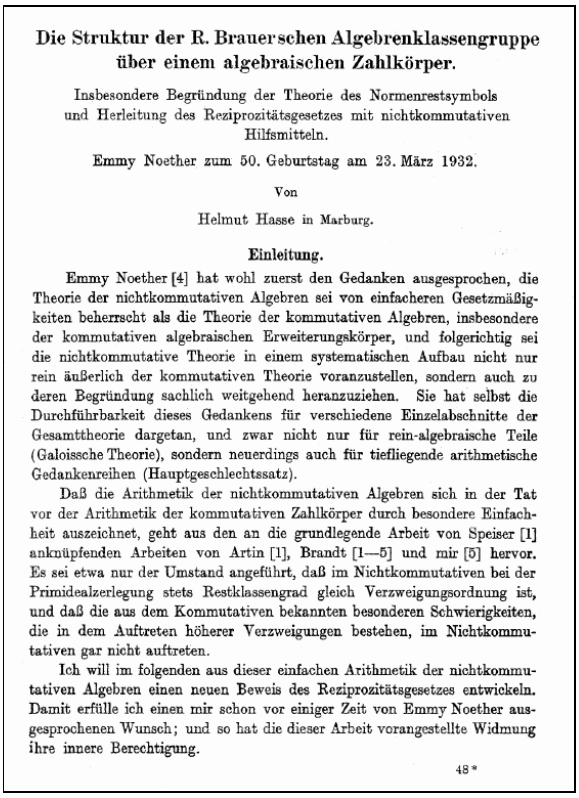
sehr gut, Noten, die zu jener Zeit nicht selbstverständlich waren. Mehr als die Hälfte der genannten Mathematiker/innen konnte eine wissenschaftliche Karriere erreichen, acht wurden Mathematik-Professoren (einer davon in China); ein weiterer habilitierte sich und wurde Privatdozent.

Doch sind Doktoranden nicht zwingend Schüler. Vielmehr führt eine solche Gleichsetzung häufig zu der problematischen Konsequenz zu glauben, aus einer hohen Anzahl von Doktoranden auf die Existenz einer Schule schließen zu können. Es sind sowohl äußere als auch inhaltliche Merkmale zu bedenken. Einerseits wirkten einige Promovierende nur mit ihrer Dissertation am Programm Emmy Noethers mit und identifizierten sich danach nicht weiter mit dieser Forschungsrichtung (z. B. M. Hermann). Andererseits können Personen als ihre Schüler betrachten werden, die formal bei anderen Mathematikern das Promotionsverfahren durchführten, aber von Noether angeregt wurden und mit ihr und ihren Methoden arbeiteten. Prominente Beispiele sind u. a. Hasse, der bei Kurt Hensel (1861–1941) promovierte, sowie Richard Brauer (1901–1977), ein Doktorand Issai Schurs (vgl. u. a. Leopoldt 1973). Die gemeinsam geschriebene Arbeit Brauer/Noether (1927) und das auf ein gemeinsam von Brauer, Hasse und Noether verfasstes Papier (1932) zurückgehende Hasse-Brauer-Noether-Theorem zeigen die inhaltliche Nähe. Hasses Position wird nicht nur in dem bereits erwähnten Vortrag von 1929 deutlich (vgl. Hasse 1930), sondern auch in einer Arbeit, die er Emmy Noether widmete[17]:

> Dem Andenken an Emmy Noether gewidmet, die mir Lehrmeisterin war in der begrifflichen Durchdringung und invarianten Gestaltung algebraischer Sachverhalte. (Hasse 1949, 14)

Es würde den Rahmen dieser Publikation sprengen, allen inhaltlichen Verbindungen nachzugehen, die sich allein aus den Noether bisher zuzuordnenden Doktoranden ergeben. Eine wichtige erste Quelle, auf die in diesem Kontext eingegangen werden soll, sind die von Noether verfassten Gutachten, denn, wie van der Waerden in seinem Nachruf betonte, war Noether selbst ihren Schülern die strengste Richterin (van der Waerden 1935, 476). Bereits in der Veröffentlichung der nachgelassenen Doktorarbeit Kurt Hentzelts „Zur Theorie der Polynomideale und Resultanten" schrieb sie:

> Diese ganz auf Grund eigener Ideen verfaßte Dissertation ist lückenlos aufgebaut; aber Hilfssatz reiht sich an Hilfssatz, alle Begriffe sind durch Formeln mit vier und fünf Indizes umschrieben, der Text fehlt fast vollständig, so daß dem Verständnis die größten Schwierigkeiten bereitet werden. [...] Ich gebe die Arbeit in rein begrifflicher Fassung wieder, wodurch eine große Vereinfachung der durchweg auf Hentzelt zurückgehenden Beweise erzielt wird, und, wie ich hoffe, die Schönheit der Arbeit offenbar wird. (Noether 1923, 53)


Die Struktur der R. Brauerschen Algebrenklassengruppe über einem algebraischen Zahlkörper.

Insbesondere Begründung der Theorie des Normenrestsymbols und Herleitung des Reziprozitätsgesetzes mit nichtkommutativen Hilfsmitteln.

Emmy Noether zum 50. Geburtstag am 23. März 1932.

Von

Helmut Hasse in Marburg.

Einleitung.

Emmy Noether [4] hat wohl zuerst den Gedanken ausgesprochen, die Theorie der nichtkommutativen Algebren sei von einfacheren Gesetzmäßigkeiten beherrscht als die Theorie der kommutativen Algebren, insbesondere der kommutativen algebraischen Erweiterungskörper, und folgerichtig sei die nichtkommutative Theorie in einem systematischen Aufbau nicht nur rein äußerlich der kommutativen Theorie voranzustellen, sondern auch zu deren Begründung sachlich weitgehend heranzuziehen. Sie hat selbst die Durchführbarkeit dieses Gedankens für verschiedene Einzelabschnitte der Gesamttheorie dargetan, und zwar nicht nur für rein-algebraische Teile (Galoissche Theorie), sondern neuerdings auch für tiefliegende arithmetische Gedankenreihen (Hauptgeschlechtssatz).

Daß die Arithmetik der nichtkommutativen Algebren sich in der Tat vor der Arithmetik der kommutativen Zahlkörper durch besondere Einfachheit auszeichnet, geht aus den an die grundlegende Arbeit von Speiser [1] anknüpfenden Arbeiten von Artin [1], Brandt [1—5] und mir [5] hervor. Es sei etwa nur der Umstand angeführt, daß im Nichtkommutativen bei der Primidealzerlegung stets Restklassengrad gleich Verzweigungsordnung ist, und daß die aus dem Kommutativen bekannten besonderen Schwierigkeiten, die in dem Auftreten höherer Verzweigungen bestehen, im Nichtkommutativen gar nicht auftreten.

Ich will im folgenden aus dieser einfachen Arithmetik der nichtkommutativen Algebren einen neuen Beweis des Reziprozitätsgesetzes entwickeln. Damit erfülle ich einen mir schon vor einiger Zeit von Emmy Noether ausgesprochenen Wunsch; und so hat die dieser Arbeit vorangestellte Widmung ihre innere Berechtigung.

48*

Math. Annalen 107 (1933), S. 731–760

Noethers Kriterien über begriffliche Methode und „gute" Mathematik lauteten: Vollständigkeit der Abhandlung, Vereinfachung der Beweise durch den begrifflichen Zugang, Schönheit der Arbeit, Verständlichkeit, ein Text, der die Ergebnisse verbindet und diskutiert, und der Gegenhorizont, das Arbeiten mit Formeln. Eine rein begriffliche Fassung war das Ideal, dem eine gute mathematische Arbeit genügen sollte. Dieser Anspruch schlug sich auch in Gutachten zu Dissertationen nieder: „Es ist Verf. [Hermann, Hinzufüg. d. A.], gelungen, die unübersichtlichen Hentzeltschen Formeln in begrifflich durchsichtige Sätze zu verwandeln." (Noether, 1. 2. 1925) Und gesteigert in dem Gutachten für Grell: „Besonders hervorheben möchte ich die Einführung des Begriffes der

17 Für den Literaturhinweis dankt R. Tobies Herrn Prof. K. Radbruch, Kaiserslautern.

Modul- und Idealkörper und der arithmetischen Isomorphie, Begriffe, die erst die vollständig präzise Fassung der Zuordnungssätze ermöglichen." (Noether, 20. 5. 1926).

> Die vorliegende Arbeit ist – weit über den Rahmen einer üblichen, selbst sehr guten Dissertation hinausgehend – eine grundlegende wissenschaftliche Arbeit, die neue Wege geht und neue Wege führt.
>
> (Noether, 27. 5. 1930)

Mit diesem Satz leitete Noether ihr Gutachten zu Deurings Doktorarbeit ein; „Neue Wege zu gehen" verweist auf die begriffliche Methode, „neue Wege zu führen" auf die Produktivität dieses Ansatzes. Das ist mehr, als einige interessante mathematische Ergebnisse gewonnen zu haben. Der Ansatz erwies sich in stärkerem Maße als zukunftsweisend, fruchtbar. In allen Gutachten verwies Noether auf das Verwenden begrifflicher Methoden; und der Grad des Verwendens dieser Methoden korrelierte mit der Note für die Dissertation. Die Doktorarbeiten fügten sich in ein Forschungsprogramm Noethers ein, das nicht nur durch bestimmte idealtheoretische, darstellungstheoretische o.ä. durch die Algebra bestimmte Fragestellungen geformt war. Es war zugleich ein Entwickeln und Präsentieren der begrifflichen Auffassung und Methode, und es oblag auch ihren Doktoranden und ihren Schülern, diese Art des Denkens zu verbreiten.

Die „mathematische Schule" Emmy Noethers

Unter Wissenschaftshistorikern ist der Begriff „Wissenschaftliche Schule" (Research School) vielfältig diskutiert (vgl. Geison 1993; Mikulinskij et al. 1977/1979). Die Analyse und Bewertung des Begriffs ist bei den einzelnen Autoren sowie für verschiedene Gebiete (experimentelle/theoretische Wissenschaften) durchaus unterschiedlich. Das reicht bis zu der Frage, ob Research School überhaupt ein geeigneter analytischer Begriff zum Verständnis wissenschaftlicher Entwicklung ist.[18] Folgt man den klassischen wissenschaftshistorischen Positionen, so lassen sich eine Reihe von Merkmalen festhalten. Eine wissenschaftliche Schule wird von einem führenden Kopf (bzw. mehreren Köpfen) geprägt, wobei ein maßgebliches, neues Forschungskonzept die entscheidende Grundlage bildet. Die Ziele des Forschungsprogramms sollten tatsächlich realisiert worden sein. Zwischen dem führenden Kopf und den Schüler/innen sollte ein Lehrer/Schüler-Verhältnis bestehen, wobei die Schüler das Programm weiter fortführen. Zusammenfassend lassen sich folgende Merkmale formulieren:

- Forschungsprogramm als gemeinsame inhaltliche Grundlage und Ziel;
- Die allgemeine Anerkennung muss erst noch errungen werden. Ziel ist die Durchsetzung neuer Ideen;
- Die Führung durch eine oder mehrere Persönlichkeiten;
- Teamgeist, Gruppenbewusstsein, Lehrer-Schüler-Verhältnis, in dem sich der Einzelne entfalten kann.

Verschiedentlich wird auch diskutiert, dass eine Rivalität zwischen Schulen bestand (z. B. zwischen der „Berliner mathematischen Schule" und den „süddeutschen Mathematikern" im 19. Jahrhundert). Das Gruppenbewusstsein einer Schule und die Rivalität zu anderen Schulen drückt(e) sich auch in der Einflussnahme auf die Berufungspolitik bei mathematischen Professuren aus. Das Etablieren von Repräsentanten einer neuen Schule in Positionen war Voraussetzung dafür, um in weiteren Generationen Schüler heranzubilden.

Wie unsere vorangestellten Ausführungen zeigen, treffen diese Merkmale auf die Gruppe um Emmy Noether zu. Zwischen Noether und ihren Schüler/innen bestand ein Lehrerin-Schüler/innen-Verhältnis. Der Begriff „Noether-Knaben" deutet das Bewusstsein um den Zusammenschluss an. Die Ziele des Forschungsprogramms (siehe oben) wurden von ihren Schüler/innen fortgeführt und realisiert. Die Ergebnisse wurden publiziert und breiten Kreisen zugänglich gemacht. Zehn der Doktoranden Noethers publizierten bereits die Resultate ihrer Dissertationen in führenden mathematischen Zeitschriften. Unzählige weitere Arbeiten folgten, doch von besonderer Bedeutung sind die im Kontext der Noether-Schule entstandenen Lehrbücher und Berichte. Auf van der Waerdens „Moderne Algebra" (1930/31) und auf die „Topologie" (1935) von Alexandrow/Hopf ist bereits hingewiesen worden. Weiter seien erwähnt Krulls „Idealtheorie" (1935) und Deurings „Algebren" (1935). Zahlreiche ihrer Schüler konnten das Forschungsprogramm in Professorenpositionen fortführen und die Schule über weitere Generationen forttragen. Der Geist der Noetherschen Methoden setzte sich über direkte Schüler in China, Japan, den USA und Israel fort, über den weiteren Kreis der Noether-Schüler auch in anderen Ländern.

18 Um den Fokus noch stärker auf inhaltliche Aspekte zu lenken, wird u. a. der Begriff „Tacit Knowledge" debattiert. Auch Ludwik Flecks Arbeit „Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache – Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv" (Fleck 1935) könnte hier zu neuen Ehren gelangen. Dieser Zugang zur Noether-Schule soll an anderer Stelle geprüft werden.

Für die im engeren und weiteren Sinne zur Noether-Schule gehörenden Mathematiker/innen gilt, was Bartel Leendert van der Waerden in einem Interview ausdrückte, als er nach der Arbeit an seiner Dissertation gefragt wurde:

> In Göttingen hatte ich vor allem Emmy Noether kennengelernt. Sie hat eine ganz neue Algebra, viel allgemeiner als die bisherige Algebra, geschaffen, und sie war eigentlich meine Lehrerin in Göttingen. Mit den Methoden, die sie entwickelt hat, habe ich dann meine Sätze bewiesen. (Dold-Samplonius 1994, 134)

Bibliographie

(ABB) Archiv für bildungsgeschichtliche Forschung Berlin, Personalblätter preußischer Lehrer/innen.

(UAE) Universitätsarchiv Erlangen, Promotionsakten.

(UAG) Universitätsarchiv Göttingen, Univ. Kuratorium, Math.-Nat. Pers. 9 (E. Noether); Math.-naturw. Fakultät, Prom. H. Vol. I, 1923.30, Nr. 23 (M. Herrmann); Philos. Fakultät, 4 Vc, Nr. 295 (W. Schmeidler).

(UBG) Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, Handschriftenabteilung, Cod. Ms Hasse, Cod. Ms Hilbert.

Alexandroff, Paul; Hopf, Heinz (1935): *Topologie.* Berlin (Springer).

Alexandrow, Pawel S. (1935): Gedenkrede vor der Moskauer Mathematischen Gesellschaft am 5. 9. 1935, in engl. Übers. abgedruckt in: Noether, Emmy (1983), *Gesammelte Abhandlungen - Collected Papers*, ed. by N. Jacobson. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer, 1–11.

Brauer, Richard; Noether, Emmy (1927): *„Über minimale Zerfällungskörper irreduzibler Darstellungen". Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, 221–228.

Brewer, James W.; Smith, Martha K. (1981): *Emmy Noether. A Tribute to Her Life and Work.* New York, Basel.

Brüning, Jochen.; Ferus, Dirk; Siegmund-Schultze, Reinhard: *Terror and Exile. Persecution and Expulsion of Mathematicians from Berlin between 1933 and 1945.* An Exhibition on the Occasion of the International Congress of Mathematicians, August 19 to 27, 1998 (Ausstellungskatalog).

Chandler, Bruce; Magnus, Wilhelm (1982): *The History of Combinatorical Group Theory: A Case Study in the History of Ideas* (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences, Vol. 9). New York/Heidelberg/Berlin.

Corry, Leo (1996): *Modern Algebra and the Rise of Mathematical Structures.* Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.

Dedekind, Richard (1930–32): *Gesammelte mathematische Abhandlungen*, 3 Bde., hg. v. R. Fricke, E. Noether, O. Ore. Braunschweig.

Dick, Auguste (1970): *Emmy Noether (1882–1935).* (Beihefte zur Zeitschrift ‚Elemente der Mathematik', 13) Basel.

Dold-Samplonius, Yvonne (1994): „Interview mit Bartel Leendert van der Waerden". *NTM-Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* (Birkhäuser), N.S. **2**, 129–147.

Fauvel, John (1994): "Women and Mathematics". *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences, Vol. 2*, ed. by I. Grattan-Guinness. London/New York, 1526–1532.

Geison, L. Gerald (1993): "Research Schools and New Directions in the Historiography of Science". *Osiris* **8**, 227–238.

Gottwald, Siegfried; Ilgauds, Hans-Joachim; Schlote, Karl-Heinz (Hg.) (1990): *Lexikon bedeutender Mathematiker.* Leipzig/Frankfurt a.M.

Gröbner, Wolfgang (1934): „Über irreduzible Ideale in kommutativen Ringen". *Math. Annalen* **110**, 197–222.

Hasse, Helmut (1927): „L. E. Dickson, Algebren und ihre Zahlentheorie" (Rezension). *Jahresbericht der DMV* **37,** 2. Abt. Heft 6/10, 90–97.

Hasse, Helmut (1930): „Die moderne algebraische Methode". *Jahresbericht der DMV* **39**, 22–34.

Hasse, Helmut; Brauer, Richard; Noether, Emmy (1932): „Beweis eines Hauptsatzes in der Theorie der Algebren". *Journal für die reine und angewandte Mathematik* **167**, 399–404.

Hasse, Helmut (1949): „Invariante Kennzeichnung galoisscher Körper mit vorgegebener Galoisgruppe". *Journal für die reine und angewandte Mathematik* **187**, 14–43.

Hilbert, David (1933): *Gesammelte Abhandlungen, Bd. 2.* Berlin/Heidelberg/New York.

Jentsch, Werner (1986): „Auszüge aus einer unveröffentlichen Korrespondenz von Emmy Noether und Hermann Weyl mit Heinrich Brandt". *Historia Mathematica* **13**, 5–12.

Kaplanski, Irving (1973): "Commutative rings". *Proceedings of Conference on Commutative Algebra* (Lecture Notes in Mathematics, Nr. 311). New York/Berlin/Heidelberg/Tokyo, 153–166.

Kersten, Ina (2000): "Biography of Ernst Witt (1911–1991)". *Contemporary Mathematics* **272**, 155–171.

Kettnaker, Barbara; Koreuber, Mechthild (1995): „Ich halte das weibliche Gehirn für ungeeignet zur mathematischen Produktion; Frl. N. halte ich aber für eine der seltenen Ausnahmen". *Dokumentationsband 21. Kongreß von Frauen in Naturwissenschaft und Technik,* hg. v. R. Michel. Darmstadt.

Kimberling, Clark (1972): "Emmy Noether". *American Math. Monthly* **79**, 136–149.

Kimberling, Clark (1981): „Emmy Noether and Her Influence", in: J.W.Brewer/M.K.Smith (eds.): *Emmy Noether. A Tribute to Her Life and Work.* Marcel Dekker, Inc.. New York, Basel, pp. 3–61.

Kleiner, I. (1992): "Emmy Noether: Highlights of Her Life and Work". *L'Enseignement Mathématique* **18**, 103–124.

Koreuber, Mechthild (2001): „Emmy Noether, die Noether-Schule und die ‚Moderne Algebra'. Vom begrifflichen Denken zur strukturellen Mathematik". H. Götschel/H. Daduna (Hg.), *Perspektivenwechsel – Frauen- und Geschlechterforschung zu Mathematik und Naturwissenschaften* (talheimer sammlung kritisches wissen, Bd. 12). Mössingen-Talheim: Talheimer Verlag, 54–74.

Koreuber, Mechthild; Große-Rhode, Martin (1998): „Vom Begriff zur Kategorie. Ein Beitrag zur Bedeutung Emmy Noethers für die Informatik". D. Siefkes (Hg.), *Sozialgeschichte der Informatik: kulturelle Praktiken und Orientierungen* (Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 151–173.

Leopoldt, Heinrich Wolfgang (1973): „Zum wissenschaftlichen Werk von Helmut Hasse". *Journal für reine und angewandte Mathematik* **262/263**, 1–17.

Lorenz, Falko (1999): „Nachrichten von Büchern und Menschen: Chiungtze C. Tsen". *Sitzungsberichte der Akademie der Wiss. zu Erfurt, Math.-Naturwiss. Klasse* **9**, 97–120.

Manin, Ju. I. (1971): „Zum vierzehnten Hilbertschen Problem". In: Wußing, Hans (Hrsg.), *Die Hilbertschen Probleme* (Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften, 252). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. (Übers. aus dem Russ.), 218–222.

Mehrtens, Herbert (1979): „Das Skelett der modernen Algebra. Zur Bildung mathematischer Begriffe bei Richard Dedekind", in: Scriba, Ch. (Hg.), *Zur Entstehung neuer Denk- und Arbeitsrichtungen in der Naturwissenschaft* (Festschrift zum 90. Geburtstag von Hans Schimank). Göttingen.

Mikulinskij, S. R. et al. (Hg.) (1977/79): *Wissenschaftliche Schulen.* Bd. I Berlin 1977, Bd. II Berlin 1979.

Noether, Emmy (1923): „Bearbeitung von K. Hentzelt: zur Theorie der Polynomideale und Resultanten". *Mathematische Annalen* **88**, 53–79.

Noether, Emmy (1932): Hyperkomplexe Systeme in ihren Beziehungen zur kommutativen Algebra und zur Zahlentheorie". *Verhandlungen des Internationalen Mathematiker-Kongresses Zürich*, 189–194.

Noether, Emmy (1983): *Gesammelte Abhandlungen - Collected Papers*, ed. by N. Jacobson. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer.

Pier, Jean-Paul (ed.) (2000): *Development of Mathematics 1950–2000.* Basel: Birkhäuser.

Purkert, Walter; Wußing, Hans (1994), "Fundamental concepts of abstract algebra". In: Grattan-Guinness, Ivor (ed.), *Compansion Encyclopedia of the History and Philosophy of the mathematical sciences*, Vol. 1, London / New York, 741–760.

Reitberger, Heinrich (2000): „Wolfgang Gröbner (11. 2. 1899–20. 8. 1980) zum 20. Todestag". *Internat. Math. Nachrichten* **184**, 1–28.

Remmert, Volker (1995): "Zur Mathematikgeschichte in Freiburg. Alfred Loewy (1873–1935): Jähes Ende späten Glanzes". *Freiburger Universitätsblätter* **129**, 81–102.

Rowe, David E. (1999): "The Göttingen Response to General Relativity and Emmy Noether's Theorems", in: Gray, J. (ed.), *Symbolic Universe.* Oxford: Oxford University Press, 189–234.

Scharlau, Winfried (Hg.) (1989): *Mathematische Institute in Deutschland 1800–1945* (Dokumente zur Geschichte der Mathematik, Bd. 5). Im Auftrag der DMV herausgegeben. Braunschweig: Vieweg.

Schilling, Otto (1950): *The Theory of Valuations.* American Mathematical Society Mathematical Surveys. Providence.

Schöneborn, H. (1980): "In Memoriam Wolfgang Krull". *Jahresbericht der DMV* **82**, 51–62.

Siegmund-Schultze, Reinhard (2001): *Rockefeller and the Internationalization of Mathematics between the Two World Wars.* Documents and Studies for the Social History of Mathematics in the 20^{th} Century (Historical Studies. Science Networks, Vol. 25). Basel. Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag.

Tobies, Renate (1991/92): „Zum Beginn des mathematischen Frauenstudiums in Preußen". *NTM - Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin*, **28**, H. 2, 151–172.

Tobies, Renate (1997): *„Aller Männerkultur zum Trotz". Frauen in Mathematik und Naturwissenschaften.* Frankfurt a.M./New York: Campus.

Tobies, Renate (1999): „Felix Klein und David Hilbert als Förderer von Frauen in der Mathematik". *Prague Studies in the History of Science and Technology*, N.S. **3**, 69–101.

Tobies, Renate; Görgen, Ulrich (2001): Mathematische Dissertationen an deutschen Hochschuleinrichtungen, WS 1907/08 bis WS 1944/45. *Jahresbericht der DMV* **103**, 115–148.

Toepell, Michael (1991): *Mitgliederverzeichnis der DMV 1890–1990.* München 1991.

Tollmien, Cordula (1990): „Eine Biographie der Mathematikerin Emmy Noether, zugleich ein Beitrag zur Geschichte der Habilitation von Frauen an der Universität Göttingen". *Göttinger Jahrbuch* **38**, 153–219.

Tollmien, Cordula (1991): „Die Habilitation von Emmy Noether an der Universität Göttingen". *NTM-Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* **28**, 1–11.

Tollmien, Cordula (2000): „‚Die Mutter der modernen Algebra' – Emmy Noether". *Weibliche Exzellenzen*, hg. v. Frauenbüro TU Braunschweig, 22–25.

van der Waerden, Bartel Leendert (1935): „Nachruf auf Emmy Noether". *Mathematische Annalen*, **111**, 469–474.

van der Waerden, B. L. (1930/31): *Moderne Algebra, 2 Bde.* (9. Aufl. 1993).

van der Waerden, B. L. (1983): "The school of Hilbert and Emmy Noether". *Bull. London Math. Soc.* **15** (1) 1–7.

Weyl, Hermann (1935): "Emmy Noether". *Scripta Mathematica* III 3, 201–220.

Wußing, Hans (1969): *Die Genesis des abstrakten Gruppenbegriffs.* Berlin. (Engl. Übers. v. Abe Shenitzer, *The Origin of the Abstract Group Concept.* Cambridge, MA 1984).

Wußing, Hans; Arnold Wolfgang (Hg.) (1975): *Biographien bedeutender Mathematiker.* Berlin.

Adressen der Autorinnen

Dipl.-Math. Mechthild Koreuber
Frauenbeauftragte der Freien Universität Berlin
Rudeloffweg 25–27
14195 Berlin
`mechthild@koreuber.de`

Dr. habil. Renate Tobies
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik
PF 30 49
67653 Kaiserslautern
`tobies@mathematik.uni-kl.de`