

**Die wissenschaftliche Basis von Maker Education:
Konstruktivismus, 21st Century Skills und SAMR-Modell**



TinkerToys GmbH
Fanita Romanus (fanita.romanus@tinkertoys.de)
Stand: 10/20225

Abstract

Dieses Whitepaper untersucht die wissenschaftliche Fundierung des Making-Ansatzes im schulischen Kontext und zeigt, wie das digitale Lernökosystem **TinkerToys** zentrale Prinzipien moderner Bildungspraxis umsetzt. Ausgangspunkt ist die theoretische Verankerung in drei zentralen Konzepten: dem **Konstruktionismus** nach Seymour Papert, der Lernen als aktiven, produktorientierten Prozess versteht; dem Kompetenzrahmen der **21st Century Skills**, der Kreativität, Kommunikation, Kollaboration und kritisches Denken in den Mittelpunkt stellt; sowie dem **SAMR-Modell** von Ruben Puentedura, das eine didaktische Systematik für den sinnvollen Einsatz digitaler Technologien bietet.

Anhand aktueller empirischer Studien wird aufgezeigt, dass Making-Projekte in **Makerspaces an Schulen** messbare Lernfortschritte, höhere Motivation und ein gestärktes Selbstwirksamkeitserleben bewirken. Gleichzeitig werden Herausforderungen wie unzureichende Infrastruktur und fehlende Lehrerfortbildungen identifiziert.

Das Whitepaper schließt mit der Erkenntnis, dass TinkerToys als forschungsbasiertes, praxisorientiertes Werkzeug die Verbindung von **digitaler Bildung, Kreativität und pädagogischer Innovation** exemplarisch verkörpert – und damit einen Beitrag zur nachhaltigen Verankerung von **Maker Education** im schulischen Lernen leistet.

This white paper explores the scientific foundations of the **Making** approach in education and illustrates how the digital learning ecosystem **TinkerToys** translates core principles of modern pedagogy into practice. It is grounded in three key theoretical frameworks: **Constructionism** (Papert), which defines learning as an active, product-oriented process; the **21st Century Skills** model, emphasizing creativity, communication, collaboration, and critical thinking; and the **SAMR model** (Puentedura), which provides a systematic approach for meaningful digital integration in teaching.

Drawing on recent empirical research, the paper demonstrates that **makerspaces in schools** foster measurable learning outcomes, increased motivation, and a stronger sense of self-efficacy among students. At the same time, it highlights existing challenges, including limited infrastructure and insufficient teacher training.

The findings underline that **TinkerToys** serves as a research-based, practice-oriented tool connecting **digital education, creativity, and pedagogical innovation**—offering a sustainable model for the implementation of **Maker Education** in schools.

Einleitung

TinkerToys bietet eine web- und appbasierte 3D-Konstruktionssoftware an, die grundlegende Konstruktionsformen und Vorlagen umfasst und sich mit 3D-Druck, VR/AR oder Lasercuttern nutzen lässt. Ergänzend stellt das Unternehmen frei verfügbare, unter einer Creative-Commons-Lizenz veröffentlichte Unterrichtsmaterialien sowie Lernboxen und Hardwarepakete bereit, die Schulen bei der Umsetzung digital-gestalterischer Lernprozesse unterstützen. Damit ist das Unternehmen klar in der EdTech-Branche verortet, also im Bereich digitaler Bildungsinnovationen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie TinkerToys innerhalb dieser Branche einzuordnen ist – insbesondere im Hinblick auf den sogenannten *Making*-Ansatz. Unter *Making* versteht man ein pädagogisches Konzept, das auf kreatives, handlungsorientiertes Lernen durch Gestalten, Experimentieren und digitale Produktion setzt. TinkerToys greift diese Prinzipien auf, indem Lernende ihre eigenen Ideen digital modellieren und anschließend physisch realisieren können – ein Prozess, der Kreativität, Problemlösefähigkeit und technisches Verständnis gleichermaßen fördert.

Um diese Bildungsinnovation theoretisch einzuordnen, lohnt sich ein Blick auf ihre wissenschaftliche Fundierung. Die Relevanz von TinkerToys zeigt sich insbesondere durch seine Verankerung in drei bildungstheoretischen Rahmungen: dem Konstruktionismus, dem Konzept der 21st Century Skills und dem SAMR-Modell. Diese drei Perspektiven greifen ineinander und geben eine umfassende Antwort auf die Fragen: *Warum funktioniert TinkerToys?*, *Was fördert es konkret?* und *Wie wird digitale Bildung sinnvoll integriert?*

Ein wissenschaftlicher Blick schafft nicht nur Glaubwürdigkeit, sondern stellt auch Anschlussfähigkeit an bildungspolitische Debatten und schulische Realitäten her. Die forschungsgeleitete Reflexion pädagogischer Konzepte ermöglicht es, die Wirkung von Innovationen systematisch zu erfassen, Qualität zu sichern und Projekte gezielt weiterzuentwickeln.

Doch auf welchen theoretischen Konzepten fußt TinkerToys? Und welche empirischen Studien belegen seine Wirkung?

1. Der Konstruktionismus: Warum Lernen durch Bauen wirkt

Ein zentrales Fundament von TinkerToys ist der Konstruktionismus, ein Lerntheorieansatz von Seymour Papert, der in den 1980er-Jahren am MIT Media Lab entwickelt wurde. Aufbauend auf dem Konstruktivismus von Jean Piaget, mit dem Papert auch persönlich zusammenarbeitete, stellt der Konstruktionismus eine

radikale Weiterentwicklung dar: Lernen wird nicht nur als individuelle Konstruktion von Wissen verstanden, sondern explizit als aktiver Herstellungsprozess eines sinnvollen Produkts in einem realen Kontext (Papert 1980).

Papert betont dabei vier Prinzipien:

1. Aktivität – Lernen geschieht am besten durch praktisches Tun.
2. Manipulative Materialien – Lernende benötigen greifbare, veränderbare Objekte.
3. Sinnvolles Produkt – Lernen wird effektiver, wenn es auf ein bedeutungsvolles Ergebnis zielt.
4. Selbststeuerung – Lernprozesse sollen durch Eigeninitiative geprägt sein.

Diese Prinzipien spiegeln sich direkt in TinkerToys wider: Kinder und Jugendliche konstruieren greifbare, digitale Objekte mithilfe von Tools wie 3D-Druck oder Lasercuttern – und erwerben dabei nicht nur technisches Know-how, sondern entwickeln auch ein Verständnis für Lerninhalte.

Eine zentrale empirische Stütze dieser Theorie bietet die Studie von Paulo Blikstein (2013). In seinem Beitrag „Digital Fabrication and ‘Making’ in Education“ untersucht er anhand qualitativer Methoden, wie Lernprozesse in FabLabs ablaufen. Blikstein beobachtete reale Unterrichtssituationen, führte Interviews und analysierte vier konkrete Fallbeispiele. Seine Erkenntnisse sind eindeutig: Lernen durch Bauen erweist sich als wirksam, motivierend und nachhaltig. Scheitern wird dabei nicht als Rückschritt verstanden, sondern als produktiver Bestandteil des Lernens. Besonders deutlich zeigt sich auch die Förderung fächerübergreifenden Denkens – etwa wenn mathematische Konzepte in geschichtliche Projekte integriert werden. Darüber hinaus entwickeln Schüler:innen ein gestärktes Selbstbild, da sie sich im kreativen Prozess als Erfinder:innen erleben und ernst genommen werden. Gleichzeitig warnt Blikstein jedoch vor einem oberflächlichen Einsatz von Making: Wenn Projekte ohne didaktische Tiefe geplant werden – etwa beim bloßen Drucken von Schlüsselanhängern ohne inhaltlichen Bezug – besteht die Gefahr, dass das pädagogische Potenzial des Ansatzes ungenutzt bleibt.

2. 21st Century Skills: Welche Kompetenzen TinkerToys fördert

Die Frage, was Schüler:innen im 21. Jahrhundert benötigen, beantwortet der Ansatz der 21st Century Skills. Entwickelt wurde er im Rahmen der US-Initiative P21 – Partnership for 21st Century Learning, an der u.a. Microsoft, das US-Bildungsministerium und internationale Bildungsforschungsnetzwerke beteiligt

waren. Ziel war es, überfachliche Kompetenzen systematisch zu definieren und praktisch in Bildungsprozesse zu integrieren. Zu den Kernkompetenzen zählen: Kritisches Denken, Kommunikation, Kollaboration und Kreativität.

Diese Fähigkeiten sind nicht nur normativ wünschenswert, sondern auch wissenschaftlich fundiert – etwa durch kognitive Theorien des Lernens (z.B. Problemlösemodelle), internationale Kompetenzrahmen (z.B. der OECD), sowie durch eine Vielzahl empirischer Studien.

Eine besonders aufschlussreiche Studie stammt von Papagiannis & Pallaris (2024). Die Forscher:innen führten eine vierwöchige Intervention mit 23 Studierenden durch, die an Makerspace-Workshops zu Themen wie 3D-Druck und Microcontroller teilnahmen. Vor und nach der Maßnahme wurden die vier genannten Kompetenzbereiche per Online-Befragung erhoben. Die statistische Auswertung mittels t-Test ergab signifikante Effekte (*Kritisches Denken: $t = 3.5$, $p = 0.001$, Kollaboration: $t = 4.2$, $p = 0.0005$, Kommunikation: $t = 3.8$, $p = 0.0008$, Kreativität: $t = 4.5$, $p = 0.0002$*).

Makerspaces, in denen zum Beispiel mit TinkerToys konstruiert werden kann, sind also nachweisbar wirksame Entwicklungsräume für Schlüsselkompetenzen, die weit über rein technische Fertigkeiten hinausgehen. Sie fördern die Selbstwirksamkeit, steigern die Motivation und trainieren das kreative Problemlösen in Teams – allesamt Kompetenzen, die in Schule, Studium und Beruf immer wichtiger werden.

3. SAMR-Modell: Wie digitale Technologien sinnvoll integriert werden

Während Konstruktionismus und 21st Century Skills das Was und Warum von TinkerToys beschreiben, beantwortet das SAMR-Modell die Frage nach dem Wie: Wie lassen sich digitale Technologien sinnvoll in den Unterricht integrieren?

Entwickelt von Dr. Ruben Puentedura, dient das Modell der Einschätzung des didaktischen Mehrwerts digitaler Tools. Es gliedert sich in vier Stufen:

- Substitution: Technologie ersetzt analoge Mittel 1:1 (z.B. E-Book statt Schulbuch).
- Augmentation: Funktionalität wird erweitert (z.B. interaktive Übungen).
- Modification: Aufgabenformate werden verändert (z.B. Videos statt Aufsätze).
- Redefinition: Neue Aufgaben, die ohne Technologie nicht möglich wären (z.B. VR-Projekte).

Eine umfangreiche Studie von Umarova et al. (2025) zeigt eindrucksvoll die Wirkung des SAMR-Modells: Über einen Zeitraum von drei Jahren wurden 160 Schüler:innen in Kasachstan auf vier Experimentalgruppen mit je einer SAMR-Stufe aufgeteilt. Zusätzlich gab es Kontrollgruppen mit traditionellem Unterricht. Gemessen wurde alle sechs Monate mittels Tests, Beobachtungen und Interviews. Die Ergebnisse zeigen teilweise hoch signifikante Leistungszuwächse (Substitution: +5,7 %, Augmentation: +10 %, Modification: +20 %, Redefinition: +30 %). Der höchste Effekt zeigte sich bei der Redefinition – also dort, wo kreative, technologiegestützte Aufgabenstellungen völlig neue Lernzugänge eröffneten. Für die Arbeit mit TinkerToys bedeutet das: Je stärker Schüler:innen durch digitale Werkzeuge neue Denk- und Handlungsmöglichkeiten erhalten, desto nachhaltiger wirkt der Lernprozess.

4. Making in der Schule: Chancen, Hürden und Empfehlungen

TinkerToys reiht sich in eine wachsende Zahl schulischer Making-Initiativen ein, die weltweit erprobt und wissenschaftlich untersucht werden. Einen umfassenden Überblick über den aktuellen Forschungsstand bietet die systematische Review von Santos et al. (2024), in der 123 Studien zur Implementierung von Makerspaces im schulischen Kontext (K-12) analysiert wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Makerspaces vorrangig für projektbasiertes, kreatives und interdisziplinäres Lernen eingesetzt werden – besonders im Bereich der MINT-Fächer. Dabei dominieren didaktische Ansätze wie Problem-Based Learning und Learning-by-Doing. Im Zentrum steht die aktive Rolle der Lernenden: Schüler:innen übernehmen Verantwortung für ihren Lernprozess, wobei Selbststeuerung gezielt gefördert wird.

Lehrkräfte gelten als Schlüsselfaktoren für den Erfolg solcher Initiativen, erhalten jedoch häufig unzureichende Fortbildungsangebote. Besonders positiv wird die inklusive Wirkung von Makerspaces bewertet – benachteiligte Gruppen profitieren durch praktische Arbeit und gewinnen nachweislich an Selbstbewusstsein. Gleichzeitig bestehen Herausforderungen, etwa in Form fehlender Infrastruktur, unzureichender Curriculumeinbindung sowie fehlender Standardisierung in Sicherheitskonzepten.

Als zentrale Empfehlungen nennen die Autor:innen den Aufbau regionaler und überregionaler Netzwerke zwischen Schulen, eine verbindliche Qualifikation von Lehrkräften sowie die systematische Integration von Making-Ansätzen in Bildungspläne.

Fazit: TinkerToys als forschungsbasiertes Lernökosystem

TinkerToys ist nicht nur ein didaktisches Werkzeug, sondern ein Lernökosystem, das sich auf tragfähige wissenschaftliche Grundlagen stützt. Es verbindet Theorie, Empirie und Praxis: Der Konstruktivismus erklärt das Lernen durch Machen; die 21st Century Skills definieren die angestrebten Kompetenzen; das SAMR-Modell liefert einen Gestaltungsrahmen für die digitale Integration. Und aktuelle empirische Studien belegen die Wirksamkeit all dieser Konzepte.

Damit leistet TinkerToys nicht nur einen Beitrag zur zeitgemäßen Bildung, sondern stellt ein Beispiel dar, wie pädagogische Innovation forschungsgeleitet entwickelt und reflektiert werden kann.

Literatur

- Blikstein, P. (2013). *Digital fabrication and 'making' in education: The democratization of invention*. In W. Bender & D. Peppler (Eds.), *FabLabs: Of machines, makers and inventors* (pp. 203–222). transcript Verlag. <https://doi.org/10.14361/transcript.9783839423820.203>
- Partnership for 21st Century Skills. (2009). *P21 framework definitions*. Battelle for Kids. https://static.battelleforkids.org/documents/p21/p21_framework_definition_sbfk.pdf
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Papagiannis, P., & Pallaris, G. (2024). *Evaluating 21st Century Skills Development through Makerspace Workshops in Computer Science Education*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2411.05012>
- Puentedura, R. R. (2006). *Transformation, technology, and education*: http://hippasus.com/resources/tte/puentedura_tte.pdf
- Santos, E. M. F., da Silva, C. G., & de Deus Lopes, R. (2024). *School maker environments: A systematic review of makerspaces in K-12 education* [Pre-proof]. Heliyon. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41257>
- Umarova, Z., Iztayev, Z., Kemelbekova, Z., Akhmetova, S., Abdrashova, E., Botayeva, S., & Ashirbekova, Z. (2025). *The impact of the SAMR model with IT-enhanced tools on student performance*. International Journal of Information and Education Technology, 15(4), 760–766. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.4.2281>