

Begabung und Expertise

Eine mathematikdidaktische Perspektive

von

Torsten Fritzlar, Halle an der Saale

Kurzfassung: Traditionell waren Forschungen zu Begabungen und Forschungen zur Expertise strikt voneinander getrennt. Dafür lassen sich zahlreiche Gründe aufführen, besonders wichtige sind im ersten Abschnitt dieser Arbeit gelegentlich in bewusst pointierter Art zusammengetragen. In neueren psychologisch orientierten Arbeiten können allerdings auch Argumente und Ansätze für eine fruchtbare Verbindung beider Forschungstraditionen gefunden werden. Für den Bereich mathematischer Begabungen im Schulalter und aus mathematikdidaktischer Perspektive soll dies in den weiteren Teilen der Arbeit aufgezeigt werden. Mögliche pädagogische Implikationen für die Förderung interessierter und begabter Kinder und Jugendlicher beschließen diesen Aufsatz.

Abstract: Traditionally research on giftedness and research on expertise are strictly separated. Many reasons for this can be specified; especially important one I have collected in the first section of this paper, intentionally sometimes in a pointed way. But in newer psychological studies there can be found arguments and approaches for a fruitful combination. I will depict this for the field of mathematical giftedness and from the viewpoint of mathematics didactics in the further sections of the paper. Possible consequences for the fostering of interested or gifted children and youth conclude the paper.

1 Begabung vs. Expertise

„Der Experte hat den Begabten abgelöst.“ Mit diesem provozierenden Slogan wiesen Hans Gruber und Heinz Mandl bereits 1992 darauf hin, dass in (damals) aktuellen psychologischen Forschungsarbeiten immer öfter von Expertise die Rede ist in Bereichen, in denen zuvor der (Hoch-)Begabungsbegriff verwendet wurde. Und dies, obwohl die Konzepte „Begabung“ und „Expertise“ zwei traditionell strikt voneinander getrennten Forschungsrichtungen entstammen. Diese Trennung liegt insbesondere in dem Folgenden begründet (vgl. auch Schneider, 1992; Sternberg, 1998):

- Aktuelle Begabungsmodelle sehen Begabung als bereichsspezifisches *Potenzial* zu hoher Performanz; eine Auffassung, die heute weitgehend geteilt wird.¹

¹ Sie ist auch keineswegs neu, beispielsweise kam der Psychologe William Stern bereits 1916 zur Auffassung, dass Begabungen „lediglich“ Möglichkeiten und unumgängliche

Weitestgehend geteilte Übereinstimmung besteht allerdings auch darin, dass sich ein Experte durch dauerhaft herausragende Leistungen auf einem bestimmten Gebiet auszeichnet; Expertise wird also mit herausragender *Performanz* gleichgesetzt (Gruber & Mandl, 1996).

- Damit zusammenhängend wird Begabung als *Prädiktor* gesehen. Expertise gilt dagegen als *Ergebnis* einer entsprechend positiven Entwicklung (z. B. Winner, 2000).
- Begabung gilt zumindest aus klassischer psychologischer Perspektive als weitestgehend *angeboren und unveränderlich*, Expertise wird hingegen als *erworben und veränderlich* aufgefasst.²
- Die *herausragende Bedeutung genetisch determinierter Potenziale* bei der Ausbildung exzeptioneller Leistungen ist eine Grundmotivation der Begabungsforschung. Die Expertiseforschung basiert dagegen traditionell auf einem *untergeordneten Stellenwert von Erbbedingungen*, teilweise werden diese als bedeutungslos angesehen (z. B. Ericsson & Charness, 1994; Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993; Ericsson, Roring, & Nandagopal, 2007; Howe, Davidson, & Sloboda, 1998).
- Begabungen wurden ursprünglich bei *Kindern und Jugendlichen* untersucht – man denke beispielsweise an die Entwicklung des Intelligenztests durch Binet und Simon zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Untersuchungen zur Expertise, beispielsweise die Initialarbeiten von de Groot (1965), richten sich dagegen traditionell an *Erwachsene*.
- Die Begabungsforschung hat sich insbesondere aus der differenziellen Psychologie entwickelt – die sich mit der Beschreibung von *Unterschieden zwischen einzelnen Personen* befasst – und ist durch diese über viele Jahrzehnte stark geprägt worden. Ausgehend von solchen Unterschieden bemüht sich die Begabungsforschung um eine Prognose späterer Leistungen bzw. um die Entwicklung von Prognosemöglichkeiten aufgrund individueller Merkmale.³ Die Expertiseforschung entstammt der kognitiven Psychologie. Sie sucht insbesondere nach (bereichsspezifischen) kognitionspsychologischen Merkmalen zur Erklä-

Vorbedingungen zu außergewöhnlicher Leistung seien, sie jedoch nicht Leistung selbst bedeuteten (Stern, 1916, S. 110).

² Allerdings geht auf Renzulli (1978) eine Auffassung von Begabung zurück, die diesen ersten drei Punkten entgegensteht.

³ Dabei stimmen moderne Begabungsforscher allerdings darin überein, dass sich Leistungspotenziale keineswegs zwangsläufig durchsetzen.

rung exzeptioneller Leistungen und damit nach *überindividuellen Gemeinsamkeiten innerhalb bestimmter Personengruppen*.⁴

- In forschungsmethodischer Hinsicht lässt sich die Begabungsforschung durch eher zu seltene *prospektive Längsschnittstudien*, z. B. die bekannte Terman-Studie oder das Marburger Hochbegabtenprojekt (Rost, 2000), und *retrospektive Verfahren* kennzeichnen. Dagegen greift die Expertiseforschung häufig auf *querschnittlich angelegte experimentelle Untersuchungsmethoden* zurück, wobei dem kontrastiven Ansatz, insbesondere dem Extremgruppenvergleich in Form des Experten-Novizen-Paradigmas eine besondere Bedeutung zukommt.

Aktuellere psychologische Arbeiten versuchen, beide Forschungstraditionen zu verbinden und füreinander nutzbar zu machen (z. B. Perleth, 2001). Ich möchte zunächst wichtige Aspekte aus beiden Forschungsrichtungen zusammentragen und aufzeigen, dass eine solche Verbindung auch im Hinblick auf mathematische Begabungen bzw. unseren aktuellen diesbezüglichen Kenntnisstand sinnvoll und fruchtbar sein kann.

2 Begabung

Es gibt eine solche Vielzahl von Definitionen zu den Begriffen „Begabung“ oder „Hochbegabung“, dass Lucito für diese bereits 1964 ein Klassifikationsschema für eine bessere Überschaubarkeit vorschlug (Bardy, 2007). Auch zum Zusammenhang zwischen Begabung und Leistung gibt es zahlreiche durchaus unterschiedliche Modelle, man denke beispielsweise an Renzullis klassisches Drei-Ringe-Modell (Renzulli, 1978), Gagnés Differenziertes Begabungs- und Talentmodell (Gagné, 2000, 2005) oder das Hochbegabungsmodell der Münchner Forschergruppe um Heller (Heller, 2001).

Eine Definition im Sinne der klassischen Begabungsforschung schlägt Simonton vor: Unter einer Begabung ist zu verstehen „any innate capacity that enables an individual to display exceptionally high performance in a domain that requires special skills and training“ (Simonton, 1999, S. 436). Klassisch ist diese Definition, die sich sinngemäß beispielsweise auch bei Gagné findet, in dem Sinne, dass von ausschließlich angeborenen (nicht notwendig genetisch festgelegten) Fähigkeiten gesprochen wird. Natürlich stellt sich dabei die Frage, wie die Außergewöhnlichkeit der erreichten Leistungen definiert werden kann, womit auch die soziale Konstruiertheit des Begabungsbegriffs deutlich wird. Beispielsweise Gagné schlägt diesbezüglich das 90%-Perzentil in der jeweiligen Altersgruppe als Untergrenze

⁴ Gerade in jüngerer Zeit ist sie darüber hinaus an spezifischen Randbedingungen der Entwicklung zum Experten interessiert.

vor (Gagné, 2005; vgl. auch sein metrisches System zur Charakterisierung der Begabungshöhe: Gagné, 2007).

An Simontons Definition werden zwei heute weitgehend unumstrittene Aspekte des Begabungsbegriffs deutlich: Begabungen sind *domänenspezifisch* (z. B. Oerter, 2003; Weinert, 2000b; Ziegler & Heller, 2000) und sie sind (lediglich) *Potenziale* zu Kompetenz und Performanz. Uneinheitlich sind allerdings die Auffassungen über den Umfang der jeweiligen Begabungsbereiche, insbesondere hinsichtlich der Domäne Mathematik (vgl. z. B. Winner, 2000 vs. Heilmann, 1999).⁵

Ein meines Erachtens interessantes, stark mathematisch orientiertes *Denkmodell zur Emergenz von Begabungen* wurde ebenfalls von Simonton formuliert. Darin wird eine Begabung als gewichtetes *Produkt* zahlreicher *zeitabhängiger*, zumindest teilweise *voneinander unabhängiger* angeborener Elementarkomponenten gedacht,⁶ die die physischen (z. B. Körpergröße), physiologischen (z. B. Aspekte der Wahrnehmung), kognitiven (z. B. Gedächtniseffizienz), motivationalen und Persönlichkeitsmerkmale (z. B. Anstrengungsbereitschaft) bedingen, die außergewöhnliche Leistungen in einem ausgewählten Bereich ermöglichen. Diese multiplikative Modellierung

$$B = \prod_{j=1}^k C_j(t)^{w_j}$$

bei der eine Begabung nur dann vorliegt, wenn alle notwendigen Komponenten eine hinreichend hohe Ausprägung haben und zu einem entsprechend hohen Produkt B führen, hat wesentliche mathematische Implikationen,⁷ die bisherige Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse gut beschreiben (Simonton, 1999):

- Begabungen sind *bereichsspezifisch*. Auch wenn Komponenten selbst durchaus allgemeiner Natur sein können, entsteht die Spezifität durch die jeweils notwendige Kombination der Komponenten.
- Die Auffassung zur Begabungsausprägung als eindimensionaler Größe, was ein lineares Ordnen von Individuen ermöglichen würde, ist unzureichend. Viel-

⁵ Die Frage ist also: Existieren angeborene, ausschließlich mathematikspezifische Begabungskomponenten oder gibt es im Verlauf der individuellen Entwicklung eine zunehmende Anpassung oder Ausrichtung von zunächst weniger spezifischen Komponenten an oder auf die Domäne Mathematik. Von mathematischen Begabungen könnte man im zweiten Fall nur dann sprechen, wenn man entgegen der klassischen Auffassung die erworbenen Anteile, also die Spezialisierung aufgrund von Erfahrung, einbezieht.

⁶ Dass eine Komponente angeboren oder ererbt ist, bringt also nicht notwendig deren Stabilität oder frühzeitiges Erscheinen mit sich (auch Plomin, 1998).

⁷ Vorausgesetzt werden muss außerdem, dass zumindest einige dieser Komponenten verhältnisskaliert sind und den Wert 0 annehmen können.

mehr gibt es auch innerhalb einer Domäne durchaus *unterschiedliche Begabungsprofile* (die dennoch zum selben Produkt B führen).

- Die Begabungsverteilung innerhalb einer Population ist stark *rechtsschief*, hohe Begabungsausprägungen sind also sehr selten. Dies ist weitgehend unabhängig davon, wie die beteiligten Komponenten verteilt sind.
- Die Korrelation zwischen der Ausprägung einer Komponente und der Begabungsausprägung insgesamt ist aufgrund der nichtlinearen, nichtadditiven und damit nichtausgleichenden Verknüpfung sehr gering. Beispielsweise ist eine sehr hohe Ausprägung einer Komponente C_j wirkungslos, wenn nur eine der anderen notwendigen Komponenten 0 ist. Darin liegt die *Schwierigkeit der Diagnose* von Begabungen begründet.
- Begabung besitzt als Produkt zahlreicher Komponenten nur eine *geringe Erbllichkeit*, selbst wenn alle beteiligten Komponenten durch sehr hohe Erbllichkeitsfaktoren gekennzeichnet sind.
- Begabungsbereiche können *unterschiedliche Komplexität* besitzen, bestimmt durch die Anzahl k der beteiligten Komponenten. Mit dieser nehmen auch die Vielfalt möglicher Begabungsprofile und das Ausmaß der Rechtsschiefe der Begabungsverteilung zu.
- Aufgrund der *Zeitabhängigkeit* einzelner Komponenten kann es so genannte early oder late bloomers geben, das Begabungsprofil bzw. der optimale Begabungsbereich kann zeitlich variabel sein⁸ und Begabungen können sogar verloren gehen, die Begabungsverteilung innerhalb einer Population kann altersabhängig sein und frühe Begabungsindikatoren können fehlen, was eine Diagnose zusätzlich erschwert.

In Bezug auf Mathematik ist man allerdings von einer Identifizierung aller relevanten, darunter wohl insbesondere auch kognitiven Elementarkomponenten noch weit entfernt. Daran entschiede sich jedoch auch die Spezifität einer mathematischen Begabung. Eine Entscheidung in Bezug auf diese elementare Ebene ist meines Erachtens allerdings weniger wichtig, da die Spezifität von Leistungspotenzialen eines Individuums ja vor allem auch durch dessen (Lern-) Erfahrungen, also in Interaktion mit der Umwelt entsteht.

2.1 Mathematische Begabungen

Mathematische Begabungen werden bislang auf der übergeordneten Ebene besonderer komplexer Fähigkeiten, Merkmale oder kognitiver Operationen, zum Teil ergänzt durch „begabungsstützende Persönlichkeitsmerkmale“ (Käpnick, 1998) cha-

⁸ Beispielsweise entwickeln sich musikalisch begabte Kinder und Jugendliche häufig zunächst zu Instrumentalisten, wechseln jedoch später zur Komposition.

rakterisiert. Diese Fähigkeiten sind nun in der Tat zumindest teilweise mathematikspezifisch oder erfahren im Verlauf der individuellen Entwicklung eine mathematikspezifische Ausrichtung. So meint beispielsweise Krutetskii, einer der ersten kognitiven Psychologen, die sich intensiv mit besonderen mathematischen Leistungen beschäftigt haben:

„Certain features of a pupil’s mental activity can characterize his mathematical activity alone – can appear only in the realm of the spatial and numerical relationships expressed in number and letter symbols, without characterizing other forms of his activity and without correlating with corresponding manifestations in other areas. Thus, *mental abilities that are general by nature* (such as the ability to generalize) *in a number of cases can appear as specific abilities* (the ability to generalize mathematical objects, relations, and operations). There appears to be every basis for speaking of *special, specific abilities*, and not of general abilities that are only refracted in a unique way in mathematical activity.“ (Krutetskii, 1976, S. 360)

Zur Identifizierung solcher spezifischen Fähigkeiten im Schulalter führte Krutetskii mit seiner Arbeitsgruppe von 1955 bis 1966 größere empirische Untersuchungen mit Schülerinnen und Schülern der zweiten bis zehnten Klassenstufe durch,⁹ die durch längerfristige Beobachtungen, Befragungen von Eltern und Lehrern, von Mathematikdidaktikern und Mathematikern ergänzt sowie durch biografische Forschungen weiter angereichert wurden (Krutetskii, 1976). Hauptergebnis ist eine Charakterisierung mathematischer Begabungen im Schulalter, die sich der Entstehungszeit entsprechend an Modellen der Informationsverarbeitung orientiert und sehr knapp etwa auf folgende Weise zusammengefasst werden kann (S. 350 f.):¹⁰

- Gewinnen mathematischer Informationen: Fähigkeit zur formalisierten Wahrnehmung mathematischer Materials, zum Erfassen der formalen Struktur eines Problems.
- Verarbeiten mathematischer Informationen: Fähigkeit zum bereichsspezifischen logischen Denken, Fähigkeit zum Denken in mathematischen Symbolen; Fähigkeit zur schnellen und breiten Generalisierung mathematischer Objekte, Beziehungen und Operationen; Fähigkeit zur Verkürzung von Prozessen mathematischer Schlussfolgern, Fähigkeit zum Denken in verkürzten Strukturen; Beweglichkeit des Denkens im mathematischen Bereich; Streben nach Klarheit, Einfachheit, Ökonomie und Rationalität von Lösungsprozessen; Umkehrbarkeit mentaler Prozesse beim mathematischen Schlussfolgern.

⁹ Hauptelement der Studie war die quantitative und qualitative Analyse der Bearbeitung speziell konstruierter Aufgabenserien durch die Schüler, die aufgrund ihrer Noten, vor allem aber auch auf der Basis von Lehrerurteilen als mathematisch leistungsstark („capable“), durchschnittlich oder relativ leistungsschwach („relatively incapable“) eingeschätzt wurden.

¹⁰ Eine Übersetzung ins Deutsche findet sich z. B. auch bei Käpnick (1998, S. 79).

- Speichern mathematischer Informationen: mathematisches Gedächtnis (verallgemeinertes Wissen über mathematische Beziehungen, Typen von Aufgaben und Problemen, Argumentations- und Beweisschemata, Problemlösemethoden, grundsätzliche Zugangsweisen).
- Allgemeine synthetische Komponente: mathematische Gerichtetheit.

Außerdem benennt Krutetskii weitere nützliche, allerdings nicht notwendige Merkmale wie die Geschwindigkeit von Denkprozessen, Rechenfertigkeiten, ein ausgeprägtes Gedächtnis für Symbole, Zahlen und Formeln, Raumvorstellungsvermögen sowie die Fähigkeit zum anschaulichen Vorstellen abstrakter mathematischer Beziehungen und Abhängigkeiten.

In Deutschland konstruierte Kießwetter in den 1980er Jahren auf der Grundlage seiner Überlegungen und Erfahrungen zu Spezifika mathematischen Tätigseins und unter Einbezug der Ergebnisse Krutetskii einen „Katalog von Kategorien mathematischer Denkleistungen“, in denen sich mathematisch begabte Schülerinnen und Schüler insbesondere bei der Auseinandersetzung mit mathematisch reichhaltigen Situationen abheben und die deshalb zur Konstruktion des „Hamburger Tests für mathematische Begabung“ (HTMB) benutzt wurden: Organisieren von Material; Sehen von Mustern und Gesetzen; Erkennen von Problemen, Finden von Anschlussproblemen; Wechseln der Repräsentationsebene (vorhandene Muster bzw. Gesetze in „neuen“ Bereichen erkennen und verwenden); Strukturen höheren Komplexitätsgrades erfassen und darin arbeiten; Prozesse umkehren. Dieser Katalog soll aber ausdrücklich keine umfassende Beschreibung einer solchen Begabung sein (z. B. Kießwetter, 1985, S. 302).

Käpnick entwickelte in seiner grundlegenden Arbeit zu mathematischen Begabungen im Grundschulalter ausgehend von den Ergebnissen Krutetskii und Kießwetters sowie unter Berücksichtigung der Entwicklungsbesonderheiten von Grundschulkindern ein Merkmalsystem für Dritt- und Viertklässler mit einer potenziellen mathematischen Begabung, das in umfangreichen empirischen Untersuchungen bestätigt werden konnte. Es umfasst neben mathematikspezifischen Begabungsmerkmalen explizit auch begabungsstützende allgemeine Persönlichkeitseigenschaften (vgl. Käpnick, 1998, S. 119):

- Mathematikspezifische Begabungsmerkmale: mathematische Sensibilität; Originalität und Phantasie bei mathematischen Aktivitäten; Gedächtnisfähigkeit für mathematische Sachverhalte; Fähigkeit zum Strukturieren; Fähigkeit zum Wechseln der Repräsentationsebenen; Fähigkeit zur Reversibilität und zum Transfer; räumliches Vorstellungsvermögen.
- Begabungsstützende allgemeine Persönlichkeitseigenschaften: hohe geistige Aktivität; intellektuelle Neugier; Anstrengungsbereitschaft, Leistungsmotivati-

on; Freude am Problemlösen; Konzentrationsfähigkeit; Beharrlichkeit; Selbstständigkeit; Kooperationsfähigkeit.

Damit setzte Käpnick für die Domäne Mathematik seit langem bestehende Forderungen aus der psychologischen Begabungsforschung um, die Persönlichkeitsmerkmale als Stützfunktionen (damals ausschließlich) intellektueller Anlagen einzubeziehen (z. B. Meumann, 1908; Strunz, 1962). Mittlerweile wurde das Merkmalsystem von Käpnick und Fuchs in ein „Modell mathematischer Begabungsentwicklung im Grundschulalter“ (Käpnick, 2006) eingeordnet, das diese Stütz- und Katalysatorfunktionen weiter herausstellt.

Diese kurze Zusammenstellung von Charakterisierungen soll an dieser Stelle genügen, auch wenn sie notwendigerweise unvollständig ist und vor allem aus Platzgründen auf durchaus unterschiedliche Akzentuierungen bei einzelnen fast gleichnamigen Elementen der vorgestellten Merkmalsysteme nicht eingegangen werden kann. Dagegen möchte ich im folgenden Abschnitt versuchen, einige kritische Fragen herauszuarbeiten, die sich aus solchen oder ähnlichen Charakterisierungen ergeben können.

2.2 Kritische Fragen

Eine grundlegende Schwierigkeit bei der Auseinandersetzung mit Begabungen besteht darin, dass es sich bei diesen um theoretische, nicht direkt beobachtbare Konstrukte handelt. In der Tat lassen sich Begabungen lediglich indirekt aus beobachtbaren und (mehr oder weniger) messbaren Leistungen und Verhaltensweisen erschließen (Gemeinhardt, 2007; vgl. auch Götze, 1916). Daraus erwächst in dem hier interessierenden Zusammenhang auch die Frage, ob die derzeit zur Erfassung mathematischer Begabungen verwendeten Fähigkeiten oder Handlungsstrukturen tatsächlich ausschließlich auf angeborene Potenziale zurückgehen. Dies ist sicher nicht der Fall. Gerade auch die von Kießwetter herausgearbeiteten komplexen Operationen mathematischen Handelns werden erst durch spezifische Erfahrungen und deren Einfluss auf subjektinterne Strukturen möglich (Wieczerkowski, 1998). Der von Kießwetter und Käpnick benutzte Begabungsbegriff ist damit (bewusst) kein klassischer, sondern ein dynamischer.¹¹ Mathematische Begabungen zeigen sich in Handlungsstrukturen und Merkmalen, die sich durch mathematisches Tätigsein verfestigen und erweitern, sie sind Ergebnis einer Entwicklung, in der angeborene Potenziale und Umwelteinflüsse interagieren (Käpnick, 2007).

Zu fragen bleibt, ob der Begriff der mathematischen Begabung für die vorgestellten Charakterisierungen dann noch der am besten passende ist. Ziegler und Heller

¹¹ Auch bei Krutetskii (1976, S.4) wird eine dynamische Auffassung von Fähigkeiten bereits deutlich: „Abilities are not something foreordained once and for all; they are formed and developed through instruction, practice, and the mastery of an activity.“

(2000) formulieren Mindestanforderungen an ein Begabungskonzept aus psychologischer Sicht, die sich sehr knapp auf folgende Weise zusammenfassen lassen:

- Begabung ist ein Personenmerkmal.
- Für eine kausale Beziehung zwischen Begabungen und außergewöhnlichen Leistungen müssen (u. a.) erstere zeitlich vorangehen.
- Begabungen sind ein nicht hinreichender, aber notwendiger Bestandteil eines hinreichenden Bedingungsgefüges zum Erreichen exzeptioneller Leistungen.¹²
- Es muss einen theoretisch begründbaren Prozess geben, in dessen Verlauf aus Begabungen besondere Leistungen erwachsen.

Davon ausgehend schließen Ziegler und Heller beispielsweise Persönlichkeitsmerkmale wie Beharrlichkeit als Bestandteile einer (mathematischen) Begabung aus, da keine psychologische Theorie bekannt ist, nach der aus Beharrlichkeit eine besondere (mathematische) Leistungsfähigkeit entstünde. Dennoch behalten solche Merkmale als intrapersonale „Katalysatoren“ ihre herausragende Bedeutung. Benutzt man beispielsweise Kießweters Aufzählung mathematischer Denkleistungen ganz formal zur Identifizierung mathematisch begabter Schülerinnen und Schüler, wird die INUS-Bedingung¹³ nicht erfüllt, schließlich gelten die Lernenden als begabt, sobald sie die Denkleistungen zeigen können. Auch wenn man die vierte Anforderung etwas weiter fasst, bleibt die zweite in Bezug auf die vorgestellten Charakterisierungen mathematischer Begabungen kritisch, insbesondere wenn man berücksichtigt, dass die grundlegende Merkmalliste von Krutetskii vor allem auch durch querschnittliche Untersuchungen entstanden ist. Zwar wurde darüber hinaus versucht, Charakteristika erfolgreichen mathematischen Tätigseins zu identifizieren und in Begabungsbeschreibungen einfließen zu lassen, der von Waldmann und Weinert (1990) geforderte zweite Schritt, die Entwicklung dieser Charakteristika ausreichend weit zurückzuverfolgen, um theoretisch begründete *Prädiktoren* zu gewinnen, konnte allerdings meines Erachtens noch nicht verwirklicht werden. Möglicherweise bestehen diesbezüglich auch aufgrund der Dynamik und Komplexität (nicht nur) der Domäne Mathematik prinzipielle Grenzen.

¹² Trotz dieser Formulierungen: Streng deterministische Beziehungen sind in diesem Bereich selbstverständlich nicht zu erwarten.

Der dritte Punkt meint, dass unter denselben Umständen das Individuum seine außergewöhnlichen Leistungen nicht ohne das Vorhandensein einer Begabung zeigen könnte; allerdings können auch gänzlich andere Konstellationen denkbar sein, die zu denselben Leistungen führen könnten. Wenn beispielsweise ein vierjähriges Kind sehr gut Englisch spricht, dann vielleicht, weil es in London aufwächst. Wächst es allerdings in einem deutschsprachigen Elternhaus in Berlin auf, dann ist eine besondere sprachliche Begabung notwendig (aber nicht hinreichend) für diese außergewöhnliche Leistung.

¹³ INUS: *insufficient, but nessecary part of an unnessecary but sufficient condition*

3 Expertise und ihre Voraussetzungen

Auch für den Begriff der Expertise gibt es keine einheitliche Definition. Weitgehend geteilt wird allerdings die Auffassung, dass ein Experte durch dauerhaft erbrachte herausragende Leistungen in einem bestimmten Gebiet gekennzeichnet wird. Vor allem in querschnittlich angelegten Untersuchungen wurde der Frage nachgegangen, worauf Experten ihre besondere Leistungsfähigkeit gründen. Unter anderem die folgenden charakteristischen Unterschiede zwischen Experten und Novizen lassen sich in der einschlägigen Literatur (z.B. Berliner, 2001; Gruber & Mandl, 1996) finden:

- Experten verfügen über eine breitere, differenziertere und qualitativ anders strukturierte Wissensbasis. Dieser kommt eine besondere Bedeutung bei der Erklärung von Expertise zu (auch Grabner, Stern, & Neubauer, 2007; Heilmann, 1999; Waldmann & Weinert, 1990; Waldmann, Renkl, & Gruber, 2003). Mit dieser domänenspezifischen Wissensbasis einher gehen eine effiziente Enkodierung dargebotener Informationen und die Verwendung elaborierter Strategien für den Erwerb, den Abruf und die Nutzung von Wissen (Kauke & Bönsch, 1996).
- Experten arbeiten zunächst intensiver an einer Problemrepräsentation und orientieren sich dabei an der Tiefenstruktur (z.B. Adelson, 1984; für die Domäne Mathematik auch Schuler, 2006).¹⁴
- Experten entwerfen häufig sehr schnell sachgemäße Pläne.
- Sie erkennen bedeutsame Muster schneller, arbeiten flexibler, können Repräsentationen schneller wechseln und können mit mehrdeutigen und komplexen Situationen besser umgehen.

Über verschiedene Inhaltsbereiche hinweg lässt sich demnach eine Reihe von Gemeinsamkeiten von Experten identifizieren, allerdings gibt es auch wichtige Unterschiede. Beispielsweise arbeiten Experten abhängig von der Art ihrer Domäne (z.B. Physik vs. Programmierung) oder der Problemstellung eher vorwärts oder rückwärts (Richman, Gobet, Staszewski, & Simon, 1996; Waldmann & Weinert, 1990).¹⁵ Derartige Grenzen bei der Formulierung bereichsübergreifender Expertisemerkmale werden verständlich, wenn man bedenkt, dass Expertise nicht zuletzt

¹⁴ Neuere Untersuchungen haben allerdings u. a. gezeigt, dass Experten durchaus auch Oberflächenmerkmale berücksichtigen oder es von der Auswahl der Experten abhängt, was als Tiefenstruktur gilt (Rüede, 2009).

¹⁵ So werden sich die in verschiedenen Untersuchungen beschriebenen Unterschiede zwischen dem Vorwärtsarbeiten von Experten und dem Rückwärtsarbeiten von Novizen eher dann zeigen, wenn die Experten ihre elaborierte Wissensbasis zur Bearbeitung der vorliegenden Problemstellung sinnvoll nutzen können.

durch Anpassungen des kognitiven Systems an die spezifischen und durchaus unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Domänen entsteht (Waldmann, Renkl, & Gruber, 2003).

Notwendige Voraussetzung zur Entwicklung von Expertise ist natürlich eine intensive Auseinandersetzung mit der jeweiligen Domäne. Für ein mittleres Ausmaß von Expertise in Domänen wie Schach, Physik oder Mathematik gehen Kognitionspsychologen von mehreren 1000 Stunden Beschäftigungszeit aus (Waldmann & Weinert, 1990), für das Erreichen von Höchstleistungen formulierten bereits Simon und Chase (1973) die weithin akzeptierte Zehnjahresregel.¹⁶ Allerdings ist dabei nicht nur die reine Beschäftigungszeit bedeutsam, vielmehr kommt der Qualität der Auseinandersetzung eine entscheidende Rolle zu. Besonders wichtig ist dabei der Umfang der *deliberate practice* (Ericsson et al., 1993). Darunter ist eine planvolle, langfristige, oft auch begleitete Lerntätigkeit zu verstehen, die auf eine Verbesserung der eigenen Leistungsfähigkeit ausgerichtet und durch entsprechend anspruchsvolle Anforderungen an der Leistungsgrenze sowie durch ständige Überwachung der und Rückmeldungen über die erbrachten Leistungen gekennzeichnet ist. Daher wird sie in der Regel als anstrengend und wenig freudvoll empfunden, zumal sie nicht unmittelbar zu sozialer oder anderweitiger Anerkennung führt (z. B. auch Heilmann, 1999; Perleth, 2001; Perleth & Schatz, 2004; Ziegler, 2000).

Die in diesem Zusammenhang berichteten Befunde gehen allerdings zu einem großen Teil auf Einzelfallstudien zurück, oft konnten in den Untersuchungen nur retrospektiv erhobene Beschreibungen und grobe Maße beispielsweise zum häuslichen Umfeld oder zum Lernverhalten genutzt werden. In der Tat ist die Expertiseforschung mit ihren klassischen Methoden nicht in der Lage, Expertiseentwicklung nachzuzeichnen (Lajoie, 2003; Perleth, 2001).¹⁷ So ist aufgrund des weitgehenden Fehlens längsschnittlicher prospektiver Untersuchungen auch nicht vollständig geklärt, welche – z. B. kognitiven – Voraussetzungen zum Expertiseerwerb in der jeweiligen Domäne notwendig sind (Waldmann & Weinert, 1990).

Diesbezüglich entwickelten Ericsson et al. in den 1990er Jahren eine Extremposition:

„From our search for immutable characteristics corresponding to innate talent, we conclude that individuals acquire virtually all of the distinguishing characteristics of expert

¹⁶ Als wichtiges Indiz für die Richtigkeit dieser Daumenregel wird auch die Beobachtung gewertet, dass Höchstleistungen oft erst viele Jahre nach Vorliegen aller geistigen und körperlichen Voraussetzungen erreicht werden. Eine ausführlichere Darstellung zur 10-year rule findet sich beispielsweise bei Ericsson (1996b).

¹⁷ Allerdings wäre es auch sehr aufwändig und unsicher, die (mögliche) Entwicklung von Expertise in einer ökologisch validen und hinreichend komplexen Domäne über viele Jahre hinweg hinreichend detailliert zu erfassen.

performers through relevant activities (deliberate practice). At least one characteristic, height, cannot be acquired.“ (Ericsson et al., 1993, S. 397)

Demnach sind nicht angeborene Fähigkeiten für die Expertiseentwicklung bedeutsam, sondern die domänenspezifische Motivation, Freude und Anstrengungsbereitschaft des Individuums, die genetisch beeinflusst sein mögen.

„... we reject any important role for innate ability. It is quite plausible, however, that heritable individual differences might influence processes related to motivation and the original enjoyment of the activities in the domain and, even more important, affect the inevitable differences in the capacity to engage in hard work (deliberate practice).“ (Ericsson et al., 1993, S. 399)

Begründet wird diese Sichtweise unter anderem mit den häufig niedrigen Korrelationen zwischen Fähigkeitstests und später erbrachten Leistungen in komplexen Domänen bzw. im Beruf, mit der Variabilität zahlreicher ursprünglich als genetisch determiniert vermuteter basaler Merkmale bedingt durch die intensive Auseinandersetzung mit der entsprechenden Domäne¹⁸ und mit dem nachweislich engen Zusammenhang zwischen dem Umfang an deliberate practice sowie dem Zeitpunkt ihres Beginns und der schließlich erreichten Leistungsfähigkeit.

Diese Extremposition wird heute in weiten Teilen abgelehnt (z. B. Schneider, 1992, 2000; Sternberg, 1998, 2000; Winner, 2000; Kommentare zu Ericsson, Roring, & Nandagopal, 2007, im selben Heft), zum einen mit dem Hinweis, dass geringe Korrelationen zwischen Ergebnissen von Fähigkeitstests und Leistungen in den jeweiligen Domänen zu großen Teilen auf die Untersuchung hoch ausgewählter Stichproben zurückgehen. Zum anderen lassen viele spätere Experten bereits vor oder zu Beginn der formalen Ausbildung enorme Fähigkeiten erkennen (Winner, 1999, 2000). Zum dritten mag es zwar einen starken empirischen Zusammenhang zwischen deliberate practice und Leistung geben.¹⁹ Dies heißt allerdings weder, dass die erreichte Leistungsfähigkeit unabhängig von angeborenen Prädispositionen wäre und damit jedes Individuum bei gleicher Lern- und Übungspraxis dasselbe Expertiseniveau erreichen würde, noch dass Umfang und Qualität der Auseinander-

¹⁸ Beispielsweise kann auch das sogenannte absolute Gehör durch Üben erworben werden, verhältnismäßig leicht wohl im Alter von 3 bis 5 Jahren (Ericsson, 1996a). Auch zahlreiche anatomische und physiologische Merkmale wie die Größe von Herz und Lunge, die Effizienz metabolischer Prozesse, die Anzahl der blutversorgenden Kapillaren und der Typ von Muskelfasern (langsam vs. schnell zuckende Fasern) können durch intensives Training verändert werden (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993), wobei das Ausmaß der Veränderungen eng mit der Intensität des Trainings korreliert (Ericsson, 1996a). Derartige Anpassungsleistungen werden jedoch häufig auf Kosten anderer, für die Spezialisierung nicht gebrauchter Merkmale erbracht (Waldmann, Renkl, & Gruber, 2003).

¹⁹ Allerdings weist Simonton (2004) zu Recht darauf hin, dass die Regel „Mehr ist besser.“ auch unter Berücksichtigung qualitativer Aspekte der Lernaktivitäten zu einfach ist.

setzung mit der Domäne selbst unabhängig von angeborenen Faktoren wäre (Oerter, 2003). Deliberate practice scheint also eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung der Expertiseentwicklung zu sein (Oerter, 2003; Sternberg, 1998).

4 Synthese von Begabung und Expertise

Es ist evident, dass es in komplexen Domänen begabte und weniger begabte Personen gibt (Weinert, 2000a). Die wichtige Rolle angeborener Potenziale bei der Entwicklung exzeptioneller Leistungen ist beispielsweise an den folgenden Befunden erkennbar:

- Individuen können von vergleichbarer Lern- und Übungspraxis unterschiedlich stark profitieren (Sternberg, 2000; Weinert, 2000b; Winner, 1999).
- Nicht jede Person entwickelt durch intensive Erfahrungen Expertise.²⁰
- Verschiedene Experten einer Domäne, die an ihrer jeweiligen Leistungsgrenze vermutet werden können, zeigen mitunter durchaus unterschiedliche Leistungsniveaus (Schneider, 1992).

Wichtig und fruchtbar ist daher eine Synthese der Vorstellungen, Forschungsmethoden und Ergebnisse zu Begabungen und Expertise. Eine solche Synthese scheint möglich, denn sieht man von Extrempositionen ab, beruhen Expertise- und Begabungsansatz eher auf unterschiedlichen Akzentuierungen und sich ergänzenden Perspektiven denn auf unüberbrückbaren Gegensätzen (Perleth, 2001). So beziehen aktuelle Arbeiten zu Begabungen insbesondere auch die Begabungsentfaltung und Bedingungen der Entwicklung außergewöhnlicher Leistungen ein und auch in der Expertiseforschung interessiert man sich zunehmend für Bedingungen und Voraussetzungen der Expertiseentwicklung. Mittlerweile kann von einer Konvergenz oder sogar von einem fließenden Übergang zwischen Begabungs- und Expertiseforschung gesprochen werden (Heilmann, 1999; Perleth, 2001).

Infolge solcher Synthesebemühungen entstanden integrative Modellierungen einer Begabungs-, Talent- oder Expertiseentwicklung, man denke beispielsweise an das Schwellenwertmodell²¹ und das „partial compensation“ – Modell²² der Expertise-

²⁰ Entsprechend lässt sich an Verfechter eines absoluten Expertiseansatzes die Frage richten, warum einige Personen sich in einer langjährigen „deliberate practice“ engagieren und viele andere nicht.

²¹ Es ist naheliegend, dass es Domänen gibt, in denen für ein Verständnis von Inhalten und Problemen und damit erst recht für die Entwicklung von Expertise eine gewisse Mindestintelligenz notwendig ist, was sich auch mit Befunden aus der Intelligenzforschung untermauern lässt (Neubauer & Stern, 2007, S. 198). Überschreiten die Fähigkeiten gewisse (im überdurchschnittlichen Bereich angesiedelte) Schwellenwerte, so entscheiden

forschung sowie die Weiterentwicklung des Münchner Modells zur Hochbegabung durch Perleth (2001). Aber auch im Original oder im Differenzierten Begabungs- und Talentmodell von Gagné lassen sich integrative Elemente ausmachen.

Ausgehend von den Ergebnissen aus beiden Forschungstraditionen lassen sich in Anlehnung an Perleth (2001) wichtige Anforderungen an ein integratives Modell formulieren: Berücksichtigung angeborener Merkmale, aber auch der Dynamik des beschriebenen Konstrukts, Bereichsspezifität, Einbezug des Entwicklungsverlaufs sowie der damit verbundenen Lern- und Übungsaktivitäten und deren Qualität sowie die Berücksichtigung von bereichsspezifischem Wissen und Kompetenzen.

Als besonders interessanter Ansatz zu einer solchen Integration, gerade auch für eine Einordnung der für die Domäne Mathematik bislang vorliegenden Befunde, erscheint mir das von Sternberg (1998, 2000) vorgeschlagene Konzept einer sich entwickelnden Expertise.

5 Die sich entwickelnde mathematische Expertise

Nach Sternberg ist ein Individuum kontinuierlich in einem Prozess der sich entwickelnden (mathematischen) Expertise, wann immer es in der Domäne (Mathematik) tätig ist. Dabei gibt es nach allen vorliegenden empirischen Befunden selbstverständlich interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Geschwindigkeit der Expertiseentwicklung und auch in Bezug auf deren mögliche Asymptote, die in angeborenen Merkmalen begründet sind. Einfluss auf die Expertiseentwicklung haben aber auch Umfang und Art der Auseinandersetzung mit Mathematik und die Unterstützung durch die Umwelt, wobei insgesamt die durch Umweltfaktoren bedingte Varianz höchstwahrscheinlich deutlich größer ist als die in angeborenen Unterschieden begründete (dazu auch Simonton, 1999).

Entscheidend für das Konzept der sich entwickelnden Expertise ist, dass die in Intelligenz- oder Begabungstests gemessenen Fähigkeiten selbst als Teil des aktuellen Entwicklungsstands der Expertise aufgefasst werden. Damit gehen sie einer möglichen Expertise nicht länger voraus, sie verlieren den Status mehr oder weniger zuverlässiger Prädiktoren. Aus dieser Sicht werden Fähigkeitstests zwar häufig

im Wesentlichen die nichtkognitiven Persönlichkeitsmerkmale und Umweltfaktoren, inwieweit außergewöhnliche Leistungen erreicht werden; ein Weniger an Begabung kann also zumindest partiell kompensiert werden (Neubauer & Stern, 2007; Schneider, 1992; Simonton, 1997; Sosniak, 1997; Waldmann & Weinert, 1990).

²² Leistungsunterschiede zwischen Experten lassen sich ohne Berücksichtigung basaler Fähigkeiten oder Merkmale (beispielsweise IQ) allerdings nicht vollständig aufklären (Schneider, 1993). Diese könnten jedoch mit zunehmender bereichsspezifischer Erfahrung und umfangreicherem Wissen immer weniger bedeutsam werden (Heller, 1993; Schneider, 2000).

zur Voraussage späterer Leistungen beispielsweise in Schule oder Beruf *benutzt*, aber allein deswegen kommt den damit gemessenen Konstrukten kein grundlegender oder *kausaler* Charakter zu – wie man ihn beispielsweise Begabungen im klassischen Ansatz zuweist:

„What distinguishes ability tests from the other kinds of assessments is how the ability tests are used (usually predictively) rather than what they measure. There is no qualitative distinction among the various kinds of assessments.“ (Sternberg, 1998, S. 11)

Ein „Vorrang-Charakter“ lässt sich selbst für Intelligenztests kaum begründen (Waldmann & Weinert, 1990, S. 175), wenn man zudem berücksichtigt, dass selbst einfache Begriffe und Fähigkeiten – beispielsweise der Vergleich von Massen von Objekten – und auch die Bearbeitung figuralen Materials kulturabhängig sind (Neubauer & Stern, 2007). Auch der sogenannte Flynn-Effekt²³ spricht für eine Erfahrungsabhängigkeit von Intelligenztestergebnissen (Sternberg, 2003, 2004). Dies trifft meines Erachtens erst recht auf die derzeit in der (deutschen) Mathematikdidaktik üblichen Tests für mathematische Begabungen (beispielsweise den HTMB oder den „Indikatoraufgaben-Test“ von Käpnick) zu. Sie unterscheiden sich von anderen Verfahren der Leistungsmessung (z. B. Schulnoten) höchstwahrscheinlich hinsichtlich der gemessenen Merkmale und ihnen kommt damit wohl eine höhere Prognosesicherheit²⁴ im Hinblick auf spätere herausragende mathematische Leistungen zu, im Status der gemessenen Konstrukte gibt es allerdings keinen Unterschied.

Die von Krutetskii, Kießwetter und Käpnick entwickelten Charakterisierungen beschreiben meines Erachtens eine sich entwickelnde mathematische Expertise, was sich für mich insbesondere aus den in Abschnitt 2.2 zusammengetragenen und den folgenden Punkten ergibt:

- Die Charakterisierungen sind unterschiedlich, sie beschreiben die aktuelle Ausprägung eines dynamischen Konstrukts.
- Die zur Charakterisierung genutzten großenteils erwerbbaaren Handlungsstrukturen bzw. Fähigkeiten korrespondieren zum Teil stark mit Expertisecharakteristika.

²³ Als Flynn-Effekt wird die Beobachtung bezeichnet, dass der mittlere IQ in den Industrienationen um durchschnittlich etwa 3 Punkte pro Dekade zunahm; eine so schnelle Änderung kann nicht auf genetisch bedingte Veränderungen zurückgeführt werden. Der Flynn-Effekt ist derzeit nur noch in wenigen Industrienationen festzustellen, dagegen werden verbreitet eher gegenläufige Tendenzen beobachtet.

²⁴ Die prognostische Aussagekraft eines Tests hängt vor allem ab von der Größe des Überlappungsbereiches bezüglich der gemessenen und der vorherzusagenden Expertise.

- Die Charakterisierungen wurden in Vergleichsuntersuchungen und Untersuchungen von Extremgruppen entwickelt, also mit typischen Methoden der Expertiseforschung.

Grundlagen für die Entwicklung einer mathematischen Expertise sind in der folgenden Abbildung veranschaulicht. Schattierungen sollen dabei die Bedeutung angeborener Variablen für den jeweiligen Bereich andeuten.

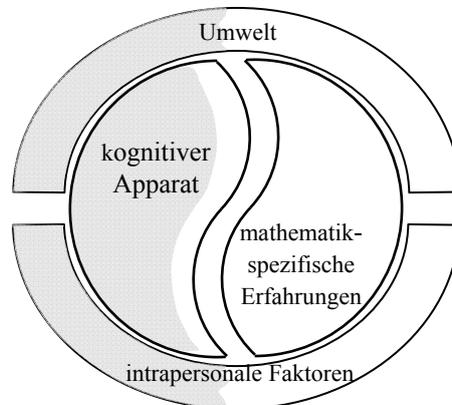


Abbildung 1: Merkmalsbereiche zur Entwicklung mathematischer Expertise

Ausgangspunkt der Entwicklung mathematischer Expertise sind weitgehend angeborene hirnganische Strukturen, teilweise domänenspezifische basale Prozesse und Lernpotenziale (Weinert, 2000b). Bezüglich weniger mathematikspezifischer Elemente denke ich beispielsweise an die hochgradig genetisch determinierte Menge an grauer und weißer Substanz (Neubauer & Stern, 2007), Aspekte der Aufmerksamkeit und Aufmerksamkeitssteuerung, an die Habituation²⁵ oder die Arbeitsgedächtniskapazität. Unter anderem Devlin (2004) hat versucht, basale mathematikbezogene Potenziale zu benennen, zu denen er beispielsweise den Zahlensinn, die Fähigkeit zur Abstraktion und das Raumvorstellungsvermögen zählt.

Zahlreiche Untersuchungen beispielsweise zur Neuroplastizität haben allerdings gezeigt, dass dieser Merkmalsbereich auch noch im Erwachsenenalter teilweise flexibel ist und durch Lernprozesse beeinflusst werden kann (z.B. Neubauer & Stern, 2007; Spitzer, 2002; Stern, Grabner, Schumacher, Neuper, & Saalbach, 2005; für die Domäne Musik z.B. Olbertz, 2009). Auch wenn der Einfluss geneti-

²⁵ Unter Habituation versteht man, wie schnell sich ein Individuum an neue Reize gewöhnt und bekannte wiedererkennt, sie kann damit als Indikator für die Lerngeschwindigkeit aufgefasst werden.

scher Dispositionen (und deshalb der schattierte Anteil in Abbildung 1) relativ groß ist, kommt also der Verfügbarkeit von Lerngelegenheiten dennoch eine wichtige Rolle zu (Perleth & Wilde, 2009). Dabei ist die Existenz spezifischer sensibler Phasen zwar möglich (vgl. Fußnote 18), für höhere kognitive Funktionen – wie sie für mathematisches Tätigsein bedeutsam sind – allerdings wenig plausibel (Neubauer & Stern, 2007, S. 194 f.).

Schlüsselement für die weitere Expertiseentwicklung ist das mathematische Tätigsein, denn: „Alle geistigen Kompetenzen müssen gelernt werden.“ (Weinert, 2000b, S. 12) Dabei spielt selbstverständlich nicht nur ein hinreichend großer Umfang, sondern insbesondere auch die Qualität von Erfahrungen bzw. informeller und formaler Lernaktivitäten eine entscheidende Rolle.

Damit ist die Bedeutung der Umwelt bereits angesprochen, also des Milieus, der Interventionen und bereitgestellten, dem jeweiligen Entwicklungsstand angemessenen Angebote zur Auseinandersetzung mit Mathematik – z. B. Förderprogramme, Wettbewerbe oder ein individuell zugeschnittener Unterricht durch Experten –, der Personen – z. B. Eltern, Lehrer oder gleich interessierte und ähnlich leistungsfähige Peers, die ermutigen, unterstützen, fordern, anleiten, helfen, inspirieren oder durch Konkurrenz motivieren – und besonderer (zufälliger) Ereignisse (vgl. Bloom, 1985; Gagné, 2005). Auch dieser Bereich unterliegt eingedenk der Plominischen passiven, evokativen und aktiven Genotyp-Umwelt-Effekte teilweise genetischen Einflüssen (Plomin, 1994; Oerter, 1992).²⁶

Aus dem notwendig großen Umfang an Lernerfahrungen und den mit dessen Erwerb verbundenen Mühen folgt die enorme Bedeutung nichtkognitiver Persönlichkeitsmerkmale:

„Motivationalen, affektiven und persönlichkeitsbezogenen Faktoren, vor allem, soweit sie Strukturen und Prozesse des Selbstsystems betreffen (...), scheint somit erhebliche Bedeutung dafür zuzukommen, daß die für den Expertiseerwerb notwendige intensive Beschäftigung mit der Domäne (...) aufgebracht wird.“ (Gruber & Mandl, 1992, S. 68)

²⁶ Passive Genotyp-Umwelt-Effekte entstehen dadurch, dass Kinder mit ihren biologischen Verwandten sowohl erbliche als auch Umwelteinflüsse teilen. Evokative Genotyp-Umwelt-Effekte erwachsen aus spezifischen Reaktionen der Umwelt auf angeborene Neigungen, zum Beispiel auf früh beobachtete mathematische Interessen und Leistungen. Unter aktiven Genotyp-Umwelt-Effekten wird die aktive Suche nach oder Erschaffung von auf den Genotyp passenden Umwelten verstanden. Alle Effekte konnte beispielsweise Bloom (1985) in seinen Fallstudien nachweisen.

Genotyp und Umwelt beeinflussen also nicht nur gemeinsam die Entwicklung des Individuums, vielmehr wirkt der Genotyp teilweise vermittelt durch die Umwelt.

Nur durch enorme Motivation,²⁷ Interesse, Hingabe, Willenskraft, Ausdauer, Anstrengungsbereitschaft, Lernbereitschaft, Leistungsorientierung, Verantwortlichkeit für die eigene Entwicklung, Selbstvertrauen, soziale Kompetenzen etc. ist es möglich, eine geeignete kognitive Ausstattung mit einem hinreichend großen Erfahrungsschatz zusammenzubringen (z. B. auch Gagné, 2005; Schneider, 1992; Subotnik, 2008),²⁸ wobei volitionale und motivationale Tendenzen auch durch wichtige Bezugspersonen induziert werden können (Gruber, Weber, & Ziegler, 1996; Subotnik & Jarvin, 2005). Perleth (2001, S. 435) konnte in diesem Zusammenhang beispielsweise zeigen, dass sich bei anfänglich gleichen Potenzialen spätere Experten neben domänenspezifischen Lerngelegenheiten vor allem in Bezug auf Interesse und Motivation von weniger erfolgreichen Personen unterscheiden.

Auch dieser Bereich ist – sogar nach Auffassung von Ericsson (Ericsson et al., 1993) – genetisch beeinflusst (auch Weinert, 1997). So weisen beispielsweise Untersuchungen zum mathematischen Interesse auf deutliche (und stabile) Unterschiede bereits im Vorschulalter, also vor Beginn einer formellen Ausbildung hin (Neubauer & Stern, 2007, S. 217).

Die soeben beschriebenen und in Abbildung 1 veranschaulichten Merkmalsbereiche sind selbstverständlich nicht unabhängig voneinander. Ausgehend von den in der Literatur beschriebenen unterschiedlichen Phasen der Expertiseentwicklung (z. B. Bloom, 1985; Subotnik, 2008) wird darüber hinaus erkennbar, dass sich sowohl die Bedeutung von Merkmalen aus einzelnen Bereichen als auch die Bedeutung der Bereiche insgesamt im Laufe der Entwicklung verändern: Erfolgt die Auseinandersetzung mit der Domäne Mathematik anfangs spielerisch, informell und eher von den vorfindbaren Umständen bestimmt, sind später eine zielgerichtete, anstrengungsorientierte Ausbildung (deliberate practice) und für das Erreichen außergewöhnlicher Leistungen eine zunehmende Ausrichtung des Alltags auf die mathematische Weiterentwicklung wichtig, wobei das Individuum falls notwendig auch selbstständig nach entsprechenden Gelegenheiten suchen muss.²⁹ Sorgen zunächst häufig Familienmitglieder und später einfühlsame, begeisternde Lehrer für erste Entwicklungsschritte, sind später Meister-Lehrer und Experten als Mentoren bedeutsam, die über spezifische Lehrmethoden verfügen und für die der Leistungs-

²⁷ Insbesondere der Motivation kommt nach Aussage zahlreicher Autoren eine herausragende Bedeutung bei der Initiierung, Steuerung und Aufrechterhaltung förderlichen Verhaltens zu (z. B. Gagné, 1993; Schneider, 2000; Ward et al., 2007).

²⁸ Deshalb ist dieser Merkmalsbereich in Abbildung 1 auch als zweiter Teil einer Klammer dargestellt; vgl. auch Elemente von Käpnicks Merkmalsystem (Seite 119).

²⁹ Auch daran ist erkennbar, dass die Bedeutung aktiver Genotyp-Umwelt-Effekte im Laufe der Entwicklung zunimmt, während die passiven weniger wichtig werden (Oerter, 1992). In diesem Zusammenhang geht man davon aus, dass das Ausmaß eines aktiven Einflusses auf die Umwelt positiv mit der Begabungshöhe korreliert ist.

zuwachs im Vordergrund steht. Die Beziehung zu ähnlich Fortgeschrittenen, von denen man lernen und mit denen man sich vergleichen kann, wird immer wichtiger. Ist für die Aneignung von Grundlagen und den Aufbau einer angemessenen Arbeitshaltung und entsprechender (Übungs-) Gewohnheiten zunächst häufig ein gewisser Druck von den Eltern notwendig und nützlich, kann dieser später eher schädlich sein. Dagegen muss das Individuum zunehmend selbst Verantwortung für seine Entwicklung übernehmen, wofür u. a. Selbstvertrauen, soziale Fähigkeiten, mitunter auch self-promoting bedeutsam sind (Subotnik, 2008).

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss angeborener domänenunspezifischer Merkmale des kognitiven Apparats zugunsten mathematikspezifischer Erfahrungen und deren Niederschlag auf diesen immer weiter zurückgeht (Heller, 1993, S. 59). Kommt zunächst dem unmittelbaren Umfeld des Individuums in der Bereitstellung günstiger Entwicklungsbedingungen eine besondere Bedeutung zu, werden auf dem langen Entwicklungsweg, der mit viel Mühe verbunden ist, intrapersonale Faktoren immer wichtiger.

Der Prozess der Expertiseentwicklung unterliegt also qualitativen Transformationen (Sosniak, 1997). In der Abbildung 2 können durch die schwarzen Pfeile und den gepunktet dargestellten Zeitpfeil Wechselwirkungen, Rückkopplungen sowie die Dynamik aller Merkmalsbereiche allerdings nur grob veranschaulicht werden.

Auf deren Grundlage bildet das Individuum im Laufe der Zeit komplexe mathematikspezifische Fähigkeiten in zunehmendem Umfang aus.³⁰ Die in der Abbildung verwendete Charakterisierung ist in Anlehnung an Aßmus (2008) formuliert, die ein Merkmalsystem für mathematische Begabungen bei Zweitklässlern entwickelt und empirisch überprüft. Davon ausgehend kann die Expertiseentwicklung dieser jungen Schülerinnen und Schüler weiter voranschreiten und es können weitere Fähigkeiten entwickelt oder bestehende in reichhaltigeren Kontexten realisiert werden. Unterschiedliche Aufzählungszeichen in der Liste mathematikspezifischer Fähigkeiten sollen veranschaulichen, dass nicht alle in gleichem Maße ausgeprägt sein müssen und dass es keinen einfachen additiven Zusammenhang bei diesen gibt (Krutetskii, 1976). Beispielsweise scheint „mathematische Kreativität“ eher ein typendifferenzierendes Merkmal zu sein (Kießwetter, 1992; nicht spezifisch für Mathematik z. B. Sternberg, 1997; Tannenbaum, 1997).

³⁰ In einer früheren Arbeit habe ich an dieser Stelle von „Kompetenzen“ gesprochen, der engere Begriff der Fähigkeit, von Gullasch (1971, S. 20) in Anlehnung an Rubinstein definiert als „ein im Individuum verfestigtes System verallgemeinerter psychischer Tätigkeiten“, das Voraussetzung und gleichzeitig Resultat einer erfolgreichen Ausführung einer oder mehrerer Tätigkeiten ist, scheint mir allerdings passender.

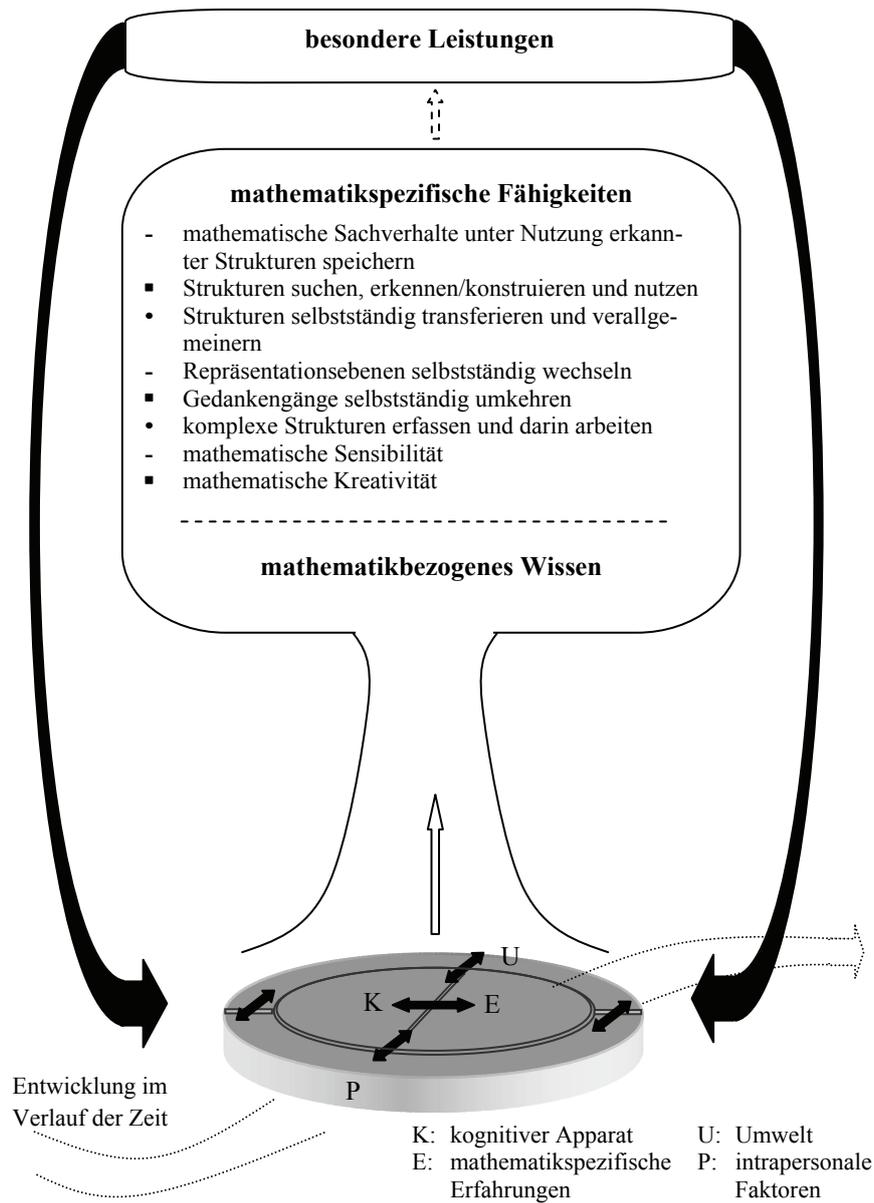


Abbildung 2: Zur Entwicklung mathematischer Expertise³¹

³¹ Überarbeitete Version der Abbildung 2 aus Fritzlar (2008).

Neben Fähigkeiten entsteht natürlich auch eine domänenbezogene Wissensbasis, die nach den Bemerkungen in Abschnitt 3 eine wichtige Grundlage von Expertise ist. Allerdings gehört die Mathematik zu denjenigen Domänen, in denen bereits ohne umfangreichen Wissenshintergrund und damit früher als in anderen Bereichen wie Recht oder Medizin als außergewöhnlich auffallende Leistungen erreicht werden können (van der Meer, 1985; Klix, 1992; Winner, 2007). Zu Recht ist deshalb der Bereich der Fähigkeiten in Abbildung 2 *zunächst* deutlich größer als derjenige, der die Wissensbasis symbolisiert.

Mathematikbezogene Wissensbasis und Fähigkeiten können sich situations- und aufgabenabhängig in besonderen Leistungen manifestieren. Aus dieser Einschränkung – durch einen lediglich gestrichelt gezeichneten Pfeil symbolisiert – ergeben sich nicht nur Schwierigkeiten hinsichtlich der Identifizierung einer sich entwickelnden Expertise, sondern darüber hinaus auch pädagogische Herausforderungen: Durch spezifische Fördermaßnahmen sollten sich die Kinder auch als besonders leistungsfähig erleben, sodass es zu positiv verstärkenden Rückkopplungen auf die Merkmalsbereiche kommen kann.

6 Nur ein Sprachspiel?

Mathematische Begabung oder eine sich entwickelnde mathematische Expertise – sind dies lediglich unterschiedliche theoretische Konstrukte, über deren Eignung man als Wissenschaftler diskutieren kann oder sind mit diesen auch verschiedene (förder-) praxisrelevante Konsequenzen verbunden? Ich sehe neben der bereits dargelegten veränderten Bedeutung von Testungen insbesondere die folgenden Implikationen der zweiten Sichtweise,³² darin begründet, dass Expertise anders als Begabung kein stabiles oder gar angeborenes Merkmal des Individuums ist, sondern unter Nutzung angebotener Ressourcen und in Interaktion mit der Umwelt *beständig* erworben werden muss (vgl. auch Schneider, 1992):

- Geringe Leistungen in einer Testsituation können durch situative Bedingungen verursacht werden, auf mangelnde Prädispositionen, aber auch auf fehlende Lern- und Übungserfahrungen zurückgehen. Insbesondere junge Kinder sind auf vorfindbare Umweltangebote angewiesen. Mit frühen Testungen werden daher – zumindest sofern diese als „Punktmessungen“ angelegt sind – zu einem hohen Teil eher Qualitätsmerkmale vorangegangener Lernangebote (beispielsweise des Mathematikunterrichts in der Grundschule) erfasst.

³² Auch im Vergleich zu dynamischen Begabungsauffassungen erscheinen mir diese aus dem Konzept der sich entwickelnden Expertise noch klarer begründbar.

- Das Individuum muss sich ständig weiterentwickeln, um die Art und den Grad von Expertise zu erreichen, die ihm den Zugang zu Förderprogrammen etc. ermöglichen bzw. die zur Identifizierung als „begabt“ führen (Sternberg, 2000).
- Allerdings erlaubt der aktuelle Expertisegrad keine sichere Aussage darüber, welches Niveau erreicht wird oder erreicht werden kann (Sternberg, 1998).
- Der Umwelt kommt bei der Expertiseentwicklung eine bedeutsame Rolle zu. Sie ist nicht länger lediglich eine potenzielle „Störvariable“ und besitzt nicht mehr eine nur auslösende Funktion. Vielmehr sind (mathematik-) spezifische Lernerfahrungen und damit Lernangebote notwendige Bedingung für die Weiterentwicklung der Expertise.
- Prinzipiell stehen auch Unerfahrenen *zunächst* Angebote zum individuellen Erwerb von Expertise offen. Angesichts stets beschränkter Ressourcen und der Gefahr, das Individuum auf einen nicht bewältigbaren Weg zu locken, sollte allerdings auch rasch geprüft werden, ob diese Angebote effizient genutzt werden können.

Mit dem Konzept der sich entwickelnden Expertise rücken mithin aufeinander aufbauende Lernprozesse in den Vordergrund, Lernen wird als mächtigster Mechanismus der kognitiven Entwicklung (Weinert, 2001) anerkannt und die Bedeutung angeborener Begabungen wird nicht länger überschätzt (Schneider, 1993). Auf dieser Grundlage lassen sich pädagogisch optimistische Thesen formulieren, wie es beispielsweise Sosniak (1997, S. 217) tut:

„The development of talent apparently is possible for far greater numbers of people than we ever imagined. Our challenge is to learn to provide appropriate opportunities for its development and to create conditions which support the long-term commitment to learning that is required.“

Jedenfalls ist eine sichere und wichtige Konsequenz des Konstrukts der sich entwickelnden mathematischen Expertise die Verantwortung von Schule und Gesellschaft, die auch für die sogenannten mathematisch begabten Kinder und Jugendlichen notwendigen langfristigen Lernaktivitäten durch gezielte mathematikspezifische Fördermaßnahmen rechtzeitig und kontinuierlich zu unterstützen.

7 Ausblick

Können aus dem Konzept einer sich entwickelnden Expertise konkrete Folgerungen zum Beispiel für die inhaltliche Gestaltung von Fördermaßnahmen abgeleitet werden?

Angesichts der großen Bedeutung des Wissens im Expertisekonzept mag man diesbezüglich eventuell zunächst an Akzelerationsprogramme denken, die beispielsweise für Gagné (2007) die wichtigste Form der Förderung sind. Mir scheint

es allerdings bedeutsam, in diesem Zusammenhang auch erweiterte Expertisekonzepte zu berücksichtigen, wie sie beispielsweise von Hatano & Inagaki (1986) entwickelt wurden.³³ Deren „adaptiver Experte“ ist nicht nur in der Lage, Standardsituationen fehlerfrei, schnell und automatisiert zu bewältigen, sondern kann sich darüber hinaus mit neuartigen Problemen innerhalb seiner Domäne flexibel, adaptiv und kreativ auseinandersetzen. Wie lässt sich eine solche adaptive Expertise erreichen? Spätestens an dieser Stelle wird die *Unverzichtbarkeit fachdidaktischer Überlegungen* deutlich (weshalb ich mir eine engere Kooperation zwischen einschlägig interessierten Psychologen und Mathematikdidaktikern wünsche).

Eine meines Erachtens nahe liegende Antwort wird auch durch einen Blick auf das Tätigsein eines forschenden Mathematikers unterstützt, in dessen Zentrum die Auseinandersetzung mit mathematischen Problemen, eingebettet in den Aufbau mathematischer Theorien steht (Kießwetter, 2006). Das kontinuierliche, zunehmend reflektierte Sammeln heuristischer Erfahrungen und eine allmähliche Erweiterung von Problembearbeitungs- zu Theoriebildungsprozessen in der Elementarmathematik scheinen mir daher fruchtbare Perspektiven einer langfristigen Förderung mathematisch interessierter Schülerinnen und Schüler (Fritzlar, 2008). An dieser Stelle möchte ich weitere Entwicklungsarbeiten anschließen, u. a. hinsichtlich geeigneter Problemfelder, aber auch hinsichtlich detaillierter Beschreibungsmöglichkeiten investigativen mathematischen Tätigseins, mit deren Hilfe untersucht werden kann, wie Theoriebildungsprozesse von Schülerinnen und Schülern tatsächlich verlaufen, über welche diesbezüglichen Fähigkeiten die Lernenden verfügen und wie sich diese entwickeln, und die auf diese Weise perspektivisch weitere Hinweise zur Konzeption nachhaltiger Förderbemühungen geben oder auch Evaluationsmöglichkeiten eröffnen könnten (Fritzlar, 2010).

Ich möchte mich bei Heinrich Bauersfeld, Friedhelm Käpnick und Peter Bardy für hilfreiche Bemerkungen zum ersten Entwurf dieses Beitrags bedanken.

Literatur

- Adelson, B. (1984). When Novices Surpass Experts: The Difficulty of a Task May Increase With Expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(3), 483–495.
- Aßmus, D. (2008). Merkmale mathematisch potentiell begabter Zweitklässler. In M. Fuchs & F. Käpnick (Hg.), *Mathematisch begabte Kinder: Eine Herausforderung für Schule und Wissenschaft* (S. 59–69). Berlin: LIT Verlag.
- Bardy, P. (2007). *Mathematisch begabte Grundschul Kinder: Diagnostik und Förderung*. München: Elsevier.

³³ Weitere Beispiele sind das WICS-Modell (Sternberg, 2003), das Scholarly productivity/ Artistry-Modell (Subotnik & Jarvin, 2005) oder Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Expertise und Kreativität (z. B. Simonton, 2000).

- Berliner, D. C. (2001). Learning about and learning from expert teachers. *International Journal of Educational Research*, 35(5), 463–482.
- Bloom, B. S. (Hg.) (1985). *Developing Talent in Young People*. New York: Ballantine Books.
- Devlin, K. (2004). *Das Mathe-Gen oder wie sich das mathematische Denken entwickelt + Warum Sie Zahlen ruhig vergessen können (4. Aufl.)*. München: Dt. Taschenbuch-Verlag.
- Ericsson, K. A. (1996a). The Acquisition of Expert Performance: An Introduction to Some of the Issues. In K. A. Ericsson (Hg.), *The Road to Excellence: The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports, and Games* (S. 1–50). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ericsson, K. A. (Hg.) (1996b). *The Road to Excellence: The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports, and Games*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ericsson, K. A., & Charness, N. (1994). Expert Performance. Its Structure and Acquisition. *American Psychologist*, 49(8), 725–747.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406.
- Ericsson, K. A., Roring, R. W., & Nandagopal, K. (2007). Giftedness and evidence for reproducibly superior performance: an account based on the expert performance framework. *High Ability Studies*, 18(1), 3–56.
- Fritzlar, T. (2008). Förderung mathematisch begabter Kinder im mittleren Schulalter. In C. Fischer, F. J. Mönks & U. Westphal (Hg.), *Individuelle Förderung: Begabungen entfalten – Persönlichkeit entwickeln. Fachbezogene Förder- und Förderkonzepte* (S. 61–77). Berlin: LIT Verlag.
- Fritzlar, T. (2010). „Investigations“ und Explorationen in der Elementarmathematik. *Der Mathematikunterricht*, 56(3), 3–13.
- Gagné, F. (1993). Constructs and models pertaining to exceptional human abilities. In K. A. Heller, F. J. Mönks & A. H. Passow (Hg.), *International handbook of research and development of giftedness and talent* (1. Aufl., S. 69–87). Oxford: Pergamon.
- Gagné, F. (2000). Understanding the Complex Choreography of Talent Development Through DMGT-Based Analysis. In K. A. Heller, F. J. Mönks, R. J. Sternberg & R. F. Subotnik (Hg.), *International Handbook of Giftedness and Talent* (2. Aufl., S. 67–79). Amsterdam: Elsevier.
- Gagné, F. (2005). From Gifts to Talents: The DMGT as a Developmental Model. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Hg.), *Conceptions of Giftedness: Second Edition*, (S. 98–119). New York: Cambridge University Press.
- Gagné, F. (2007). Ten Commandments for Academic Talent Development. *Gifted Child Quarterly*, 51(2), 93–118.
- Gemeinhardt, E. (2007). Begabung: Modelle und Konzeptionen. In H. Hahn, R. Möller & U. Carle (Hg.), *Begabungsförderung in der Grundschule* (S. 25–38). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Götze, C. (1916). Schulbegabung und Lebensbegabung. In P. Petersen (Hg.), *Der Aufstieg der Begabten. Vorfragen* (S. 9–16). Leipzig, Berlin: Teubner.
- Grabner, R. H., Stern, E., & Neubauer, A. C. (2007). Individual differences in chess expertise: A psychometric investigation. *Acta Psychologica*, 124(3), 398–420.
- Groot, A. D. de (1965). *Thought and choice in chess*. Den Haag: Mouton.
- Gruber, H., & Mandl, H. (1992). Begabung und Expertise. In E. A. Hany & H. Nickel (Hg.), *Begabung und Hochbegabung* (S. 59–73). Bern: Huber.

- Gruber, H., & Mandl, H. (1996). Das Entstehen von Expertise. In J. Hoffmann & W. Kintsch (Hg.), *Lernen. Enzyklopädie der Psychologie* (C, Serie 2, Band 7, S. 583–615). Göttingen: Hogrefe.
- Gruber, H., Weber, A., & Ziegler, A. (1996). Einsatzmöglichkeiten retrospektiver Befragungen bei der Untersuchung des Expertiseerwerbs. In H. Gruber & A. Ziegler (Hg.), *Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen*, (S. 169–190). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Gullasch, R. (1971). *Denkpsychologische Analysen mathematischer Fähigkeiten*. Berlin: Volk und Wissen.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma & K. Hakuta (Hg.), *Child Development and Education in Japan* (S. 262–272). New York: Freeman.
- Heilmann, K. (1999). *Begabung – Leistung – Karriere: Die Preisträger im Bundeswettbewerb Mathematik 1971–1995*. Göttingen: Hogrefe.
- Heller, K. A. (1993). Structural Tendencies and Issues of Research on Giftedness and Talent. In K. A. Heller, F. J. Mönks & A. H. Passow (Hg.), *International Handbook of Research and Development of Giftedness and Talent* (1. Aufl., S. 49–69). Oxford: Pergamon.
- Heller, K. A. (Hg.) (2001). *Hochbegabung im Kindes- und Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe.
- Howe, M. J. A., Davidson, J. W., & Sloboda, J. A. (1998). Innate talents: Reality or myth? *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 399–407.
- Käpnick, F. (1998). *Mathematisch begabte Kinder. Modelle, empirische Studien und Förderungsprojekte für das Grundschulalter*. Frankfurt am Main: Lang Verlag.
- Käpnick, F. (2006). Intuitives Erfassen, Vortasten und Lösen – ein besonderer Problembearbeitungsstil mathematisch begabter Grundschul Kinder. In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2006* (S. 64–66). Hildesheim: Franzbecker.
- Käpnick, F. (2007). Förderung von mathematisch begabten Grundschulkindern unter ganzheitlicher Sicht. In H. Hahn, R. Möller & U. Carle (Hg.), *Begabungsförderung in der Grundschule* (S. 114–126). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kauke, M., & Bönsch, E. (1996). Entwicklung von Expertise: Erste Domänenenerfahrungen von Novizen am Beispiel des Erwerbs kompetitiver Spielexpertise im Schach. In H. Gruber & A. Ziegler (Hg.), *Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen* (S. 191–225). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Kießwetter, K. (1985). Die Förderung von mathematisch besonders begabten und interessierten Schülern – ein bislang vernachlässigtes sonderpädagogisches Problem. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 38(5), 300–306.
- Kießwetter, K. (1992). „Mathematische Begabung“ – über die Komplexität der Phänomene und die Unzulänglichkeiten von Punktbewertungen. *Der Mathematikunterricht*, 38(1), 5–18.
- Kießwetter, K. (2006). Können Grundschüler schon im eigentlichen Sinne mathematisch agieren – und was kann man von mathematisch besonders begabten Grundschulern erwarten, und was noch nicht? In H. Bauersfeld & K. Kießwetter (Hg.), *Wie fördert man mathematisch besonders befähigte Kinder? Ein Buch aus der Praxis für die Praxis* (S. 128–153). Offenburg: Mildenerger Verlag.
- Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.
- Krutetskii, V. A. (1976). *The Psychology of Mathematical Abilities in Schoolchildren*. Chicago: University of Chicago Press.

- Lajoie, S. P. (2003). Transitions and Trajectories for Studies of Expertise. *Educational Researcher*, 32(8), 21–25.
- Meer, E. van der (1985). Mathematisch-naturwissenschaftliche Hochbegabung. *Zeitschrift für Psychologie*, 193(3), 229–258.
- Meumann, E. (1908). *Intelligenz und Wille*. Leipzig: Verlag von Quelle & Meyer.
- Neubauer, A., & Stern, E. (2007). *Lernen macht intelligent: Warum Begabung gefördert werden muss*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Olbertz, F. (2009). *Musikalische Hochbegabung: Frühe Erscheinungsformen und Einflussfaktoren anhand von drei Fallstudien*. Berlin: LIT-Verlag.
- Oerter, R. (2003). Biological and Psychological Correlates of Exceptional Performance in Development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 451–460.
- Oerter, R. (1992). Ökologische Perspektiven der Entwicklung von Hochbegabten. In E. A. Hany & H. Nickel (Hg.), *Begabung und Hochbegabung* (S. 23–38). Bern: Huber.
- Perleth, C. (2001). Follow-up-Untersuchungen zur Münchner Hochbegabungsstudie. In K. A. Heller (Hg.), *Hochbegabung im Kindes- und Jugendalter* (S. 357–446). Göttingen: Hogrefe.
- Perleth, C., & Schatz, T. (2004). Aus der Forschung: Zur Begabungsentwicklung und -förderung im Vorschulalter. In H. Wagner (Hg.), *Frühzeitig fördern. Hochbegabte im Kindergarten und in der Grundschule* (2. Aufl., S. 17–39). Bad Honnef: K. H. Bock.
- Perleth, C., & Wilde, A. (2009). Developmental Trajectories of Giftedness in Children. In L. V. Shavinina (Hg.), *International Handbook on Giftedness* (1. Aufl., S. 319–335). Dordrecht: Springer.
- Plomin, R. (1994). *Genetics and experience: the interplay between nature and nurture*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Plomin, R. (1998). Genetic influence and cognitive abilities. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 420–421.
- Renzulli, J. S. (1978). What Makes Giftedness? Reexamining a Definition. *Phi Delta Kappan*, 60(3), 180–184, 261.
- Richman, H. B., Gobet, F., Staszewski, J. J., & Simon, H. A. (1996). Perceptual and Memory Processes in the Acquisition of Expert Performance: The EPAM Model. In K. A. Ericsson (Hg.), *The Road to Excellence: The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports, and Games* (S. 167–187). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Rost, D. H. (Hg.) (2000). *Hochbegabte und hochleistende Jugendliche*. Münster: Waxmann.
- Rüede, C. (2009). Wenn das Unausgesprochene regelnd wirkt - eine theoretische und empirische Arbeit zum Impliziten. *Journal für Mathematikdidaktik*, 30(2), 93–120.
- Schneider, W. (1992). Erwerb von Expertise. Zur Relevanz kognitiver und nichtkognitiver Voraussetzungen. In E. A. Hany & H. Nickel (Hg.), *Begabung und Hochbegabung* (S. 105–122). Bern: Huber.
- Schneider, W. (1993). Acquiring Expertise: Determinants of Exceptional Performance. In K. A. Heller, F. J. Mönks & A. H. Passow (Hg.), *International Handbook of Research and Development of Giftedness and Talent* (1. Aufl., S. 311–324). Oxford: Pergamon.
- Schneider, W. (2000). Giftedness, Expertise, and (Exceptional) Performance: A Developmental Perspective. In K. A. Heller, F. J. Mönks, R. J. Sternberg & R. F. Subotnik (Hg.), *International Handbook of Giftedness and Talent* (2. Aufl., S. 165–177). Amsterdam: Elsevier.

- Schuler, S. (2006). Kinder (er-)finden ähnliche Aufgaben. In E. Rathgeb-Schnierer & U. Roos (Hg.), *Wie rechnen Matheprofis? Ideen und Erfahrungen zum offenen Mathematikunterricht* (S. 123–140). München: Oldenbourg.
- Simon, H. A., & Chase, W. G. (1973). Skill in Chess. *American Scientist*, 61(4), 394–403.
- Simonton, D. K. (1997). When Giftedness Becomes Genius: How Does Talent Achieve Eminence. In N. Colangelo & G. A. Davis (Hg.), *Handbook of gifted education* (2. Aufl., S. 335–349). Boston: Allyn and Bacon.
- Simonton, D. K. (1999). Talent and Its Development: An Emergent and Epigenetic Model. *Psychological Review*, 106(3), 435–457.
- Simonton, D. K. (2000). Creative development as acquired expertise: theoretical issues and an empirical test. *Developmental Review*, 20, 283–318.
- Simonton, D. K. (2004). Adding developmental trajectories to the DMGT: nonlinear and nonadditive genetic inheritance and expertise acquisition. *High Ability Studies*, 15(2), 157–158.
- Sosniak, L. A. (1997). The Tortoise, the Hare, and the Development of Talent. In N. Colangelo & G. A. Davis (Hg.), *Handbook of gifted education* (2. Aufl., S. 207–217). Boston: Allyn and Bacon.
- Spitzer, M. (2002). *Lernen: Gehirnforschung und Schule des Lebens*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Stern, E., Grabner, R., Schumacher, R., Neuper, C., & Saalbach, H. (2005). *Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften – Erwartungen, Befunde, Forschungsperspektiven*. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Stern, W. (1916). *Psychologische Begabung und Begabungsdiagnose*. In P. Petersen (Hg.), *Der Aufstieg der Begabten. Vorträge*. Leipzig, Berlin: Teubner.
- Sternberg, R. J. (1997). A Triarchic View of Giftedness: Theory and Practice. In N. Colangelo & G. A. Davis (Hg.), *Handbook of gifted education* (2. Aufl., S. 43–53). Boston: Allyn and Bacon.
- Sternberg, R. J. (1998). Abilities Are Forms of Developing Expertise. *Educational Researcher*, 27(3), 11–20.
- Sternberg, R. J. (2000). Giftedness as Developing Expertise. In K. A. Heller, F. J. Mönks, R. J. Sternberg & R. F. Subotnik (Hg.), *International Handbook of Giftedness and Talent* (2. Aufl., S. 55–66). Amsterdam: Elsevier.
- Sternberg, R. J. (2003). WICS as a Model of Giftedness. *High Ability Studies*, 14(2), 109–137.
- Sternberg, R. J. (2004). WICS Redux: a reply to my commentators. *High Ability Studies*, 15(1), 109–112.
- Strunz, K. (1962). *Pädagogische Psychologie des mathematischen Denkens* (4. Aufl.). Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Subotnik, R. F. (2008). The Psychosocial Dimensions Of Creativity In Mathematics: Implications For Gifted Education Policy. In R. Leikin (Hg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Creativity in Mathematics and the Education of Gifted Students* (S. 35–47). Tel Aviv: The Center for Educational Technology.
- Subotnik, R. F., & Jarvin, L. (2005). Beyond Expertise: Conceptions of Giftedness as Great Performance. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Hg.), *Conceptions of Giftedness: Second Edition* (S. 343–357). New York: Cambridge University Press.
- Tannenbaum, A. J. (1997). The Meaning and Making of Giftedness. In N. Colangelo & G. A. Davis (Hg.), *Handbook of gifted education* (2. Aufl., S. 27–42). Boston: Allyn and Bacon.

- Waldmann, M., & Weinert, F. E. (1990). *Intelligenz und Denken. Perspektiven der Hochbegabungsforschung*. Göttingen: Hogrefe.
- Waldmann, M. R., Renkl, A., & Gruber, H. (2003). Das Dreieck von Begabung, Wissen und Lernen. In W. Schneider & M. Knopf (Hg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen. Zum Gedenken an Franz Emanuel Weinert* (S. 219–233). Göttingen: Hogrefe.
- Ward, P., Hodges, N. J., Starkes, J. L., & Williams, A. M. (2007). The road to excellence: deliberate practice and the development of expertise. *High Ability Studies*, 18(2), 119–153.
- Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistung. In F. E. Weinert (Hg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule. Enzyklopädie der Psychologie (D, Serie 1, Band 3, S. 71–176)*. Göttingen: Hogrefe.
- Weinert, F. E. (2000a). Begabung und Lernen. *Neue Sammlung*, 40(3), 353–368.
- Weinert, F. E. (2000b). Begabung und Lernen: Zur Entwicklung geistiger Leistungsunterschiede. In H. Wagner (Hg.), *Begabung und Leistung in der Schule* (2. Aufl., S. 7–24). Bad Honnef: Verlag Karl Heinrich Bock.
- Weinert, F. E. (2001). Schulleistungen – Leistungen der Schule oder der Schüler? In F. E. Weinert (Hg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 73–86). Weinheim: Beltz.
- Wieczerkowski, W. (1998). Begabungen, Selbsterfahrungen und Studienwünsche mathematisch besonders befähigter Jugendlicher. In B. Zimmermann (Hg.), *Kaleidoskop elementarmathematischen Entdeckens* (S. 195–228). Hildesheim: Franzbecker.
- Winner, E. (1999). Giftedness: Current Theory and Research. *Current Directions in Psychological Science*, 9(5), 153–156.
- Winner, E. (2000). The Origins and Ends of Giftedness. *American Psychologist*, 55(1), 159–169.
- Winner, E. (2007). *Kinder voll Leidenschaft*. Berlin: LIT Verlag.
- Ziegler, A. (2000). Die vier Aufgabenfelder der Motivationsförderung von Begabten. In H. Wagner (Hg.), *Begabung und Leistung in der Schule* (2. Aufl., S. 97–115). Bad Honnef: Verlag Karl Heinrich Bock.
- Ziegler, A., & Heller, K. A. (2000). Conceptions of Giftedness from a Meta-Theoretical Perspective. In K. A. Heller, F. J. Mönks, R. J. Sternberg & R. F. Subotnik (Hg.), *International Handbook of Giftedness and Talent* (2. Aufl., S. 3–21). Amsterdam: Elsevier.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Torsten Fritzlar
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Philosophische Fakultät III – Erziehungswissenschaften
Franckeplatz 1
06110 Halle an der Saale
e-Mail: torsten.fritzlar@paedagogik.uni-halle.de

Eingang Manuskript: 02.09.2010 (überarbeitetes Manuskript: 19.12.2010)