

DAVID KOLLOSCH & BERNHARD SCHMÖLZER**Grundlagen einer fächerübergreifenden MINT-Didaktik****Abstract**

STEM was introduced as a new interdisciplinary and project-oriented teaching subject at 57 selected Austrian middle schools as part of a school trial. Based on this study, the article examines the question of what opportunities and challenges a subject STEM offers. The introduction examines concepts of STEM education and reviews current studies and literature. Answers to the question of what goals interdisciplinary STEM teaching should serve are discussed based on six educational theoretical and political hopes. In the section on the relationship between STEM and the individual related subjects, it becomes clear that STEM teaching does not aim to put the individual subjects next to each other nor to serve the other subjects, but rather to develop a new interdisciplinary understanding among the pupils. The considerations on teaching methods underline the importance of practical teaching implementation apart from content-related clarifications. The challenge of developing the foundations for interdisciplinary STEM didactics becomes very clear. The final synthesis based on twelve action-driven theses is intended to support the desired success of STEM teaching (not only) in Austria.

Keywords:

MINT-Unterricht, MINT-Didaktik, fächerübergreifend, Unterrichtsmethoden

1. Einleitung

Ein fächerübergreifendes Unterrichtsfach MINT wird in immer mehr Ländern von Schulen und Bildungsverwaltungen angestrebt. Der konkrete Anlass dieses Beitrags ist die Einführung des Schulversuchs MINT-Mittelschule an 57 ausgewählten österreichischen Mittelschulen im Schuljahr 2022/23. Im Rahmen dieses Modellversuchs wird der Fächerkanon der Mittelschule, die in Österreich die Schulstufen 5–8 umspannt, um ein Unterrichtsfach MINT erweitert. Ein solcher MINT-Unterricht schließt sowohl zeitlich als auch hinsichtlich der inhaltlichen Breite nahtlos an den Sachunterricht der Volksschule an. Die Autoren begleiten den Schulversuch durch Materialentwicklung und -evaluation im Rahmen des

Forschungs- und Entwicklungsprojekts IMST (Krainer, 2024). Die leitende Frage dieses Beitrags ist, welche Chancen und Herausforderungen ein Unterrichtsfach MINT allgemein und im Speziellen in Österreich bietet und wie mit diesen umgegangen werden kann. Dieser Beitrag liefert erste Erkenntnisse durch eine Sichtung und Adaption des internationalen Forschungsstandes.

Die Buchstaben im Akronym MINT stehen für einen Fächerkanon, der von der Mathematik, der Informatik, den Naturwissenschaften und der Technik aufgespannt wird. Das im anglophonen Diskurs verwendete und oft als synonym angesehene Akronym STEM betont mit dem Begriff des *engineering* stärker die ingenieurwissenschaftliche Komponente des Fächerkanons, denkt die Informatik aber nur noch implizit mit. Dabei ist schwer zu definieren, unter welchen Voraussetzungen von MINT-Unterricht gesprochen werden soll bzw. welche Anforderungen an einen Unterricht gestellt werden sollen, der sich als MINT-Unterricht deklariert. Für die meisten Anwendungsfälle wäre es zu streng zu fordern, dass in einem solchen Unterricht Lernziele in *allen* MINT-Disziplinen erreicht werden sollen.

Eine Minimalforderung sollte es stattdessen sein, dass MINT-Unterricht Lernziele in wenigstens zwei MINT-Disziplinen verfolgt (Sanders, 2009). Allerdings reproduziert eine solche Definition das Denken in Fächern, das mit einem fächerübergreifenden MINT-Unterricht mitunter überwunden werden soll. So schlagen Moore et al. (2014) stattdessen vor, die Integration der unterschiedlichen MINT-Disziplinen durch den Fokus auf komplexe Anwendungsprobleme zu fordern. Allerdings würde eine solche Definition nicht anwendungsbezogenen, aber dennoch interdisziplinären MINT-Unterricht unnötig ausschließen. Offen bleibt üblicherweise, ob die traditionellen MINT-Fächer (je nach Bildungssystem üblicherweise Mathematik, Informatik, Physik, Chemie, Biologie, Technik) im neuen Unterrichtsfach MINT aufgehen sollen oder ob das Unterrichtsfach MINT, wie nun in Österreich, den traditionellen Fächerkanon erweitert.

Bestrebungen zur Einführung eines Unterrichtsfachs MINT sind schulhistorisch relativ neu. Selbst im Vorreiterland USA werden entsprechende Absichten erst seit den 1990er-Jahren energisch vorangetrieben (Kelley & Knowles, 2016). Der Forschungsstand war zum Zeitpunkt der Einführung von MINT-Unterricht dementsprechend dünn. George (1996) veröffentlichte eine Liste von Aussagen zu fächerübergreifendem Unterricht, die er zu seiner Zeit als wissenschaftlich noch nicht belegt ansah, etwa die Behauptung, dass fächerübergreifender Unterricht besser auf die Belange aus der Lebenswelt der Schüler*innen eingehen könne. Ähnlich wie im Sachunterricht der Volksschule, wo Lernende befähigt werden sollen, sich in der Welt zu orientieren, stellt die Planung und Gestaltung von fächerübergreifendem Unterricht für die Lehrpersonen eine große Herausforderung dar. Czerniak et al. (1999) berichteten, dass die meisten Veröffentlichungen noch aus Erfahrungsberichten bestünden (S. 423). Auch Hurley (2001) sprach von einem

„lack of evidence to support integration“ (S. 259). Seitdem sind international einige evidenzbasierte Studien erschienen, doch viele Forschungsfragen sind noch offen. Im Nachbarland Deutschland gibt es unseres Wissens bis heute in keinem Bundesland ein bildungspolitisch, zumindest für einige Schulen, verpflichtendes fächerübergreifendes Unterrichtsfach MINT (vgl. Seidel et al., 2016). Fraglich ist auch, inwiefern die fachdidaktischen Schwerpunktsetzungen der einzelnen MINT-Fächer in eine kohärente Didaktik des fächerintegrativen MINT-Unterrichts einfließen könnten. Studien gibt es dazu bisher kaum (z. B. Holten, 2022). Die folgenden Überlegungen basieren also auf einem noch nicht konsolidierten Fundament in der Forschung und betreten gerade für die deutschsprachige Schulwelt Neuland.

2. Wozu dient ein fächerübergreifender MINT-Unterricht?

Mit der Einführung eines Unterrichtsfachs MINT sind wiederkehrend bildungstheoretische und -politische Hoffnungen verbunden, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

1. *Ein fächerübergreifender Ansatz sei notwendig, um trotz der Diversifizierung der Wissensbereiche in der Moderne mündig und gebildet agieren zu können.* In diesem Punkt geht es noch weniger um konkrete Problemlösekompetenzen, sondern um das mündige Bewerten von Lösungsoptionen. Entsprechende Kompetenzen waren beispielsweise in der Diskussion der Politik nötig, mit der weltweiten Krisensituationen und Herausforderungen wie der COVID-19-Pandemie (z. B. Kollosche & Meyerhöfer, 2021) und der Klimakrise (z. B. Schubatzky & Haagen-Schützenhöfer, 2022) begegnet wird und wurde. Auch wenn der österreichische MINT-Lehrplan eher darauf fokussiert, dass Schüler*innen lernen, „innovative und lösungsorientierte Antworten auf Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu entwickeln“, sind die Befähigung „zu mehr Autonomie und Gestaltungsmöglichkeit“ sowie die Stärkung von „kritischem Denken und verantwortungsvollem Handeln“ durchaus Teil des Bildungsauftrags (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung [BMBWF], 2022, S. 3f.). Ein fächerübergreifender Ansatz lässt sich in der deutschen Bildungstradition am besten als Schritt in Richtung einer universalistischen Bildung, die einer in Fächer segmentierten Ausbildung entgegentritt, verstehen (Hastedt, 2012, S. 13ff.). McComas und Wang (1998) diskutieren eine Auswahl entsprechender bildungstheoretischer Ansätze aus der anglophonen Tradition. Welche unterrichtlichen Ansätze fruchtbar sind, um eine entsprechende Mündigkeit zu fördern, ist bisher jedoch kaum untersucht und damit noch offen (für den Mathematikunterricht vgl. Plunger, 2021).
2. *Ein fächerübergreifender Ansatz sei notwendig, um den globalen Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen.* Dieser Punkt fokussiert auf interdisziplinäre Problemlösekompetenzen. Die globalen Herausforderungen unserer Zeit sind gerade *nicht* hauptsächlich in einer MINT-Disziplin beheimatet,

sondern erfordern Erklärungs- und Lösungsansätze, in denen die Expertisen unterschiedlicher Disziplinen zusammengeführt werden. Ein gutes Beispiel ist der Klimawandel, dessen Ursachen, Verlauf, Folgen und Bewältigung nur durch ein Zusammenspiel unterschiedlicher Wissenschaften verstehbar werden (Winter et al., 2022). Der österreichische MINT-Lehrplan verweist hier unter anderem auf die *Sustainable Development Goals (SDGs)* der Vereinten Nationen und formuliert die Erwartung, dass MINT-Unterricht die Schüler*innen „in einer immer komplexer werdenden Lebens- und Arbeitswelt zu mehr Autonomie und Gestaltungsmöglichkeit befähigt, um innovative und lösungsorientierte Antworten auf Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu entwickeln“ (BMBWF, 2022, S. 3f.). Kritiker*innen dieser Position könnten wohl aufwerfen, dass sich viele frühere technologische Herausforderungen auch nicht innerhalb nur einer MINT-Disziplin bewältigen ließen und dass sich Fachunterricht und -studium als Qualifikationsgrundlage für die Bewältigung dieser Herausforderungen bewährt haben. Einigen könnte man sich dann allenfalls noch auf die Erwartung, dass ein fächerübergreifender Unterricht die Kompetenzen zur Lösung komplexer MINT-Probleme früher als bisher fördert und eine solche Förderung heute dringlicher denn je erscheint. So zeigte eine Fallstudie aus den USA zum Thema Wassermanagement von Riskowski et al. (2009), dass Schüler*innen aus einem fächerintegrativen Ansatz das Thema verständiger und breiter bearbeiten konnten als Schüler*innen im traditionellen Fachunterricht; weitere Studien zur Umsetzbarkeit dieses Unterrichtsziels stehen aber noch aus.

3. *Ein fächerübergreifender Ansatz unterstütze die Anwendbarkeit der Lerninhalte aus den MINT-Fächern.* Kelley & Knowles (2016) verweisen auf die Theorie der *situated cognition* (z. B. Lave & Wenger, 1991). Dort wird empiriebasiert aufgezeigt, dass Fachkompetenzen situativ erworben und im Allgemeinen kaum in anderen Anwendungssituationen genutzt werden, wenn diese Transferkompetenz nicht gezielt gefördert wird. Nun bauen viele Anwendungsfelder der MINT-Disziplinen auf Kompetenzen aus mehr als einer MINT-Disziplin auf und können im Fachunterricht schwerlich in einem sachangemessenen Umfang behandelt werden, so dass ein Lernen im Anwendungsfeld erschwert wird. Fachübergreifender MINT-Unterricht kennt diese Hürde nicht und erlaubt es daher eher, die Anwendbarkeit von MINT-Inhalten in vielfältigen Anwendungsfeldern zu erfahren. Dieses Bildungsziel wird im österreichischen MINT-Lehrplan nur implizit angesprochen, wenn es heißt, dass der fachübergreifende MINT-Unterricht „die allgemeine Problemlösefähigkeit, das naturwissenschaftlich-technische Verständnis sowie kritisches Denken und verantwortungsvolles Handeln“ stärke (BMBWF, 2022, S. 3). Empirische Studien, die diese These im Bereich des MINT-Unterrichts stützen, liegen aber nicht vor.
4. *Ein fächerübergreifender Ansatz könne die Leistungen in den traditionellen Unterrichtsfächern (auch ohne vermehrte Unterrichtszeit) verbessern.* Dieses

Bildungsziel wird im österreichischen MINT-Lehrplan zumindest am Rande erwähnt, wenn die „Vertiefung und Erweiterung des fachlichen Grundlagenwissens“ sowie die „Entwicklung eines [...] fachspezifischen Orientierungswissens“ als bedeutsame Ziele von MINT-Unterricht hervorgehoben werden (BMBWF, 2022, S. 4). In einer quantitativen Meta-Studie untersuchte Hurley (2010), ob sich ein fächerübergreifender Ansatz förderlich auf die Leistungen in Mathematik und in den Naturwissenschaften auswirkt. Die 31 dabei untersuchten Studien sprechen insgesamt dafür, auch wenn deutlich wird, dass nicht jeder Ansatz solche Vorteile bringt. Beispielsweise zeigte sich, dass eine völlige Integration die Leistungen in den Naturwissenschaften verbesserte, jene im Fach Mathematik aber kaum. Mathematische Leistungen konnten vor allem bei einem Vorgehen verbessert werden, bei dem Arbeitsphasen mit einem Fokus auf Mathematik und Arbeitsphasen in anderen MINT-Disziplinen sequentiell aufeinanderfolgten (S. 265). Auch eine Meta-Studie von Becker und Park (2011) konnte nicht nur Erfolge eines fächerübergreifenden Ansatzes dokumentieren, sondern in 7 von 33 Fällen auch auf negative Effektstärken verweisen.

5. *Ein fächerübergreifender Ansatz könne das Interesse an MINT-Fächern fördern.* Diese Vermutung liegt nahe, erlaubt ein fächerübergreifendes Arbeiten an gemeinsamen Projekten doch leichter, die Nützlichkeit der Fachkompetenzen zu erfahren und schätzen zu lernen. Belege für diese These sind jedoch selten und beschränken sich auf erfolgreiche Einzelprojekte (Bragaw et al., 1995; Cantrell et al., 2006; Guthrie et al., 2000; McComas, 1993). In einer Studie der Fachhochschule Oberösterreich gab nur ein Viertel der befragten 14- bis 15-Jährigen an, sich eine Ausbildung im MINT-Bereich vorstellen zu können (Gaisch et al., 2023). Folgerichtig wird die „Steigerung des Interesses“ im MINT-Bereich im österreichischen MINT-Lehrplan als eine von zwei zentralen Bildungsaufgaben ausgewiesen (BMBWF, 2022, S. 3).
6. *Ein fächerübergreifender Ansatz unterstütze die Entwicklung inhaltsunabhängiger Kompetenzen wie Problemlösen und kritisches Denken.* So heißt es auch im österreichischen MINT-Lehrplan, das Unterrichtsfach MINT stärke „die allgemeine Problemlösefähigkeit, das naturwissenschaftlich-technische Verständnis sowie kritisches Denken und verantwortungsvolles Handeln“ (BMBWF, 2022, S. 3). Historisch gesehen bauen Initiativen für fächerübergreifenden MINT-Unterricht seit Beginn des 20. Jahrhunderts immer wieder auf reformpädagogischen Ideen zu Projektarbeit und schülerzentriertem Arbeiten auf (McComas & Wang, 1998). In ihrer Untersuchung von 23 beforschten Unterrichtsversuchen seit dem Jahre 2000 konnten Thibaut et al. (2018) herausarbeiten, dass fast alle ein problemorientiertes, entdeckenlassendes und kooperatives Lernen anstrebten.

Historisch zeigt sich, dass MINT-Unterricht nicht länger nur auf Begabtenförderung abzielt, sondern einer breiten Auswahl der Schülerschaft offenstehen soll, insbesondere auch Schüler*innen, die bisher wenig Kontakt zu den MINT-Disziplinen und wenig Vertrauen in ihre Fähigkeiten in diesem Bereich hatten (Peters-Burton et al., 2014). So heißt es auch im österreichischen MINT-Lehrplan, „eine breite, inklusive, geschlechter- und diversitätsreflexive Vermittlung weck[t] Interesse und Freude an MINT“ (BMBWF, 2022, S. 4).

International entstehen Initiativen zu einem fächerübergreifenden MINT-Unterricht immer wieder mit der volkswirtschaftlichen Erwartung, dass eine bessere, breite, inklusive und effektivere MINT-Bildung und die Ausbildung damit verbundener *literacies* (*scientific literacy, critical media literacy* etc.) die volkswirtschaftliche Leistungsfähigkeit verbessere. Entsprechende Hoffnungen formuliert das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) zwar nicht im österreichischen MINT-Lehrplan, an anderer Stelle aber durchaus (BMBWF, o. J.). International ist zu beobachten, dass seit dem Sputnik-Schock immer wieder eine Krise der MINT-Bildung beschworen wird, wenngleich der technologische Fortschritt seitdem beträchtlich ist (Zheng, 2021). Zumindest für das Vereinigte Königreich und für die USA war noch vor einigen Jahren offenbar kein Mangel an MINT-Fachkräften auszumachen (Smith, 2017). Im Fachkräftenradar 2022 findet sich unter den vier Berufsfeldern mit den größten Besetzungsschwierigkeiten kein MINT-Beruf; auch wenn darauf die Berufsfelder IT, Elektronik und Metalltechnik sowie Berufe ohne MINT-Bezug folgen (Dornmayr & Riepl, 2022, S. 40). Ein Mangel an MINT-Fachkräften sticht aus dem generellen Mangel an Fachkräften also offenbar nicht heraus oder allenfalls in einzelnen Berufsfeldern. Fraglich ist, inwieweit die Hoffnung auf mehr MINT-qualifizierte Arbeitskräfte vom betriebswirtschaftlichen Wunsch nach mehr Auswahl, Konkurrenz und Lohndruck unter MINT-Arbeitskräften getrieben ist.

Die Verortung des österreichischen MINT-Lehrplans (BMBWF, 2022) im Rahmen der *Sustainable Development Goals* der Vereinten Nationen ist sicherlich sinnvoll, bedarf aber auch einer kritischen Betrachtung. Die darin formulierten Ziele, etwa eine Verringerung der sozioökonomischen Ungleichheiten, die ökologische Nachhaltigkeit von Städten, Geschlechtergerechtigkeit oder die Abschaffung von Armut und Hunger, werden ohne weitreichende politische Veränderungen nicht zu erreichen sein. Unter der wahlberechtigten Eltern- und Großelterngeneration der aktuellen Schülergeneration zeichnen sich jedoch keine politischen Mehrheiten ab für eine Politik, die auf ein Erreichen der *Sustainable Development Goals* hinarbeitet. Gleichzeitig sollen Schüler*innen im MINT-Unterricht für die *Sustainable Development Goals* sensibilisiert werden. Das wirkt nicht nur so, als würde die Verantwortung für das Erreichen der *Sustainable Development Goals* auf die nachfolgende Generation abgeschoben; aus diesem Paradox können sich auch für Schüler*innen schwierige Situationen ergeben – etwa, wenn sie lernen, dass ihre Eltern- und Großelterngeneration gerade *nicht* die politisch notwendigen

Maßnahmen umsetzt. Auf dieses Konfliktpotential wird sich MINT-Unterricht einstellen müssen.

Ein Aspekt, der bisher kaum diskutiert wird, in Zukunft aber stärker ins Bewusstsein rücken könnte, ist jener der epistemischen Bildung. Hier geht es um die Frage, wie Geltungsansprüche in unterschiedlichen Disziplinen legitimiert sind. Die Diskussionen um Fake News oder um die Vertrauenswürdigkeit von Forschungsergebnissen im Rahmen der COVID-19-Pandemie zeigen, dass solche Fragen durchaus bereits in der Mitte der Gesellschaft angekommen sind. Von MINT-Unterricht wäre dann zu erwarten, dass dieser klärt, wie wissenschaftliche Geltungsansprüche zustande kommen (Zhao, 2020). Entsprechende Legitimationsprozesse bringen hypothetisch-deduktive, empiristische, statistische und weitere Argumentationsformen zusammen (Kollosche, 2021) und könnten fächerübergreifend wohl am einfachsten in ihrem Kontrast und Zusammenwirken beleuchtet werden.

3. MINT-Unterricht und seine Beziehung zu den MINT-Fächern

Obwohl fächerintegrativer MINT-Unterricht darauf abzielt, die Grenzen der traditionellen Unterrichtsfächer zu überwinden und einen Mehrwert gerade durch ihr Zusammenwirken durchzusetzen, ergibt es Sinn, die Grenzen, Möglichkeiten und konkreten Beiträge der einzelnen Fächer zu thematisieren. Czerniak et al. (1999) plädieren für eine selbstbewusste Fachlichkeit auch im fächerübergreifenden Unterricht, bei der die Eigenständigkeit der unterschiedlichen Fächer in ihrem jeweiligen Wissensaufbau, ihren Techniken und ihren Forschungsmethoden erfahrbar wird. So können und sollen auch Nature-of-Science-Aspekte Einzug in den MINT-Unterricht halten (z. B. Park et al., 2020). Eine solche Orientierung deckt sich mit der im österreichischen MINT-Lehrplan festgehaltenen Vorgabe, dass MINT-Unterricht letztlich auch dem Unterricht in den traditionellen MINT-Fächern zuarbeiten solle (BMBWF, 2022).

Da Erkenntnis- und Arbeitsweisen einiger MINT-Fächer in anderen MINT-Fächern Anwendung finden, etwa die Mathematik in der Physik, die Physik in der Chemie, die Chemie in der Biologie oder die Informatik als Grundlage von Simulationen in allen Disziplinen, liegt das Missverständnis nahe, dass damit der Integration der dienlichen Fächer bereits Rechnung getragen sei (Just & Siller, 2022): So beispielsweise, wenn zur Analyse einer Messreihe die Daten in einer Tabellenkalkulationssoftware mathematisch ausgewertet werden. Hier stimmt es zwar, dass die verwendeten Kenntnisse der Mathematik und vielleicht auch der Informatik zugeschrieben werden können. Genuine Lernziele in der Mathematik oder der Informatik werden damit aber nicht erreicht, sondern der Mathematik oder Informatik wird die Rolle der Erfüllungsgehilfin zuteil. So berichten Siller und Weigand (2023) über die Rolle der Mathematik:

Obwohl Mathematik als Grundlage für alle MINT-Disziplinen gesehen wird, ist die Rolle der Mathematik in den INT-Unterrichtsfächern oftmals unterrepräsentiert. Dies wird u. a. durch eine Literaturstudie von Just und Siller (2022) bestätigt. Die Rolle der Mathematik wird dabei oft auf ein ausschließlich kalkülorientiertes Hilfsmittel und somit ausschließlich als Werkzeug wahrgenommen. Zentrale mathematische Konzepte und Verfahren bleiben dabei im Verborgenen, die Notwendigkeit, Mathematik für reflektierte Entscheidungen heranzuziehen, wird oftmals nicht erkannt. (Siller & Weigand, 2023, S. 3f.)

Es ergibt sich also die Herausforderung, passende Lehrziele unterschiedlicher MINT-Fächer sinnvoll zu koordinieren, ohne einzelne Fächer fortwährend zu „Service-Fächern“ zu degradieren. Unterschiede in der Art und Weise, welcher Raum den einzelnen MINT-Fächern im fächerübergreifenden MINT-Unterricht eingeräumt wird, führen aus empirischer Sicht in der Tat zu unterschiedlichen Lernerfolgen. In ihrer Metastudie unterscheidet Hurley (2001) unterschiedliche Formen der Integration der MINT-Fächer und untersuchte die Effekte von MINT-Unterricht aus dieser Sicht. Für die mathematischen Leistungen ergab sich, dass eine sequentielle Aufeinanderfolge von mathematisch fokussierten Unterrichtssequenzen und anderen Unterrichtssequenzen große Vorteile bot, eine stärkere Integration der Fächer für die mathematische Leistung aber nicht förderlich war. Dies mag sich dadurch erklären, dass bei einem sequentiellen Vorgehen mathematische Lernziele formuliert werden müssen und die Mathematik nicht leicht auf eine Service-Rolle reduziert werden kann. Für die Leistungen in den Naturwissenschaften erwies sich jedoch ein hohes Maß an Fächerintegration als deutlich vorteilhafter als ein sequentielles Vorgehen. Dies mag sich dadurch erklären, dass ein stark integriertes Vorgehen nahelegt, Fachinhalte aus der Mathematik in den Naturwissenschaften zu kontextualisieren. Die Ergebnisse sprechen also dafür, dass es wichtig ist, neben stark fächerübergreifenden Unterrichtssequenzen auch fachlich fokussierte Unterrichtssequenzen vorzusehen, wenn man Lernfortschritte in allen MINT-Fächern erzielen möchte.

Über die Integration der traditionellen Fächer hinaus zeichnet sich das Unterrichtsfach MINT durch seinen Fokus auf Technik und Design aus. Dieser Fokus könnte für das Gelingen von MINT-Unterricht von zentraler Bedeutung sein. Zumindest hinsichtlich des Leistungszuwachses im MINT-Unterricht im Vergleich zu Unterricht in den einzelnen MIN(T)-Fächern zeigt sich hier ein recht klares Bild: In ihrer Metastudie fanden Becker und Park (2011) 10 Studien, in denen Unterricht in Mathematik und Naturwissenschaften ohne Technik-Komponente integriert erteilt wurde. Nur in 3 dieser Studien stellten sich überhaupt nennenswerte positive Effekte auf die Leistungen der Lernenden ein. Unter den 18 Studien mit Technik- oder Design-Anteilen zeigten sich jedoch in 13 Fällen positive Effekte. Darüber hinaus legt eine Studie von Cantrell et al. (2006) nahe, dass Design-Komponenten von Unterrichtseinheiten sonst eher unbeteiligte Schüler*innen zur Teilhabe an MINT-Unterricht motivieren können.

Schließlich entsteht eine eher pragmatische Herausforderung in der Koordination der MINT-Fächer durch die Abstimmung der Fachcurricula aufeinander. Hier stellt sich zum einen die Frage, von welchen Voraussetzungen aus dem vorangegangenen Fachunterricht ausgegangen werden kann, zum anderen aber auch die Frage, wie ein MINT-Unterricht für weiterführenden Fachunterricht anschlussfähig werden kann. Diese Fragen sollen hier nur in aller Kürze für den österreichischen Kontext diskutiert werden.

Wer in der Mittelschule in den MINT-Unterricht startet, hat eine vierjährige Volksschule durchlaufen, deren Unterrichtsinhalte durch Lehrpläne vorgegeben sind (BMBWF, 2023a). Für den MINT-Unterricht einschlägig sind hier vor allem die Unterrichtsfächer Mathematik, Sachunterricht sowie Technik und Design. Aus dem Mathematikunterricht sollten unter anderem der Zahlbereich bis zur Million, die Grundrechenarten, Bruchzahlen mit kleinen Zweierpotenzen als Nenner, einfache geometrische Figuren und Körper sowie einige Größen und Maßeinheiten (inkl. Flächeninhalt von Quadrat und Rechteck) bekannt sein. Ein verstehensorientierter Mathematikunterricht soll darauf abzielen, mathematische Konzepte auf vielfältige Weise veranschaulichen und zur Lösung von Sachproblemen nutzen zu können (Neubrand & Lengnink, 2023). Der Sachunterricht in der Volksschule soll dazu beitragen, dass Schüler*innen befähigt werden, sich in der Welt zu orientieren und diese eigenverantwortlich mitzugestalten. Zentral sind das Erkennen von Zusammenhängen in der Welt sowie die Einbindung ethischer Werte und die Heranbildung sozialer und gesellschaftlicher Verantwortung. Hinter dem Sachunterricht stehen Referenzwissenschaften wie Biologie, Chemie, Geografie und Wirtschaftswissenschaften, Geschichte und Politische Bildung, Physik und Technik. Sie alle finden sich in den sogenannten Kompetenzbereichen des Sachunterrichts wieder. Wiederkehrende Tätigkeiten sind hier das Darstellen und Beschreiben, das Dokumentieren, das Experimentieren und das Herstellen. Der Unterricht im Technischen Werken geht auf altersgerechte Weise auf die Gestaltung der Umwelt, technische Möglichkeiten und Produktgestaltung ein. Der Unterricht im Textilien Werken stellt das produktive Arbeiten mit textilen Materialien in den Vordergrund.

In der Regel beginnen der Biologieunterricht und der Unterricht im Fach Digitale Grundbildung erst in der 5. Schulstufe, der Physikunterricht erst in der 6. Schulstufe und der Chemieunterricht erst in der 8. Schulstufe, auch wenn schulautonome Lehrplanbestimmungen hiervon abweichen können (BMBWF, 2023b). Problematisch für die Gestaltung eines fächerintegrativen MINT-Unterrichts ab der fünften Schulstufe ist dann, dass viele Inhalte aus den MINT-Fächern noch nicht zur Verfügung stehen, etwa zur mathematischen Modellierung unterschiedlicher Wachstumsprozesse, zu Elektrizität, zum Klimawandel oder zu chemischen Reaktionen.

Die im MINT-Unterricht verwendeten Unterrichtsmaterialien setzen bei Schüler*innen Kompetenzen voraus, die in den vorangegangenen Jahrgangsstufen

erworben wurden. Zudem sollten die Materialien so gestaltet sein, dass sie auf gesichertes Vorwissen der Schüler*innen, also Großteils auf Wissen, das die Lernenden aus der Volksschule mitbringen, aufbauen. Bei der Entwicklung und Gestaltung von Unterrichtsmaterialien für den MINT-Unterricht wäre es demnach von großem Vorteil, wenn die zugrundeliegenden Modelle ähnliche Schlüsselmerkmale aufweisen würden wie die für den Sachunterricht verwendeten Lehr-Lern-Modelle (z. B. Freytag et al., 2021). Zentrale fachliche Konzepte werden durch die Einführung der neuen kompetenzorientierten Lehrpläne zu bedeutsamen Elementen für vernetzendes Lernen. Sowohl im multidisziplinären Sachunterricht der Volksschule als auch im MINT-Unterricht soll den Schüler*innen der Wissens- und Kompetenzerwerb in einem fächerverbindenden, ganzheitlichen Kontext zugänglich gemacht werden. Demnach sind die Lehrpersonen in beiden Unterrichtsfächern besonders gefordert.

4. Unterrichtsmethodische Überlegungen

Eine erste Herausforderung für fächerübergreifenden MINT-Unterricht ergibt sich aus der Breite der eingebundenen MINT-Fächer. Themen, die mehrere MINT-Fächer integrieren, gibt es in einer unüberschaubaren Vielzahl. All diese Themen lassen sich zudem noch beliebig komplex behandeln. Eine Fokussierung auf bestimmte Anwendungs- und Handlungsfelder unterstreicht dann nicht nur die Bedeutsamkeit dieser MINT-Inhalte und schult die Transferierbarkeit von MINT-Kompetenzen in Anwendungsfeldern, sondern setzt ihnen einen thematischen Rahmen für die Auswahl relevanter Unterrichtsinhalte. Von daher überrascht es nicht, wenn im österreichischen MINT-Lehrplan eine „projektorientierte Perspektive“ gefordert wird (BMBWF, 2022, S. 3) und ein „problemlösungszentriertes Lernen forciert“ werden soll (S. 4).

Die im österreichischen MINT-Lehrplan geforderte Orientierung an „forschendem, entdeckendem Lernen“ (BMBWF, 2022, S. 4) verdient jedoch eine kritischere Betrachtung. Auf den ersten Blick erscheint diese Orientierung naheliegend, schafft doch gerade ein zusätzlicher MINT-Unterricht unterrichtliche Freiräume, die der traditionelle Fachunterricht mit seiner Stofffülle meist nicht bieten kann. Zudem folgt diese Orientierung einem internationalen Trend: In ihrer Metastudie über Studien zu fächerübergreifendem MINT-Unterricht konnten Thibaut et al. (2018) in 17 von 23 Projekten eine Orientierung an *inquiry-based learning* feststellen. Dabei unterstrichen sie jedoch, dass authentische Entdeckungsaktivitäten selbst in der Oberstufe oft eine Überforderung darstellen und ohne Lenkung durch die Lehrperson meist nicht zu den intendierten Lernergebnissen führen (vgl. auch Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004). Insbesondere für das MINT-Lernen in Designaktivitäten konnte gezeigt werden, dass es nicht die Regel ist, dass durch Designaktivitäten fachliches Lernen angeregt wird, sondern dass eine Lenkung durch die Lehrperson notwendig ist (Crismond, 2001; Penner et al., 1997). Wie eine Lenkung der Lehrperson im Allgemeinen aussehen soll, damit Lernergebnisse erzielt

werden und dennoch nennenswerte Entdeckungen zustande kommen können, ist trotz bestehender Forschungsbemühungen (z. B. Hmelo-Silver et al., 2007) unklar, was große didaktische Anforderungen an die Materialerstellung und an die Lehrpersonen nach sich zieht. Dass eine Missachtung dieser Komplexität und allzu romantisierte Vorstellungen von entdeckendem Lernen didaktisch fragwürdige Unterrichtspraktiken legitimieren können, wurde zumindest für den Mathematikunterricht herausgearbeitet (Kollosche, 2017). Etwas nuancierter wird die Bewertung von entdeckendem Lernen, wenn man die Steigerung des Erfolgs beim inhaltlichen Lernen gar nicht als primäres Ziel solcher Unterrichtsaktivitäten ansieht, sondern solche Unterrichtsaktivitäten nutzen möchte, um an ausgewählten und hinreichend elementarisierten Beispielen in authentische Arbeits- und Denkweisen der MINT-Fächer und in die *21st Century Skills* (Kommunikation, Kollaboration, Kreativität, kritisches Denken, vgl. BMBWF, 2022, S. 3) einzuführen. Leider sind auch die Gelingensbedingungen für das Erfüllen dieser fachbezogenen Ziele bisher nicht wissenschaftlich untersucht worden; doch für die Erarbeitung von *21st Century Skills* hat sich forschendes und entdeckendes Lernen bereits bewährt (Kennedy & Sundberg, 2020).

Insgesamt sind die didaktischen Vorschläge für die Gestaltung von MINT-Unterricht breit gestreut. In einer Metastudie über 23 Studien zu fächerübergreifendem MINT-Unterricht untersuchten Thibaut et al. (2018), welche didaktischen Ansätze in den jeweils untersuchten Unterrichtsprojekten verfolgt wurden. In 18 von 23 Fällen wurde ein problemorientiertes Vorgehen gewählt. In 17 von 23 Fällen waren Design-Aktivitäten vorgesehen. 16 der 23 Unterrichtsprojekte setzen dabei auf kooperative Lernformen. Diese Häufigkeiten liefern zwar keine wissenschaftlichen Belege für die didaktische Fruchtbarkeit dieser Ansätze, zeigen aber doch, welche Ansätze Unterrichtende im MINT-Bereich als sinnvoll erachten.

In einer Übersicht von Unterrichtspraktiken, die sich für das Lernen von Mathematik und Naturwissenschaften in empirischen Studien als lernförderlich erwiesen haben, listen Zemelman et al. (2005, zit. von Stohlmann et al., 2012, meine Übersetzung) auf:

1. Nutzung von physischem Lernmaterial und handlungsorientiertes Lernen
2. kooperatives Lernen
3. Diskussion und Nachforschung (*inquiry*)
4. Hinterfragen und Vermuten
5. Überlegungen begründen
6. Schreibaktivitäten für Reflexion und Problemlösen
7. Problemlöseaktivitäten
8. Integration von Technologie
9. Lehrperson als Prozessbegleiter
10. Bewertung als Teil des Unterrichts

Dieser Beitrag wird diese Vorschläge aus verschiedenen Gründen nicht im Detail diskutieren: Zum einen sind die Vorschläge zu komplex, als dass sie hier in aller Kürze gewinnbringend und differenziert abgehandelt werden könnten. Zum anderen sind die Vorschläge in den MINT-Fachdidaktiken seit Langem bekannt und bedürfen womöglich nicht allzu dringend einer neuerlichen Besprechung.

Wichtig erscheinen stattdessen Überlegungen, die sich speziell aus der fächerübergreifenden Natur von MINT-Unterricht ergeben. Zuallererst dürfte dies die Koordination der unterschiedlichen Fachperspektiven betreffen. Nathan et al. (2013) untersuchten, wie im MINT-Unterricht ein konzeptioneller Zusammenhang (*cohesion*) trotz unterschiedlicher Repräsentationen in den Fächern hergestellt werden kann, konkret am Beispiel einer Unterrichtseinheit zu elektronischen Wahlmaschinen zwischen Wahrheitstabellen, Booleschen Variablen, Kreislaufdiagrammen und Steckplatinen. Dazu werteten sie Unterrichtsvideografien aus, die in zwei High-School-Wahlkurse zu digitaler Elektronik aufgenommen wurden, in denen zwei erfahrene und breit ausgebildete MINT-Lehrpersonen unterrichteten. Sie konnten die folgenden lernförderlichen Unterrichtspraktiken identifizieren:

1. Aufmerksamkeit für die Konzepte hinter Repräsentationen, um die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Repräsentationen erkennen zu können
2. Koordination von Verstehens- und Begründungsprozessen in den Lernaktivitäten
3. Vorausschau zur Gewichtung und Planung weiterer Lernaktivitäten
4. Rückschau zur Sicherheit erkannter Zusammenhänge

Darüber hinaus sind die didaktischen Erkenntnisse zur sinnvollen Gestaltung von fächerübergreifendem MINT-Unterricht noch spärlich, was auch die Kürze ihrer Abhandlung in einer sonst umfangreichen Expertise aus den USA unterstreicht (Honey et al., 2014, S. 52–63).

5. Geschlechterreflexiver und inklusiver MINT-Unterricht

Besondere didaktische Herausforderungen ergeben sich schließlich aus dem geschlechterreflexiven und inklusiven Anspruch von MINT-Unterricht im österreichischen Lehrplan (BMBWF, 2022, S. 4). In westlichen Ländern zeigt sich durchgängig, dass Frauen und Personen aus marginalisierten ethnischen Gruppen (z. B. Nachfahren von Migrant*innen oder *People of Colour*) in MINT-Tätigkeitsfeldern unterrepräsentiert sind. Je fortgeschrittener der Bildungs- oder Karriereweg ist, desto stärker zeigt sich dieser Effekt. Dieser Befund wird immer wieder auch als volkswirtschaftliches Problem gesehen, da hier das gesellschaftliche Potential möglicher Interessen und Begabungen für MINT nicht ausgeschöpft wird. Er wirft aber auch die Frage auf, inwieweit den unterrepräsentierten Personengruppen ein Engagement in MINT-Tätigkeitsfeldern

erschwert wird und wie diese letztlich diskriminierenden Hürden abgebaut werden können. Dieses Problemfeld soll im Folgenden am Beispiel eines geschlechterreflexiven MINT-Unterrichts diskutiert werden.

Der Forschungsstand zu den Gründen von Geschlechterunterschieden in den MINT-Fächern und möglichen Interventionsmöglichkeiten ist erfreulich umfangreich (z. B. Jahnke-Klein, 2014; Stöger et al., 2012). Ein Überblicksartikel zu genderreflexivem Mathematikunterricht bespricht Problembereiche, die in ähnlicher Form auch für andere MINT-Fächer identifiziert wurden (Kollosche et al., im Druck). Dazu gehören unter anderem:

1. Gender-Unterschiede gibt es bereits in den Assoziationen zu den MINT-Fächern. Diese werden in der Regel als männliche Domänen gesehen, in denen die Beiträge von Frauen historisch verschwiegen und auch heute nicht ausreichend wahrgenommen werden. Gender-Unterschiede lassen sich durchaus unter den Repräsentant*innen der MINT-Fächer (Lehrperson, berühmte Wissenschaftler*innen, zeitgenössische Forscher*innen) feststellen, wodurch der Eindruck entsteht, dass MINT eine Domäne ist, in der Frauen weniger leisten könnten oder unerwünscht seien. Dadurch entsteht die Gefahr, dass Expertise im MINT-Bereich als unweiblich und für einige als nicht erstrebenswert wahrgenommen wird (z. B. Makarova et al., 2019).
2. Gender-Unterschiede in der Leistung in den MINT-Fächern sind vereinzelt festzustellen, bestehen jedoch nicht systematisch. Gegenbeispiele belegen, dass Gender-Unterschiede nicht geschlechtlich bedingt sind, sondern gesellschaftliche und unterrichtliche Ursachen haben.
3. Das Lern- und Arbeitsumfeld im MINT-Bereich ist zuweilen noch zu sehr auf die Bedürfnisse männlicher Teilnehmer zugeschnitten. So konnte beispielsweise für den Mathematikunterricht gezeigt werden, dass ein stärkerer Fokus auf Verstehensprozesse und Kooperation eher den Interessen weiblicher Lernender entspricht (z. B. Jahnke-Klein, 2001).

Unterrichtliche Ansätze zielen dann zum einen darauf ab, der Reproduktion von Gender-Stereotypen entgegenzuwirken, etwa durch eine Thematisierung von weiblichen Vorbildern, durch das Heranführen von Schülerinnen an Karrierewege im MINT-Bereich und durch das Problematisieren von diskriminierenden Strukturen gegen Frauen (im eigenen Klassenverband, aber auch historisch und aktuell, etwa am Beispiel der Biografie von Lise Meitner) (z. B. Buckley et al., 2022). Zum anderen zielen sie darauf ab, für Schülerinnen attraktive Lernumgebungen anzubieten, die an vorhandene Interessen anschließen und ein kooperatives und verstehensorientiertes Lernen ermöglichen. Detaillierte Vorschläge für die Gestaltung eines genderreflexiven und inklusiven MINT-Unterrichts bieten unter anderem die Handreichungen des IMST-Netzwerks Gender_Diversität (IMST, o. J.; insb. Funk et al., 2019).

6. Herausforderungen eines MINT-Unterrichts

In einem frühen Beitrag zu den Herausforderungen bei der Integration der MINT-Fächer in einen fächerübergreifenden Unterricht identifizierten McComas und Wang (1998) vier Problembereiche: Die MINT-Ausbildung der Lehrperson, die Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrperson, die Unterrichtsgestaltung sowie Widerstand gegen Veränderung. Der letzte Bereich mag für den österreichischen Kontext nicht von zentraler Wichtigkeit sein, weil wir es hier nicht mit einer prinzipiellen Umgestaltung des MINT-Fächerkanons zu tun haben, sondern mit einem zusätzlichen MINT-Angebot. Die didaktische Gestaltung des Unterrichts wurde weiter oben bereits thematisiert. Stohlmann et al. (2012) weisen zusätzlich auf die Herausforderung hin, Materialien für den Unterricht bereitzustellen.

Die eigene fachliche und fachdidaktische Ausbildung hat in Studien deutliche Auswirkungen auf den Lernfortschritt im traditionellen Fachunterricht gezeigt (Eckman et al., 2016; Frykholm & Glasson, 2005; Pang & Good, 2000; Stinson et al., 2009). Zugleich fühlen sich viele MINT-Lehrpersonen nicht ausreichend auf einen übergreifenden Unterricht vorbereitet (El-Deghaidy & Mansour, 2015) und fürchten zuweilen, dass ein fächerübergreifender Unterricht dadurch oberflächlich wird (Czerniak et al., 1999). Stohlmann et al. (2012) berichten davon, dass sich einige sonst selbstbewusste Lehrpersonen unsicher fühlen und viele von ihnen lieber zum Fachunterricht zurückkehren würden, für den sie ausgebildet wurden. Die bisherigen Studien hierzu kommen aus dem Ausland; doch ist wohl ein ähnliches Bild in Österreich zu erwarten. Die Gründe hierfür sind struktureller Natur: So erwirbt man im Lehramtsstudium in der Regel nur in höchstens zwei MINT-Fächern tiefere Einblicke. MINT-Lehrpersonen sind zwar Expert*innen für das Unterrichten ihrer Fächer, meist aber nicht für das Gestalten von fächerübergreifendem, projektorientiertem Unterricht. Eine große Herausforderung für den fächerintegrativen MINT-Unterricht ergibt sich daher – ähnlich wie im Sachunterricht – bei der Unterrichtsplanung und -gestaltung aufgrund der Vielzahl der eingebundenen Bezugsfächer. So sind Lehrpersonen im Planungsprozess gefordert, Inhalte aus den Referenzwissenschaften des MINT-Unterrichts einzubinden und zu verknüpfen. MINT-Lehrpersonen in Österreich können aber auch nur ein MINT-Fach studiert haben oder gänzlich „fachfremd“ unterrichten. Jedenfalls ist nicht davon auszugehen, dass eine MINT-Lehrperson in allen MINT-Fächern umfangreich gebildet ist. Da Technik & Design meist kein traditionelles Unterrichtsfach ist, liegt hier oft am wenigsten Expertise vor (El-Deghaidy & Mansour, 2015).

Das ideale Szenario, in dem Expert*innen für alle MINT-Fächer zusammenkommen und gemeinsam unterrichten oder zumindest gemeinsam Unterricht planen, wird zwar an einigen Schulen in Österreich gelebt; doch das Modell, nach dem das Unterrichtsfach MINT in Österreich zurzeit unterrichtet werden soll, sieht vor, dass der Unterricht durch nur eine Lehrperson getragen wird. Hinzu kommt ein

fachdidaktisches Problem: MINT-Lehrpersonen sind zwar Expert*innen für das Unterrichten ihrer Fächer, meist aber nicht für das Gestalten von fächerübergreifendem Unterricht, von Projektunterricht oder von entdeckendem Lernen. Vorbilder für ein solches Unterrichten kennt man zudem nur selten aus der eigenen Lernbiografie als Schüler*in oder als Student*in. Damit ist neben Unterstützung vor allem zusätzliche Zeit für die Planung von fächerübergreifendem MINT-Unterricht nötig (Stohlmann et al., 2012, S. 29).

McComas und Wang (1998) sehen die Gefahr, dass eine unzureichende fachliche und fachdidaktische Vorbereitung auf übergreifenden MINT-Unterricht, gepaart mit als nicht ausreichend erlebten Zeitressourcen zur Vorbereitung, das Vertrauen in die Effektivität des eigenen Unterrichts mindert. Zugleich ist aus den Fachdidaktiken bekannt, dass die Selbstwirksamkeitserwartung einer Lehrperson einen großen Einfluss darauf hat, wie gewinnbringend der Unterricht von Lehrenden und Lernenden erlebt wird und wie viel tatsächlich gelernt wird. Es ist daher eine zentrale Frage, wie MINT-Lehrpersonen in dem für sie ungewohnt unsicheren Unterrichtsumfeld so unterrichten können, dass sie sich als kompetente Lehrpersonen erfahren können. Eine Studie von El Nagdi et al. (2018), in der die Lehrpersonen zweier neuer MINT-Schulen begleitet wurden, zeigt, wie es gelingen kann: Die dort involvierten Lehrpersonen mussten erst lernen, sich als MINT-Lehrpersonen zu verstehen und sich mit den Zielen von MINT-Unterricht zu identifizieren. Wichtig war es, dass sie sich zunehmend als Moderator*innen des Lernprozesses verstanden, sich zunehmend selbst als Lernende begriffen und bereit waren, beim Unterrichten Risiken einzugehen. Es gelang ihnen also, sich von der Erwartung an sich selbst zu lösen, als Fachlehrperson inhaltlich und didaktisch alles zu überblicken und auch in die Rolle eines Lernenden zu schlüpfen – wenngleich mit einer ausgeprägten Expertise in ausgewählten MINT-Disziplinen und ausführlicher Vorbereitung.

Bei all diesen Herausforderungen wird aber deutlich, dass ein fächerübergreifender MINT-Unterricht ein derart herausforderndes Projekt ist, dass es unredlich wäre, den Schulen ohne Unterstützung von außen ausgereifte Lösungen abzuverlangen. Dies betrifft zum einen die Vorbereitung der Lehrpersonen, die im österreichischen Fall erst nach Einführung des Unterrichtsfachs MINT angelaufen ist, und zum anderen die Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien mit fachlichen und fachdidaktischen Erläuterungen, die im österreichischen Fall auch erst nach Einführung des Unterrichtsfachs MINT in die Entwicklung ging. Schließlich betrifft dies aber auch die räumliche, finanzielle und personelle Ausstattung von Schulen. Stohlmann et al. (2012) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Unterrichtsmaterialien wie handwerkliche und digitale Werkzeuge, Geräte, Werkstoffe und Lernumgebungen, ausgewählt, angeschafft und fortwährend geordnet, gepflegt und erneuert werden müssen.

7. Synthese und Ausblick

Peters-Burton et al. (2014) haben auf der Grundlage ihres Studiums der Internetauftritte und Berichte über inklusive MINT-High-Schools in den USA zehn Komponenten solcher Schulen identifiziert. Dazu gehören mit der MINT-Fokussierung des Lehrplans und dem inklusiven Anspruch des Unterrichts zwei Komponenten, die in Österreich bereits umgesetzt sind, mit der Etablierung von projektorientiertem Lernen, mit der Integration neuer Technologien, mit dem Aufbau von Partnerschaften mit Unternehmen, mit der Lehrerfort- und -weiterbildung und der Verbesserung der Schuladministration für MINT-Unterricht, aber auch Komponenten, die in Österreich gerade erst in der Entwicklung sind. Die Vernetzung mit auch informellen Lernprozessen über den eigentlichen Unterricht hinaus, die Begabtenförderung sowie besondere Angebote für unterrepräsentierte soziale Gruppen sind drei weitere Komponenten, die zeigen, wohin die Reise auch in Österreich noch gehen könnte.

Zum Abschluss soll eine Synthese der bisherigen Überlegungen anhand von handlungsleitenden Thesen formuliert werden. Folgende Aspekte erscheinen für das Gelingen von fächerübergreifendem MINT-Unterricht in Österreich besonders wichtig:

1. Die Gründe für einen fächerübergreifenden MINT-Unterricht sind vielfältig, ermöglichen eine sinnstiftende Orientierung für den Unterricht, können aber auch kritisch hinterfragt werden.
2. Ein inklusiver MINT-Unterricht, der möglichst vielen Schüler*innen, auch solchen aus im MINT-Bereich sonst unterrepräsentierten sozialen Gruppen, einen Zugang zu MINT-Unterricht ermöglicht, ist ethisch notwendig und volkswirtschaftlich sinnvoll.
3. Im inklusiven MINT-Unterricht werden gesellschaftliche Stereotype rund um MINT hinterfragt, diverse Vorbilder aus dem MINT-Bereich sichtbar und didaktische Gestaltungsmöglichkeiten gewählt, die geeignet sind, alle Schüler*innen anzusprechen.
4. Fächerübergreifender MINT-Unterricht sollte in thematisch organisierten Einheiten (z. B. Projekten) unterrichtet werden, um die Vielfalt der Bezüge in den MINT-Disziplinen sinnvoll einzugrenzen.
5. Fächerübergreifender MINT-Unterricht sollte die einzelnen MINT-Fächer und ihre Besonderheiten erfahrbar machen und Lernziele in allen MINT-Fächern verfolgen.
6. Fächerübergreifender MINT-Unterricht profitiert von der Einbindung von Technik und Design als schöpferischer Komponente.
7. Fächerübergreifender MINT-Unterricht sollte sinnvoll auf die Inhalte aus den traditionellen MINT-Fächern aufbauen, wo möglich mit diesen Fächern

- verzahnt werden und nur wo nötig auf spätere Inhalte aus den traditionellen MINT-Fächern vorgreifen.
8. Als lernförderlich erwiesen haben sich ans wissenschaftliche Arbeiten angelehnte Unterrichtstätigkeiten wie Planung, Diskussionen, Nachforschungen, Vermuten, Hinterfragen, Problemlösen, Begründen und Rückschau.
 9. Forschendes, entdeckendes Lernen eignet sich zur Einführung ins wissenschaftliche Arbeiten sowie für das Einarbeiten in Kommunikation, Kollaboration, Kreativität und kritisches Denken, bietet aber nicht immer die besten inhaltlichen Lernergebnisse.
 10. Es gibt keine in allen MINT-Disziplinen formal qualifizierte Lehrperson. Guter MINT-Unterricht lebt stattdessen von der Zusammenarbeit unterschiedlicher Expertisen, von guten Fortbildungsangeboten und guten unterrichtspraktischen Materialangeboten.
 11. Lehrpersonen wird es im fächerübergreifenden MINT-Unterricht schwerfallen, sich als unangefochtene fachliche und fachdidaktische Autorität zu verstehen; sie profitieren stattdessen von einem Selbstverständnis als Begleiter von Lernprozessen und als Mitlernende.
 12. MINT-Unterricht erfordert eine besondere Infrastruktur, von besonderen Räumlichkeiten über Werkzeuge, Geräte, Werkstoffe bis hin zu passendem Unterrichtsmaterial.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung der Republik Österreich geförderten Projekts IMST liegt ein besonderer Fokus derzeit auf der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien und auf Lehrerfort- und -weiterbildungen. Damit sollen neben wissenschaftlichem Erkenntnisgewinn insbesondere MINT-Lehrpersonen jene Unterstützung erhalten, die notwendig ist, um einen für alle Beteiligten bereichernden MINT-Unterricht anzubieten.

Anmerkungen

Wir danken allen, die kritische Anmerkungen zu früheren Versionen dieses Texts beigesteuert haben, insbesondere Barbara Zuliani, Marion Starzacher, Rita Elisabeth Krebs, Andreas Bollin und Nikolaus Albrecht sowie den anonymen Gutachter*innen. Die Arbeit an diesem Beitrag wurde finanziert durch das vom BMBWF geförderte Projekt IMST.

Literaturverzeichnis

ACM (2016). *K–12 Computer Science Framework*. (2016). Abgerufen unter

<http://www.k12cs.org> [29.05.2024].

Becker, K. H. & Park Kyungsuk (2011). Integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A meta-analysis. *Journal of STEM education*, 12(5), 23–37.

Bragaw, D., Bragaw, K. A. & Smith, E. (1995). Back to the future: Toward curriculum integration. *Middle School Journal*, 27(2), 39–46.

<https://doi.org/10.1080/00940771.1995.11496152>

BMBWF (2022). *Lehrplan der Mathematik-Informatik-Naturwissenschaften-Technik Mittelschule (Kurzform MINT-MS) (im Schulversuch)*. Unveröffentlichtes Dokument.

BMBWF (2023a). *Verordnung über die Lehrpläne der Mittelschulen*. BGBl. II Nr. 185/2012, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 1/2023, in der Fassung vom 2.1.2023.

BMBWF (2023b). *Verordnung über die Lehrpläne der Volksschule und der Sonderschulen*. BGBl. Nr. 267/1963, zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 163/2023, in der Fassung vom 2.6.2023.

BMBWF (o. J.). *MINT in der Forschung* (Internetseite). Verfügbar unter: <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/Forschung/Forschung-in-%C3%96sterreich/Strategische-Ausrichtung-und-beratende-Gremien/Leitthemen/MINT.html> [27.06.2023].

Buckley, C., Farrell, L. & Tyndall, I. (2022). Brief stories of successful female role models in science help counter gender stereotypes regarding intellectual ability among young girls: A pilot study. *Early Education and Development*, 33(4), 555–566. <https://doi.org/10.1080/10409289.2021.1928444>

Cantrell, P., Pekcan, G., Itani, A. & Velasquez-Bryant, N. (2006). The effects of engineering modules on student learning in middle school science classrooms. *Journal of Engineering Education*, 95(4), 301–309. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00905.x>

Crismond, D. (2001). Learning and using science ideas when doing investigate-and-redesign tasks: A study of naive, novice, and expert designers doing constrained and scaffolded design work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 791–820. <https://doi.org/10.1002/tea.1032>

Crompton, H. & Sykora, C. (2021). Developing instructional technology standards for educators: A design-based research study. *Computers and Education Open*, 2, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100044>

- Czerniak, C. M., Weber, W. B., Sandmann, A. & Ahern, J. (1999). A literature review of science and mathematics integration. *School Science and Mathematics*, 99(8), 421–430. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1999.tb17504.x>
- Dornmayr, H. & Riepl, M. (2022). *Unternehmensbefragung zum Fachkräftebedarf/-mangel 2022: Fachkräfte radar 2022*. Wien: Institut für Bildungsforschung der Wirtschaft.
- Eckman, E. W., Williams, M. A. & Silver-Thorn, M. B. (2016). An integrated model for STEM teacher preparation: The value of a teaching cooperative educational experience. *Journal of STEM Teacher Education*, 51(1). <https://doi.org/10.30707/JSTE51.1Eckman>
- El-Deghaidy, H. & Mansour, N. (2015). Science teachers' perceptions of STEM education: Possibilities and challenges. *International Journal of Learning and Teaching*, 1(1), 51–54. <https://doi.org/10.18178/ijlt.1.1.51-54>
- El Nagdi, M., Leammukda, F., & Roehrig, G. (2018). Developing identities of STEM teachers at emerging STEM schools. *International Journal of STEM Education*, 5, Art. 36. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0136-1>
- Freytag, E., Holl, P., Schmölzer, B., Glettler, C., Jarau, S., Luschin-Ebengreuth, N., Thomas, A., & Karner, K. (2021). Zusammenhänge erkennen, konzeptuelles Denken entwickeln. Konzept eines Lehr-Lern-Modells für den Sachunterricht. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 3(1), 34–53. <https://www.pflb-journal.de/index.php/pflb/article/view/4351> [29.05.2024].
- Frykholm, J. & Glasson, G. (2005). Connecting science and mathematics instruction: Pedagogical context knowledge for teachers. *School Science and Mathematics*, 105(3), 127–141. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2005.tb18047.x>
- Funk, S., Mahve-Beydokhti, M., Schneider, F. & Arzmann, D. (2019). *Hypatia: Toolkit für einen genderinklusive MINT-Unterricht*. Wien: IMST. https://old.imst.ac.at/app/webroot/files/GD-Handreichungen/Klein_Hypatia_Handreicherung_2019-min.pdf [29.05.2024].
- Gaisch, M., Rammer, V. E., Sterrer, S. & Takacs-Schwarzinger, C. (2023). *Wie MINT gewinnt: Assoziationen, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse österreichischer Schülerinnen in Bezug auf eine Ausbildung in den MINT-Bereichen*. https://pure.fh-ooe.at/ws/portalfiles/portal/53451294/MINTality_Studie_Bericht_MINTgewinnt_FLNAL.pdf [29.05.2024].
- George, P. S. (1996). The integrated curriculum: A reality check. *Middle School Journal*, 28(1), 12–20. <https://doi.org/10.1080/00940771.1996.11496183>

Guthrie, J. T., Wigfield, A. & VonSecker, C. (2000). Effects of integrated instruction on motivation and strategy use in reading. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 331–341. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.2.331>

Hastedt, H. (2012). Einleitung. In H. Hastedt (Hrsg.), *Was ist Bildung? Eine Textanthologie* (S. 7–28). Stuttgart: Reclam.

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>

Holten, K. (2022). *Fachdidaktisch verbindendes Forschen und Lehren in der Mathematiklehrer*innenbildung: Neue Perspektiven auf das Lehren und Lernen von Mathematik (und Physik)*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37514-0>

Honey, M., Pearson, G. & Schweingruber, H. (Hrsg.) (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>

Hurley, M. M. (2001). Reviewing integrated science and mathematics: The search for evidence and definitions from new perspectives. *School Science and Mathematics*, 101(5), 259–268. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2001.tb18028.x>

IMST (o. J.). *Handreichungen* (Internetseite). <https://www.imst.ac.at/handreichungen> [29.05.2024].

Jahnke-Klein, S. (2001). *Sinnstiftender Mathematikunterricht für Mädchen und Jungen*. Baltmannsweiler: Schneider.

Jahnke-Klein, S. (2014). Benötigen wir eine geschlechtsspezifische Pädagogik in den MINT-Fächern? Ein Überblick über die Debatte und den Forschungsstand. In C. Theurer, C. Siedenbiedel & J. Budde (Hrsg.), *Lernen und Geschlecht* (S. 46–67). Leverkusen: Budrich.

Just, J. & Siller, H.-S. (2022). The role of mathematics in STEM secondary classrooms: A systematic literature review. *Education Sciences*, 12(9), 629. <https://doi.org/10.3390/educsci12090629>

Kelley, T. R. & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

Kennedy, T. J. & Sundberg, C. W. (2020). 21st Century Skills. In B. Akpan & T. J. Kennedy (Hrsg.), *Science education in theory and practice* (S. 479–496). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_32

Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

Kollosche, D. (2017). Entdeckendes Lernen: Eine Problematisierung. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 38(2), 209–237. <https://doi.org/10.1007/s13138-017-0116-x>

Kollosche, D. (2021). Styles of reasoning for mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 107, 471–486. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10046-z>

Kollosche, D. & Meyerhöfer, W. (2021). COVID-19, mathematics education, and the evaluation of expert knowledge. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1–2), 401–417. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10097-2>

Kollosche, D., Steflitsch, D. & Deweis-Weidlinger, K. M. (im Druck). Gender, mathematics, and mathematics education. In B. Greer, D. Kollosche & O. Skovsmose (Hrsg.), *Breaking images. Iconoclastic analyses of mathematics and its education*. Cambridge: Open Book Publishers.

Krainer, K. (2024). Implementationsstrategien und gesellschaftliche Rationalität: Erörterungen am Beispiel der MINT-Initiative IMST. In M. Hemmer, C. Angele, Ch. Bertsch, S. Kapelari, G. Leitner & M. Rothgangel (Hrsg.), *Fachdidaktik im Zentrum von Forschungstransfer und Transferforschung: Beiträge der GFD-ÖGFD-Tagung Wien 2022* (S. 45–61). Münster: Waxmann.

Lave, J. & Wenger, É. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Makarova, E., Aeschlimann, B. & Herzog, W. (2019). The gender gap in STEM fields. The impact of the gender stereotype of math and science on secondary students' career aspirations. *Frontiers in Education*, 4, Art. 60. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00060>

Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14–19.

<https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.14>

- McComas, W. F. (1993). STS education and the affective domain. In R. E. Yager (Hrsg.), *The science, technology, society movement* (S. 161–168). Washington, D.C.: National Science Teachers Association.
- McComas, W. F., & Wang, H. A. (1998). Blended science: The rewards and challenges of integrating the science disciplines or instruction. *School Science and Mathematics*, 98(6), 340–348. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1998.tb17430.x>
- Moore, T., Stohlmann, M., Wang, H., Tank, K., Glancy, A. & Roehrig, G. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In S. Purzer, J. Strobel & M. Cardella (Hrsg.), *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (S. 35–60). West Lafayette, IN: Purdue University Press.
- Nathan, M. J., Srisurichan, R., Walkington, C., Wolfgram, M., Williams, C. & Alibali, M. W. (2013). Building cohesion across representations. A mechanism for STEM integration. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 77–116. <https://doi.org/10.1002/jee.20000>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Neubrand, M. & Lengnink, K. (2023). Bildungstheoretische Grundlagen des Mathematikunterrichts. In R. Bruder, A. Büchter, H. Gasteiger, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 57–82). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66604-3_3
- Pang, J. & Good, R. (2000). A review of the integration of science and mathematics: Implications for further research. *School Science and Mathematics*, 100(2), 73–82. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2000.tb17239.x>
- Park, W., Wu, J.-Y. & Erduran, S. (2020). The nature of STEM disciplines in the science education standards documents from the USA, Korea and Taiwan. *Science & Education*, 29(4), 899–927. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00139-1>
- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R. & Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125–143. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199702\)34:2<125::AID-TEA3>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199702)34:2<125::AID-TEA3>3.0.CO;2-V)
- Peters-Burton, E. E., Lynch, S. J., Behrend, T. S. & Means, B. B. (2014). Inclusive STEM high school design: 10 critical components. *Theory Into Practice*, 53(1), 64–71. <https://doi.org/10.1080/00405841.2014.862125>
- Plunger, C. (2021). Students dealing with tasks aiming at model- and context-oriented reflections. An explorative investigation. In D. Kollosche (Hrsg.), *Exploring*

new ways to connect: Proceedings of the Eleventh International Mathematics Education and Society Conference (Bd. 3, S. 787–798). Hamburg: Tredition.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5416122>

Riskowski, J. L., Davis Todd, C., Wee, B., Dark, M. & Harbor, J. (2009). Exploring the effectiveness of an interdisciplinary water resources engineering module in an eighth grade science course. *International Journal of Engineering Education*, 25(1), 181–195.

Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–26.

Schubatzky, T. & Haagen-Schützenhöfer, C. (2022). Debunking climate myths is easy—is it really? An explorative case study with pre-service physics teachers. *Education Sciences*, 12(8), 566. <https://doi.org/10.3390/educsci12080566>

Seidel, T., Reinhold, S., Holzberger, D., Mok, S. Y., Schiepe-Tiska, A. & Reiss, K. (2016). *Wie gelingen MINT-Schulen? Anregungen aus Forschung und Praxis*. Münster: Waxmann.

Siller, H.-S. & Weigand, H.-G. (2023). Ohne Mathe geht es nicht. MINT-Bildung: Chancen für den Mathematikunterricht. *Mathematik Lehren*, (237), 2–7.

Smith, E. (2017). Shortage or surplus? A long-term perspective on the supply of scientists and engineers in the USA and the UK. *Review of Education*, 5(2), 171–199.
<https://doi.org/10.1002/rev3.3091>

Stinson, K., Harkness, S. S., Meyer, H. & Stallworth, J. (2009). Mathematics and science integration: Models and characterizations. *School Science and Mathematics*, 109(3), 153–161. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17951.x>

Stohlmann, M., Moore, T. & Roehrig, G. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 28–34. <https://doi.org/10.5703/1288284314653>

Stöger, H., Ziegler, A. & Heilemann, M. (Hrsg.). (2012). *Mädchen und Frauen in MINT: Bedingungen von Geschlechtsunterschieden und Interventionsmöglichkeiten*. Berlin: Lit.

Thibaut, L., Ceuppens, S., Loof, H. de, Meester, J. de, Goovaerts, L., Struyf, A., et al. (2018). Integrated STEM education. A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1).
<https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>

Winter, V., Kranz, J. & Möller, A. (2022). Climate change education challenges from two different perspectives of change agents: Perceptions of school students and

pre-service teachers. *Sustainability*, 14(10), 6081.
<https://doi.org/10.3390/su14106081>

Zemelman, S., Daniels, H. & Hyde, A. A. (2005). *Best practice: Today's standards for teaching and learning in America's schools*. Portsmouth, N. H.: Heinemann.

Zhao, G. (2020). STEM education in the age of "fake news": A John Stuart Mill perspective. *Philosophy of Education*, 2019, 393–406.
<https://educationjournal.web.illinois.edu/ojs/index.php/pes/article/view/331>
[29.05.2024].

Zheng, L. (2021). A performative history of STEM crisis discourse: The co-constitution of crisis sensibility and systems analysis around 1970. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 42(3), 337–352.
<https://doi.org/10.1080/01596306.2019.1637332>

DAVID KOLLOSCHÉ, Dr. ist Universitätsprofessor für Didaktik der Mathematik an der Universität Klagenfurt und ist dort Co-Leiter des IMST-Arbeitspakets zur Materialentwicklung für den MINT-Unterricht.

BERNHARD SCHMÖLZER, Dr. ist Hochschulprofessor an der Pädagogischen Hochschule Kärnten, leitet dort das Fachdidaktikzentrum für Naturwissenschaften und ist Co-Leiter von IMST.