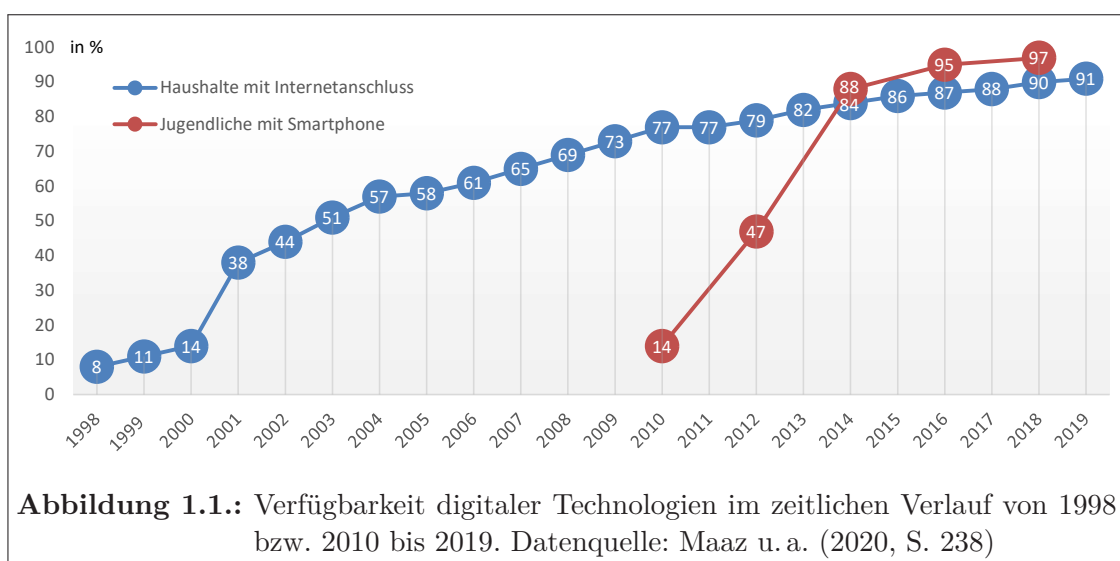


1 Einleitung

Digitale Medien haben die Welt bereits weit vor der Pandemie des Jahres 2020 nachhaltig verändert. Während sich die Innovationen im IT-Bereich bis etwa 2010 stetig verbreiteten (dies zeigt etwa die Ausstattung der Haushalte mit Internetzugang von 1998 bis 2019 in Abb. 1.1), führte der Durchbruch von Tablets und Smartphones im Jahr 2007¹ zu einer bemerkenswert schnellen, breiten Verfügbarkeit dieser neuen Technologie. Im Jahre 2008 wurde die Verbreitung von Smartphones als Medium für Jugendliche noch nicht einmal erfasst, im Jahr 2010 rangierte sie bei 14 Prozent. Anschließend verdreifachte sich diese Zahl innerhalb von nur zwei Jahren, sodass 2012 bereits fast jeder zweite Jugendliche (47 %) über ein solches Gerät verfügte.

¹als initialer Moment gilt die Präsentation des ersten *Apple iPhones und iPads*.



Wiederum zwei Jahre später (2014) war die Zahl auf 88 % gestiegen und erreichte 2016 die quasi-Vollausstattung von 95 % bzw. 97 % (2018). Diese Entwicklung zeigt die rote Kurve in Abb. 1.1.

Die Verbreitung der neuen Geräte zog tiefgreifende Veränderungen in vielen Bereichen der Wirtschaft nach sich. Wirtschaftswissenschaftler sprechen von Disruptionen, dem Wirtschaftswort des Jahres 2015 (Meck u. Weiguny, 2015). Die neuen Möglichkeiten bedeuteten Umstellungen bis hin zu Überlebenskämpfen von ganzen Branchen, wie z. B. Herstellern klassischer Handys oder von Fotografieprodukten. Die mit den Smartphones neu etablierten Begriffe wie *App* und *App-Store* sind inzwischen nicht mehr wegzudenken. Als plakatives Beispiel für die Disruption wurde oft der Vergleich zweier Fotos herangezogen – dem vollen Petersplatz in Rom bei der Papstwahl 2005, noch ohne Tablets, und bei der Papstwahl 2013, bei der fast jede Person ein Tablet in der Hand hält, um das Ereignis zu fotografieren (siebenmac, 2013).

Die Verbreitung digitaler Medien in nahezu allen Bereichen der Gesellschaft führte auch zur ständig steigenden Anschaffung digitaler Medien im Bildungsbereich². Während einige davon ausgingen, dass die digitale Transformation in Schulen alleine durch die Ausstattung mit einer begrenzten Zahl von Hardware gelingen würde, artikulierten Lehrkräfte gegenüber der Fachdidaktik bereits zu frühen Zeitpunkten ihre Praxisprobleme beim fachspezifischen Einsatz der neuen Technologien. Sie forderten neben einer flächendeckenden Ausstattung mit digitalen Medien in jedem Unterrichtsraum, die es ermöglicht, zuverlässig auf entsprechende Geräte zuzugreifen, vor allem fachbezogene didaktische Konzepte und Software für den adäquaten Einsatz der neuen Mediengeneration im Unterricht (z. B. Aulenbacher (2011)).

Daneben wurde in der Zusammenarbeit von Schulen und Universität beobachtet, dass in der Unterrichtspraxis die Möglichkeiten zum Experimentieren im Fach Physik in den vergangenen Jahrzehnten zurückgegangen sind. Die Gründe dafür sind vielfältig; zu nennen sind z. B. steigende Anforderungen an Lehrkräfte, zunehmende rechtliche Einschränkungen oder der Zustand von Experimentiermaterialien. Deutlich zu beobachten war diese Tatsache z. B. beim Themengebiet Radioaktivität

²Zeitreihen mit Werten zur Ausstattung von Schulen sind für diesen umfangreichen Zeitraum nicht verfügbar.

durch eine Verschärfung der rechtlichen Vorgaben und die gestiegene Skepsis nach dem deutschen Atomausstieg von 2011 als Reaktion auf die Reaktorkatastrophe in Fukushima (Japan).

In der vorliegenden Arbeit wird ausgehend von zwei Praxisproblemen –

(1.) der Erwartung der Lehrerinnen und Lehrer nach adäquaten fachspezifischen Konzepten für den Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht und

(2.) den zunehmenden Einschränkungen beim Experimentieren – ein Konzept zur besonders realitätsnahen Simulation ausgewählter naturwissenschaftlicher Experimente zum Einsatz in der Lehre entwickelt, das die Vorteile der neuen Medien-generation (Tablets, Smartphones und Touch-Bildschirme) nutzt. Hierzu werden die Prinzipien des Forschungsansatzes Design-based Research, der fachdidaktischen Entwicklungsforschung, angewendet.

Die Konzeption der *Virtual-Reality-Experimente* basiert auf aktuellen Ergebnissen der Lehr- und Lernforschung und berücksichtigt moderne Entwicklungen im Bereich der Hardware und des Softwaredesigns. Zwei Experimente – der *Millikan-Versuch* und der *Cäsium-Barium-Isotopengenerator* – wurden als erste Prototypen implementiert und evaluiert und lieferten so Erkenntnisse für die Definition des Gesamtkonzepts. Dementsprechend wird in der vorliegenden Arbeit für diese beiden Versuche die physikalische und physikdidaktische Einordnung vorgenommen, die Umsetzung als Virtual-Reality-Experiment eruiert und ihre didaktische Konzeption beschrieben. Zwischenzeitlich wurden bereits einige weitere Virtual-Reality-Experimente umgesetzt. Abbildung 1.2 zeigt eine Auswahl von vier realisierten Versuchen mit dem Millikan-Versuch, dem Cäsium-Barium-Isotopengenerator, der Simulation eines Röntgengeräts mit Experimenten zur Röntgenspektroskopie sowie dem Rutherford'schen Streuversuch.

Für die Evaluation des Konzepts wurde eine Vergleichsstudie zwischen einem Realversuch und einem Virtual-Reality-Experiment durchgeführt. Nach der Begründung zur Auswahl des Millikan-Versuchs für diesen Vergleich werden die Planung, Durchführung und Auswertung der Studie dargestellt. Diese geht – dem gegenwärtigen Stand der Forschung entsprechend – der Fragestellung nach, welche Lerner-

gebnisse mit Virtual-Reality-Experimenten in den Bereichen Fachkompetenz und experimentelle Kompetenz erzielt werden können.

Das Konzept der Virtual-Reality-Experimente wurde bereits vor der Corona-Pandemie in vielen Schulen und Hochschulen genutzt und konnte sich auch während der Phasen des Fernunterrichts bewähren. Mit den Schulschließungen war das Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht plötzlich überhaupt nicht mehr möglich und die bereits etablierten Konzepte zum Experimentieren mit Unterstützung digitaler Medien – Interaktive Bildschirmexperimente, ferngesteuerte Realexperimente, Experimentieren mit Smartphones, Virtual-Reality-Experimente und andere Simulationen – boten einige gerne genutzte Alternativen.

Mit Virtual-Reality-Experimenten demonstrierten Lehrkräfte entweder physikalische Versuche über Webkonferenzsysteme, oder sie boten ihren Schülerinnen und Schülern den kostenlosen Download auf deren eigene Geräte an, sodass jede und jeder selbstständig mit derselben Software experimentieren konnte. Dabei haben sich die Vorteile des Konzepts, insbesondere die realitätsnahe Simulation, die umfangreichen Interaktions- und Einsatzmöglichkeiten sowie die Kompatibilität mit diversen Plattformen und Endgeräten, bewährt. Mit Beginn der Schulschließungen wurde ein weiterer virtueller Versuch, der Rutherford'sche Streuversuch, kostenlos für die nichtkommerzielle Nutzung in Bildungseinrichtungen bereitgestellt.

Die Grundzüge des Konzepts wurden bereits während der Entwicklung präsentiert und veröffentlicht in Lindlahr (2014); Lindlahr u. Wendt (2016); Friege u. a. (2019), jeweils mit maßgeblicher Beteiligung des Autors der vorliegenden Arbeit.

Die Entwicklung des Konzepts sowie die Entstehung dieser Arbeit wurden unterstützt durch ein Promotionsstipendium der Carl-Zeiss-Stiftung, durch die Freunde und Förderer der Johannes Gutenberg-Universität Mainz e. V., die Inneruniversitäre Forschungsförderung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz sowie den Fachverband für Strahlenschutz e. V.

Die entwickelten Virtual-Reality-Experimente stehen Schulen, Hochschulen und anderen nicht-kommerziellen Bildungseinrichtungen zum kostenlosen Download auf der Webseite <https://www.vre.uni-mainz.de> zur Verfügung.