

# Hilft uns Augmented Reality beim Physik-Lernen?



Dr. Christoph  
Stolzenberger

Lehrstuhl für Physik und  
ihre Didaktik  
Universität Würzburg

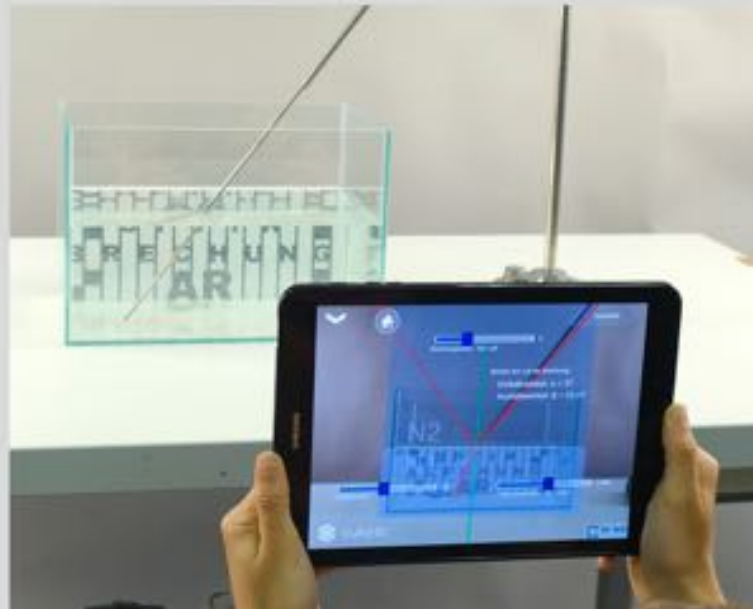


1) Was ist AR?

2) Anwendungen

3) Er

## Hilft uns Augmented Reality beim Physik-Lernen?



Dr. Christoph  
Stolzenberger

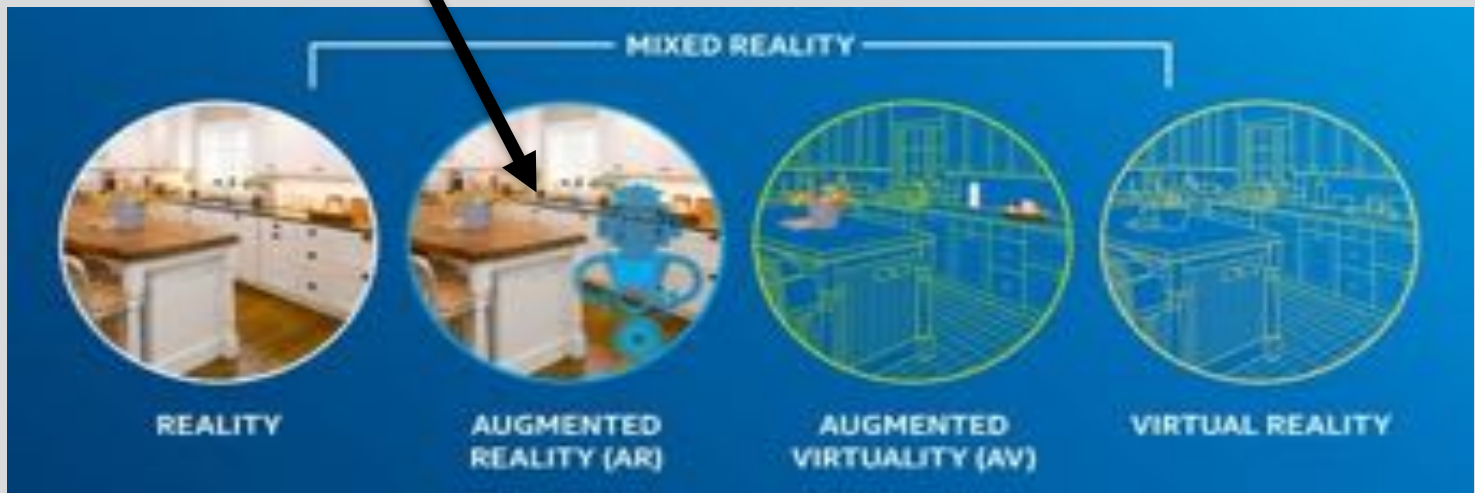
Lehrstuhl für Physik  
und ihre Didaktik  
Universität Würzburg

Beispiele  
in der  
Didaktik, Lehre

## Mögliche Definition

Unter **erweiterter Realität** (engl. Augmented Reality) versteht man die Anreicherung der Realität durch computergenerierte Informationen.

*nach Milgram und Kishino (1994)*



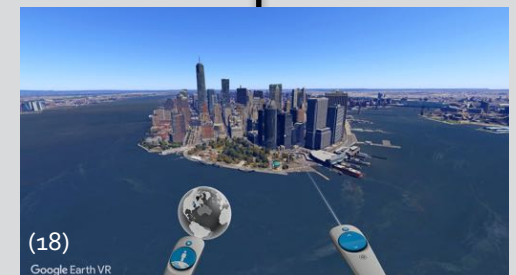
1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

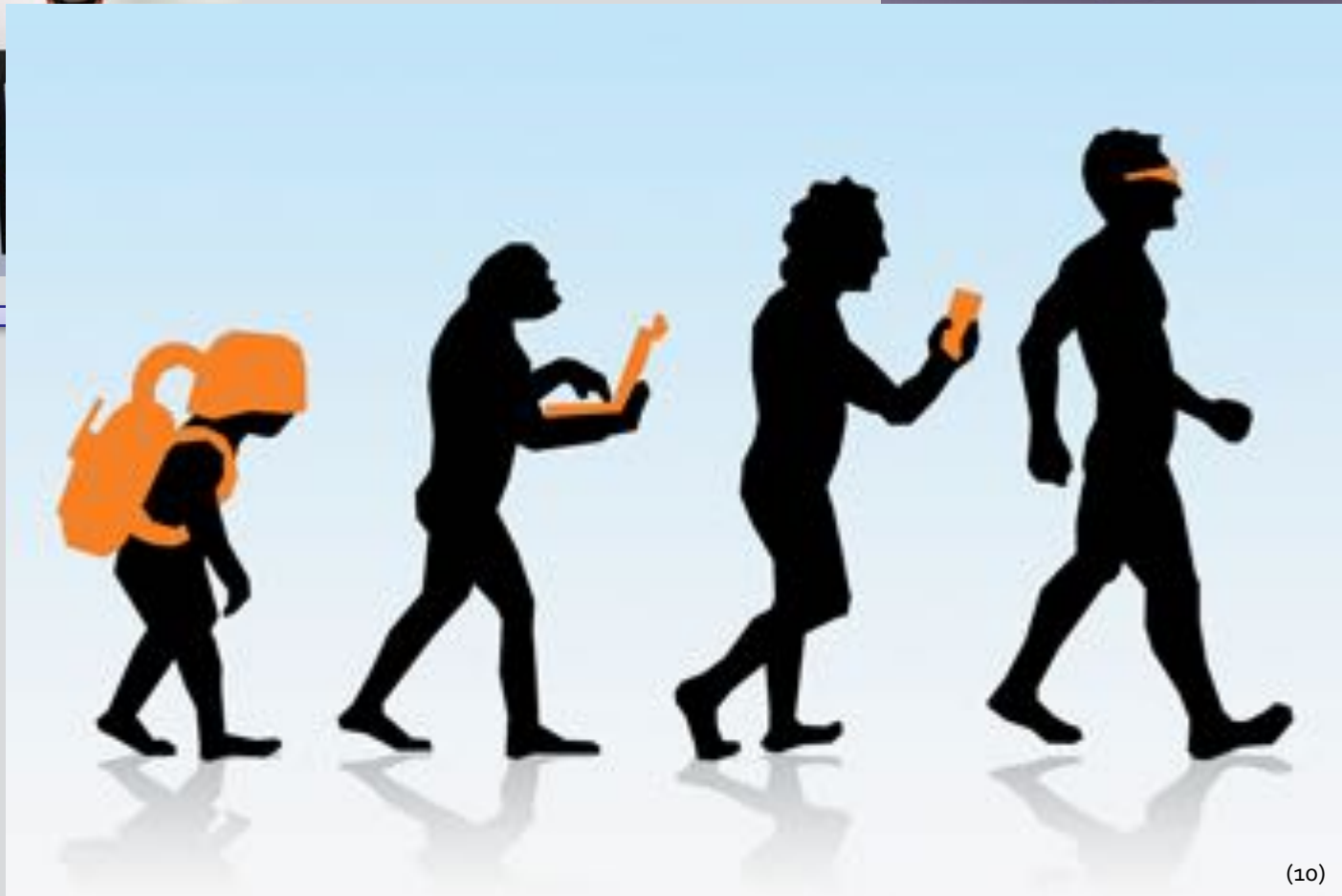
3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



# Zeitliche Entwicklung



(3)

t

(10)

1)  
Was ist AR?

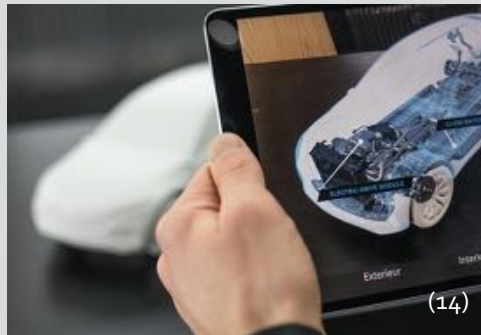
2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

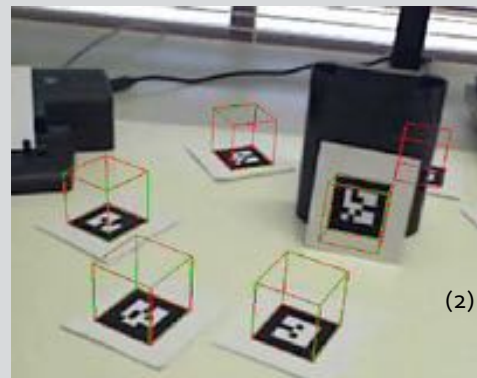
4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

## Genauere Überlagerung mit der Realität



## Interaktion mit realen und virtuellen Gegenständen



## Trackingverfahren (ImageTarget, ObjectTarget, GPS Koordinaten)

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

# Anwendungen von AR



Architektur und Design



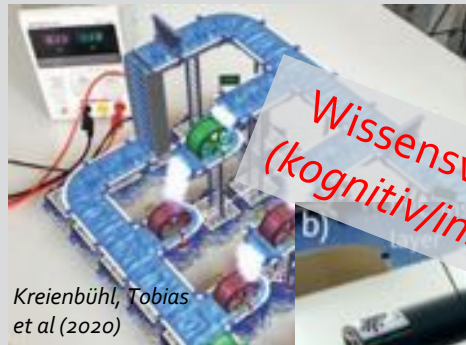
Remote Assistance



Wissensvermittlung  
(prozedural)



Wissensvermittlung  
(informell)



Wissensvermittlung  
(kognitiv/institutionell)

Kreienbühl, Tobias et al (2020)



- 1) Was ist AR?
- 2) Anwendungen
- 3) Warum AR?
- 4) AR in der Physik
- 5) Beispiele

# Warum **Technologie**-Einsatz?

*Hillmayr, D. et al (2020)*

Meta-Studie (2020) zum Einsatz digitaler Werkzeuge (92 Primärstudien) im Science-/Mathematik-Unterricht weiterführenden Schulen:

“The resulting overall effect of digital tool use on student learning outcomes and attitudes toward the taught subject was significantly positive.”

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



# Warum **AR** im Bildungsumfeld?

## Meta-Studien:

*Bacca J et al (2014)*

*Ibáñez, M. & Delgado-Kloos, C. (2018)*

*Radu, I. (2014)*

*Garzón J et al (2019)*

- + Lernfortschritt
- + Zusammenarbeit in Gruppen
- + Motivation
- + Verständnis abstrakter Konzepte
- + Entwicklung räumliches Vorstellungsvermögen
- + ...

- Zusätzliche kognitive Belastung
- Wenig intuitive Nutzeroberflächen
- Fehlende digitale Kompetenzen bei Lernenden
- Technische Probleme



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

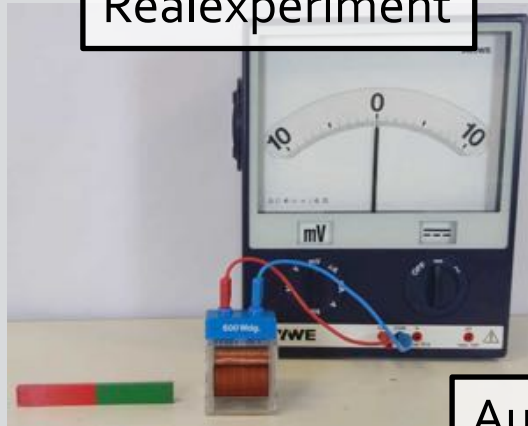


# Vorteile für Vermittlung von Physik

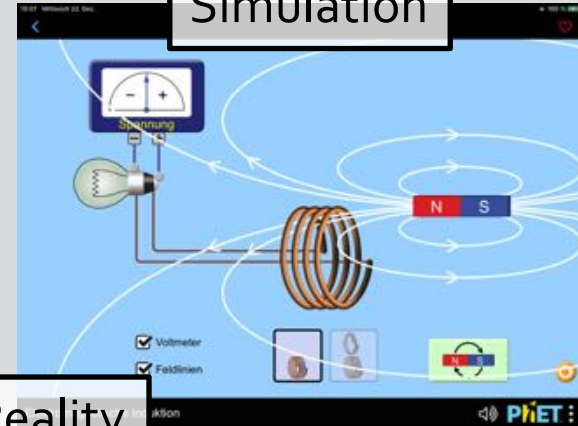
- Möglichkeit der Visualisierung von **zeitabhängigen** oder **dreidimensionalen** Bewegungen

*Vgl. Price S. & Rogers (2004)*

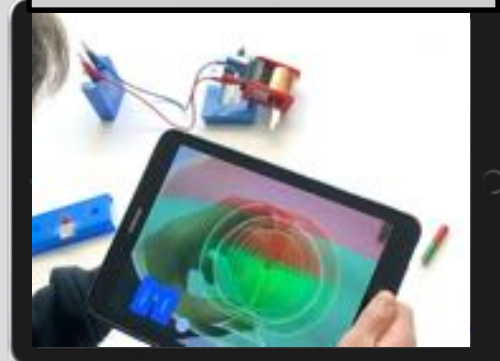
Realexperiment



Simulation



Augmented Reality



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

# Vorteile für Vermittlung von Physik

- Möglichkeit der Visualisierung von **zeitabhängigen** oder **dreidimensionalen** Bewegungen
- Möglichkeit für die Lernenden der aktiven Interaktion gepaart mit einem **instantanen** (digitalen) **Feedback**

*Vgl. Price S. & Rogers (2004)*



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

# Vorteile für Vermittlung von Physik

- Möglichkeit der Visualisierung von **zeitabhängigen** oder **dreidimensionalen** Bewegungen
- Möglichkeit für die Lernenden der aktiven Interaktion gepaart mit einem **instantanen** (digitalen) **Feedback**
- 2-stufiger Prozess **Theorie & Experiment**  
→ AR kann beide Teile zusammenführen

Vgl. Price S. & Rogers (2004)

Modell

Augmented Reality

Experiment

Förderband-Modell  
 3 Förderband-Modell  
 Modell  
 gän-  
 gän-

**Parallelschaltung**  
 tieren die  
 lerschaltung in Bild 02 ebenso ausstrichen.

PID  
 AR  
 schaltung  
 $R_1$   
 $R_2$   
 er, drei technische  
 $\Omega$ ), Leitungen  
 Widerständen eine  
 ltbild auf.  
 er Zuleitung sowie  
 en beiden Zweigen.  
 $U_0$  sowie die Span-  
 nd  $R_1$  bzw.  $U_{CD} = U_2$

uforia  
 MEKELUNSEY  
 MADE IN GERMANY

Auftrag: Erstelle ein Versuchsprotokoll. Berechne dabei jeweils auch den Gesamtwiderstand.

1) Was ist AR?

2) Anwendungen

3) Warum AR?

4) AR in der Physik

5) Beispiele

- Vorhandene Apps häufig nur Beispiel-Charakter
- Fehlen von Lehrmaterialien und Unterrichtsreihen mit AR-Unterstützung (und deren Evaluation)

## AR-Apps als

1. Unterstützung von Real-Experimenten
2. Heimexperimente mit minimalem Materialaufwand



*Spannungslabor  
/ Magnetlabor*



*InduktionAR*

1)  
Was ist AR?

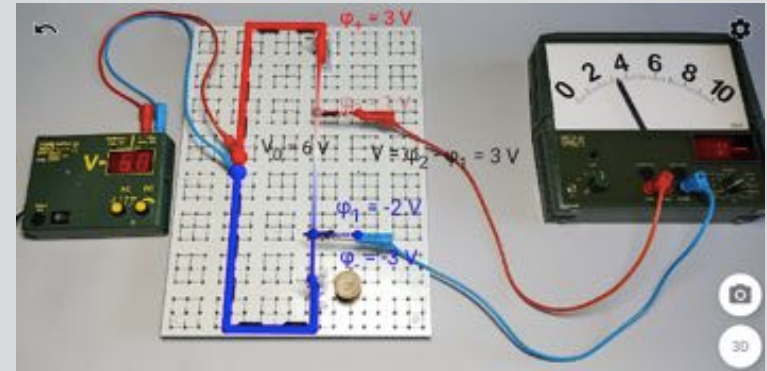
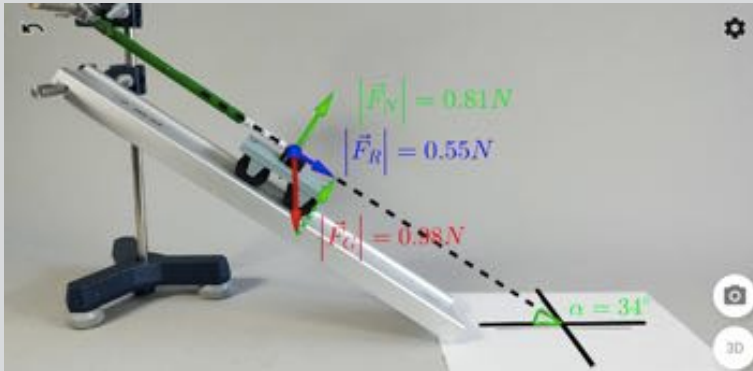
2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

# Augmentierte Realexperimente: Bsp aus der Physik



Teichrow A., Erb, R. (2020)

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

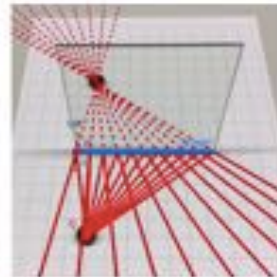
3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



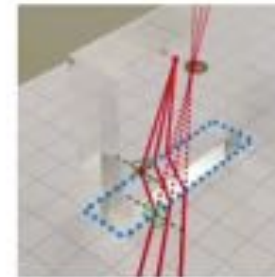
Reflexionsgesetz



Spiegelbild



Brechungsgesetz



Optische Verschiebung

GeoGebra



With Augmented Reality

Die Kombination aus klassischem Versuch und Modell mit AR wurde von den Schüler\*Innen nicht nur als besser verständlich sondern auch als sehr motivierend beschrieben. Wir wollen daher auch in Zukunft AR im Physikunterricht einsetzen.

Analogy	Simulation Properties
Bicycle chain	Chain speed based on current
Water pipes	Water particles speed based on current Wheel speed for source and light bulbs based on power
Waterfall	Water speed based on current Waterfall particle amount based on current Height difference based on voltage Wheel speed based on power



Figure 2: Bicycle chain analogy.

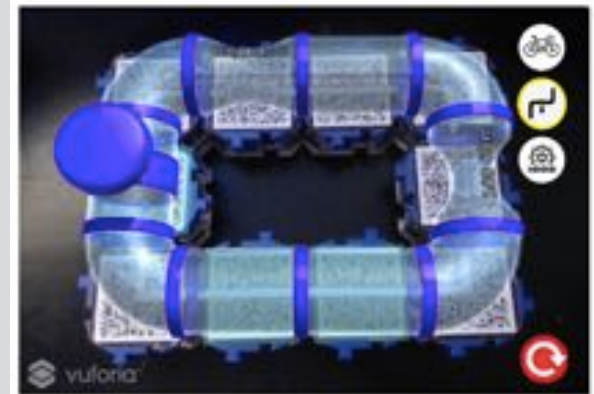
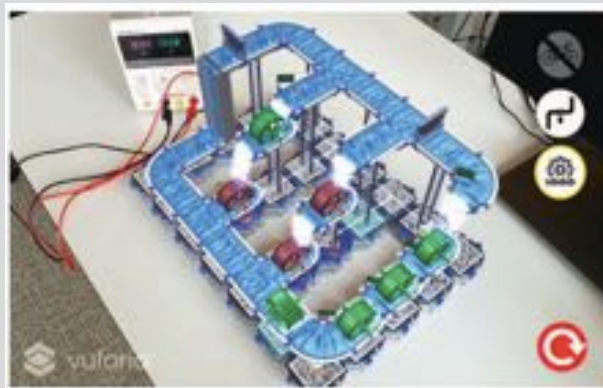


Figure 3: Water pipe analogy.



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

GEFÖRDEBT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



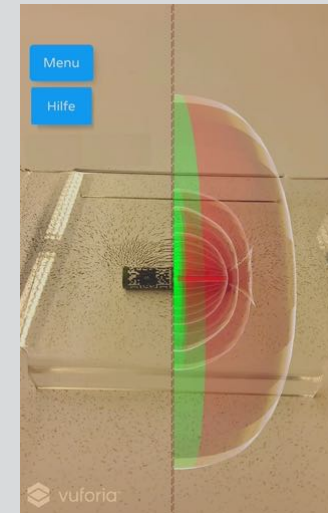
## E-Lehre



Frank F., Stolzenberger, C et al (2021)  
AVRIL Wettbewerbsbeitrag



## Magnetismus



Deutsche Telekom Stiftung



## Optik



+ 3 Dissertationsvorhaben

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

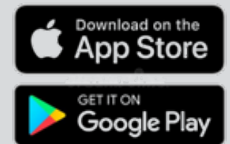
4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



Stolzenberger C. et al (2022)  
Physics Education

- AR-App zur Einblendung des Elektronengasmodells / Höhenmodells über beliebige, einfache Stromkreise
- Bauteile: Spannungsquelle, ohmsche Widerstände, Glühlampen, Kurzschlussstecker, Schalter



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele





Lehrplan Bayern E-Lehre ab 7. Klasse  
(Gymnasium / Realschule / Mittelschule)



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

→ Elementarisierung

→ didaktische Reduktion



	Münchener Stäbchenmodell (► Abschn. 8.5)	Frankfurter Elektronengasmodell (► Abschn. 8.6)
<b>vorherrschende Analogie</b>	Stäbchenmodell	Fahrradkette und Luftströmungen
<b>Einstiegsthema</b>	Stromstärke	Potenzial
<b>zentrale Größe</b>	Stromstärke und Potenzial	Potenzial
<b>Bedeutung des Potenzials</b>	das Potenzial wird zur Behandlung der Spannung ge- braucht	das Potenzial ist Ausgangspunkt des Unterrichts

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

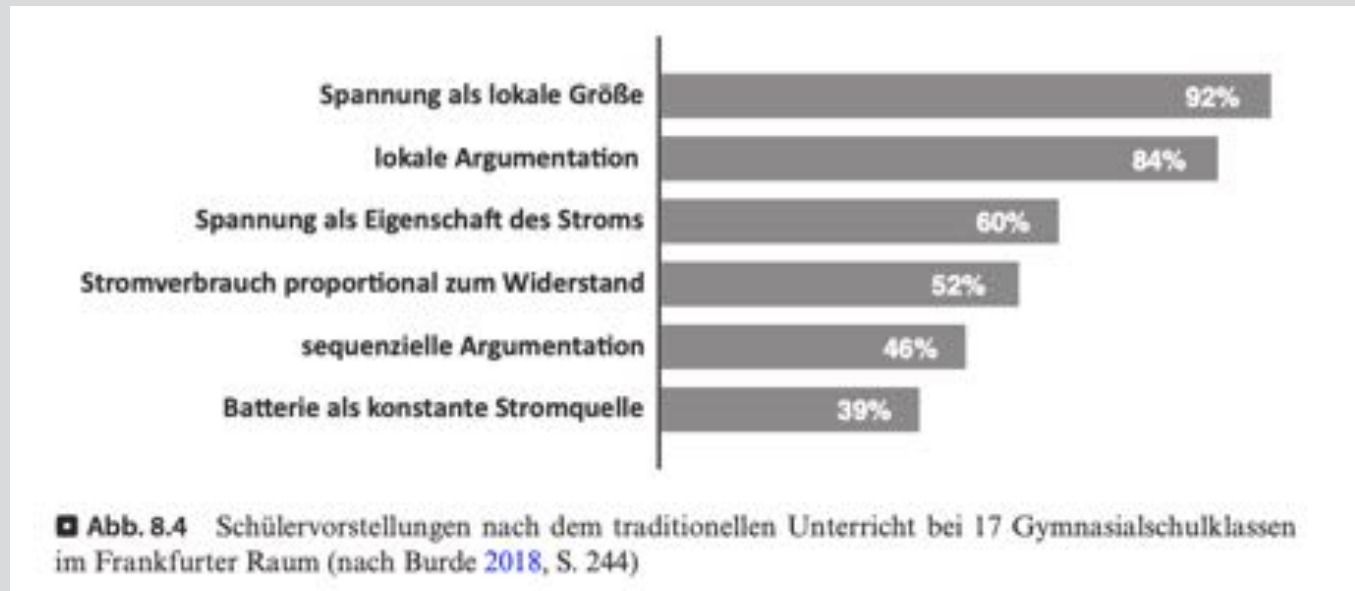
4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

Strom und Spannung als Ausgangspunkte der „traditionellen“ Elektrizitätslehre wurden nicht didaktisch begründet eingeführt !

*Burde, J-P. et al (2021)*

Vorherrschende problematische Schüler-  
vorstellungen:



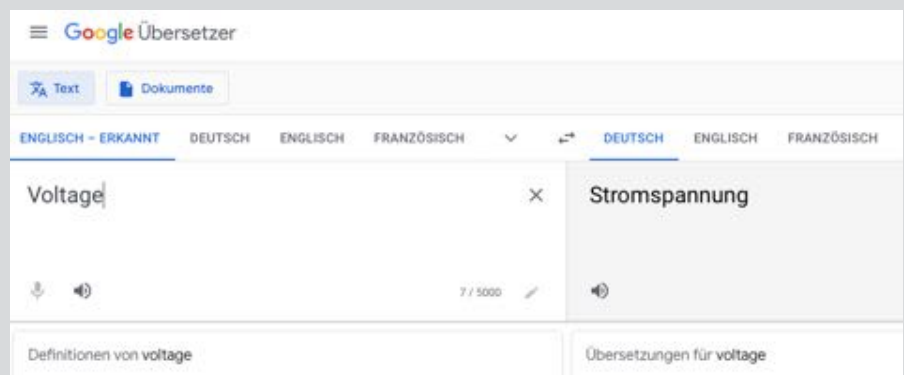
1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



Google Übersetzer

Text | Dokumente

ENGLISCH - ERKANNT | DEUTSCH | ENGLISCH | FRANZÖSISCH | DEUTSCH | ENGLISCH | FRANZÖSISCH

Voltage | × | Stromspannung

7 / 5000

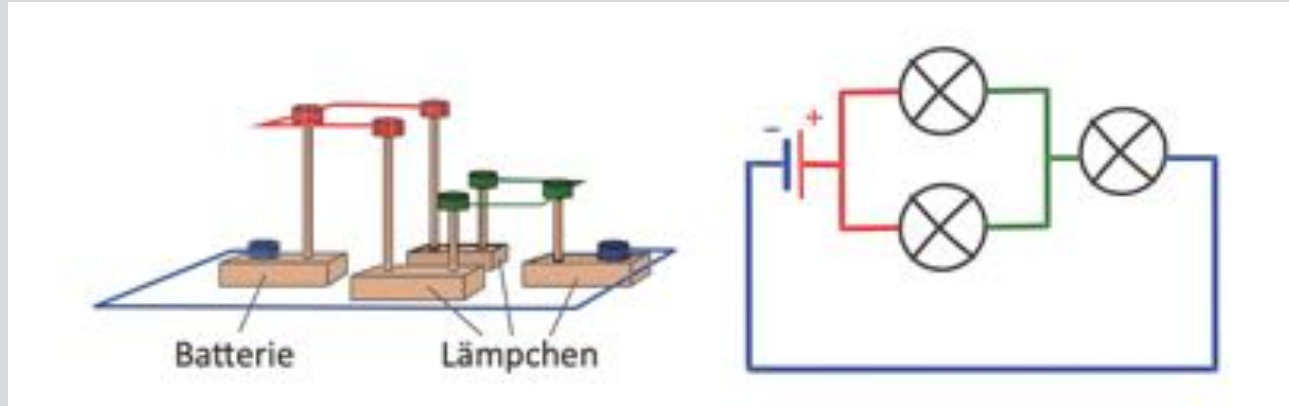
Definitionen von voltage | Übersetzungen für voltage

*Translate.google.de  
(aufgerufen am 15.06.22)*

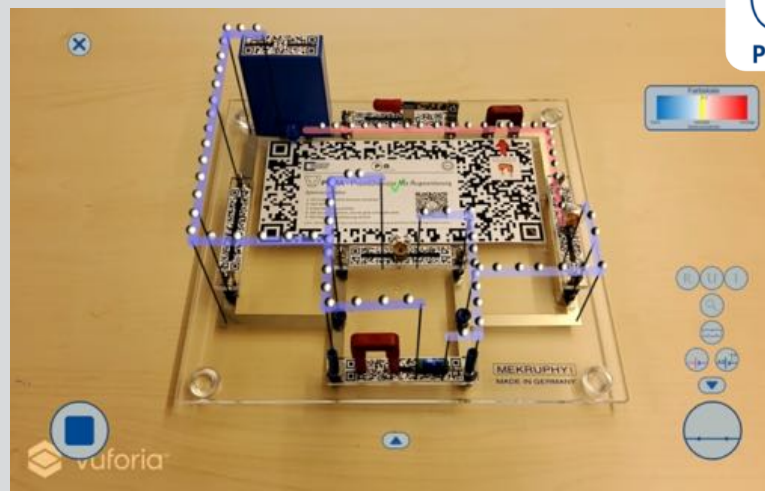
# Stäbchenmodell (Höhenmodell)



Vgl. Burde, J-P.. et al (2021)



Verschiedene Potentialwerte in einem Stromkreis werden anhand von Stäbchen mit unterschiedlichen Stäbchenhöhen visualisiert.



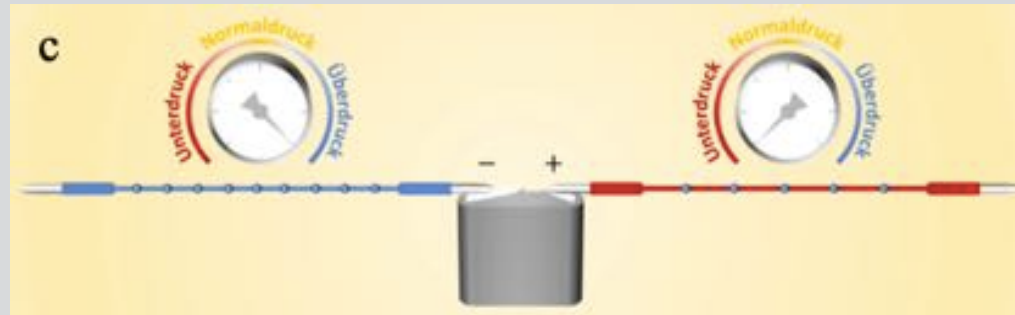
1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



Burde, J.-P. (2018)  
Lutz W. et al (2020)

- Elektronengasmodell führt über "elektrischen Druck" (vgl. Luftdruck) das Potential als Primärkonzept zur Analyse von Stromkreisen ein
- Spannung ist im Modell der Elektronengas-Druckunterschied

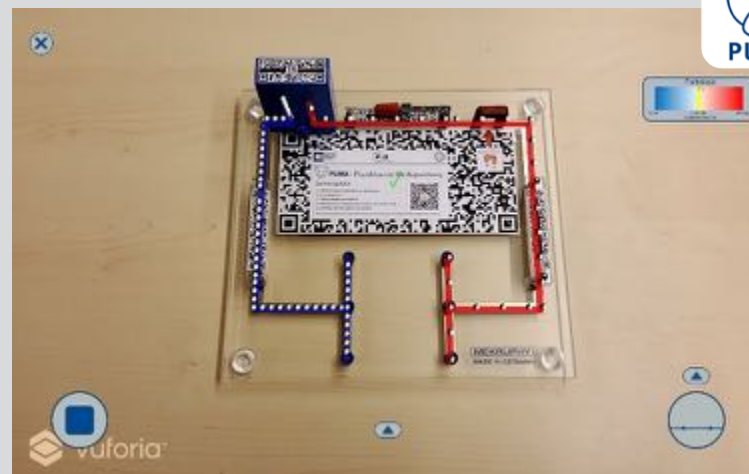
1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

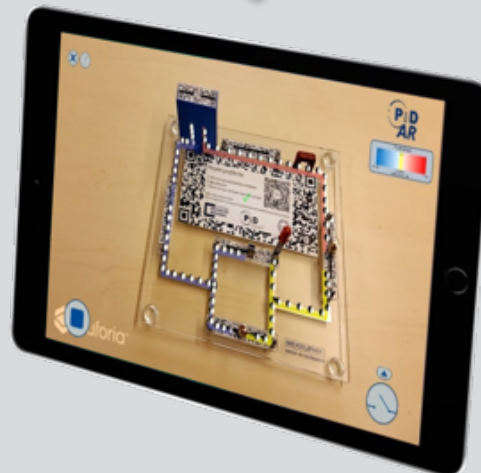
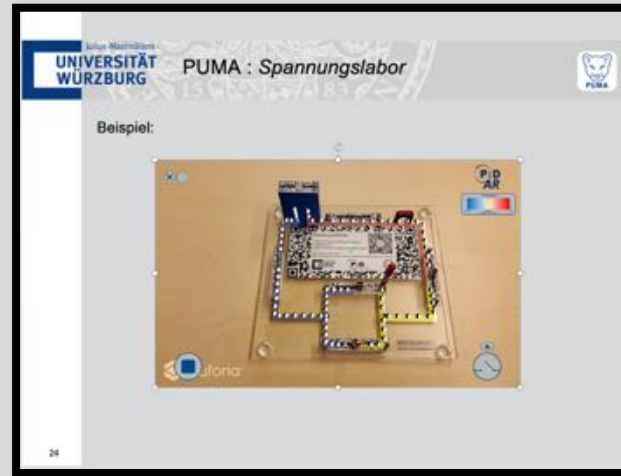
3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



Beispiel:



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

## Studie zur Wirksamkeit der App

Frank F., Stolzenberger, C. et al (2021 eingereicht)  
GDCP-Tagungsband

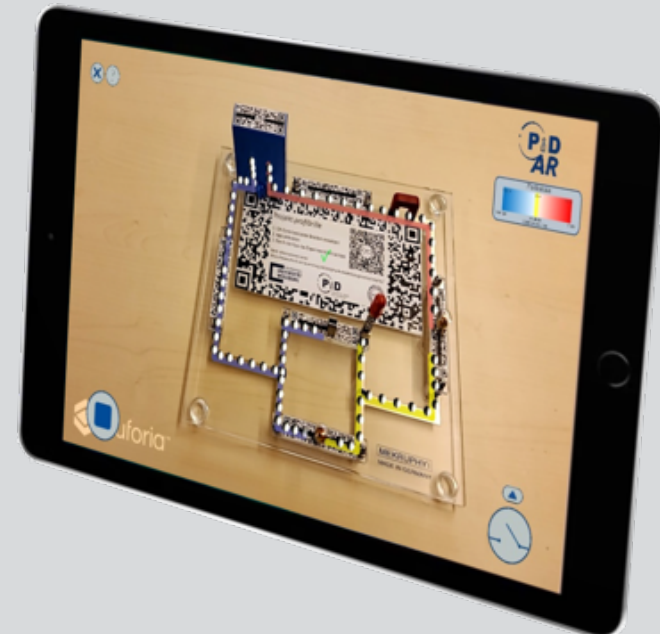
- Interviews mit Schüler/innen & Lehrkräften zu App-Inhalten und Bedienung (über Promotionsvorhaben & schriftliche Hausarbeit)

„Schüler sehen selten so das System, das Ganze, das ist [...] das Problem, aber man kann das auf diese Weise [...] unterstützen [...], damit ist ja schon viel gewonnen.“

Lehrkraft

„[...] besser als das Fließbandmodell!“

Schüler



- Einsatz in 8. Klasse Gymnasium / Realschule / Lehr-Lern-Labor

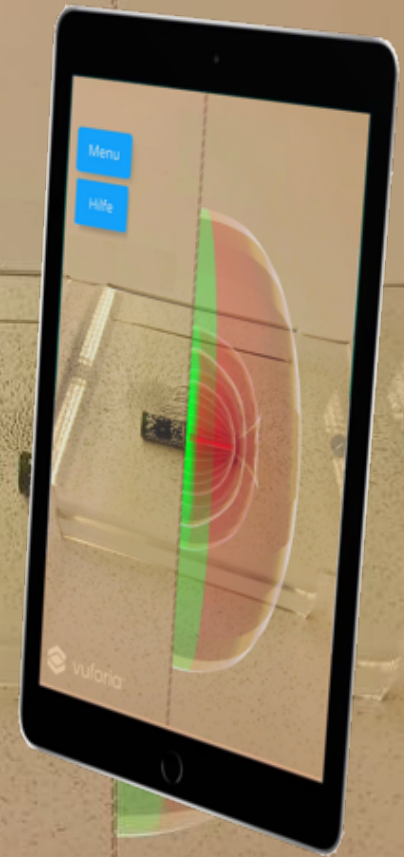
1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele





- Virtueller Nachbau kostspieliger / aufwändiger Versuchsaufbauten



*Lhotzky, J. et al (2020)*

- Virtueller Nachbau von Systemen, welche nicht real nachgebaut werden können



(12)

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

## Augmentierte Schulbücher / Plakate

- Jedes Bild im Schulbuch / auf dem Plakat kann als Tracker verwendet werden
- Überblendung von Animationen, Simulationen ...



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



## Versuche und Materialien zu Kapitel 3.1

### M1 Einstieg: Kabelloses Laden

Es gibt eine Reihe von mobilen Endgeräten, die sich kabellos laden lassen. Dabei wird über magnetische Wechselfelder Energie übertragen. Der bekannteste technische Standard ist „Qi“ (ausgesprochen [tʃi], chinesisch für „Lebensenergie“). Das Laden funktioniert allerdings nur über sehr kurze Distanzen.



### Arbeitsauftrag

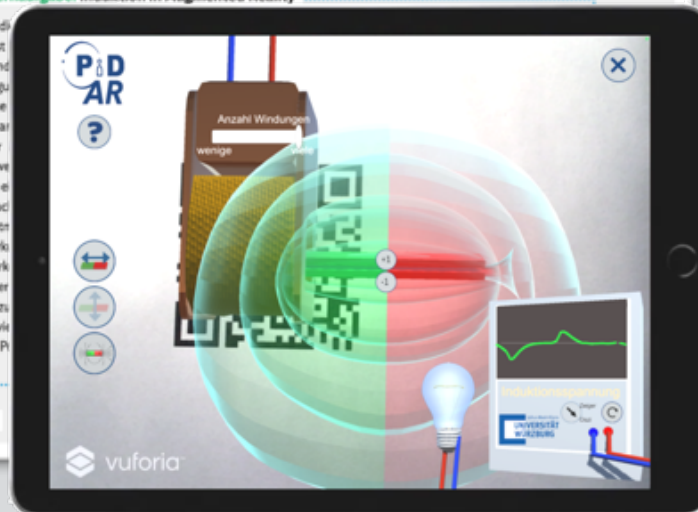
- Recherchiere technische Details zum kabellosen Laden.
- Sammele Vor- und Nachteile der kabellosen Ladungstechnologie. Überlege dir sinnvoll erscheinende Einsatzmöglichkeiten.
- Überschlage die Ladedauer eines Fahrradakkus von 625 Wh Ladekapazität, wenn man ihn mit einem Qi-Ladegerät von 10 W Ladeleistung laden wollte.

## Versuche und Materialien zu Kapitel 3.2

### M2 Lernaufgabe: Induktion in Augmented Reality

In die...  
lässt...  
wand...  
wegu...  
sche...  
verat...  
Der...  
bewe...  
zu e...  
Leuc...  
Volt...  
Wirk...  
Stärk...  
Über...  
du zu...  
sowie...  
P...

28



*Buchner Verlag (Freigabe durch  
Ministerium noch ausstehend)*

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

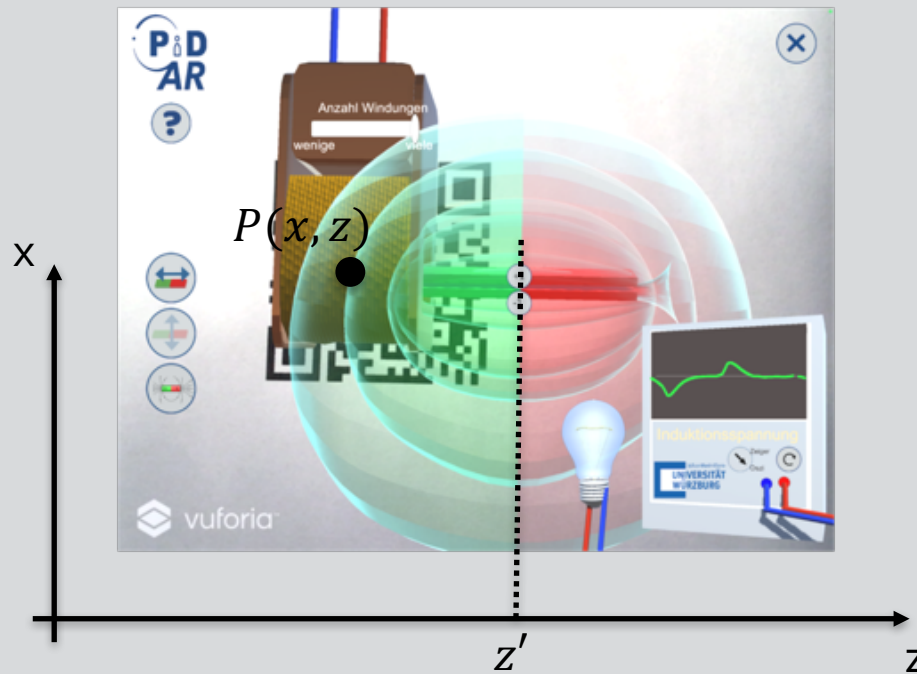
3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

# Induktions-App

$$\vec{B}(x, z, z') \sim \frac{1}{(x^2 + (z - z')^2)^{\frac{5}{2}}} (3 \cdot x \cdot (z - z') \cdot \vec{e}_x + (2 \cdot (z - z')^2 - x^2) \cdot \vec{e}_z)$$



Berechnung der Induktionsspannung:

$$U_{ind} \sim \frac{B_{t1} - B_{t0}}{\Delta t}$$

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

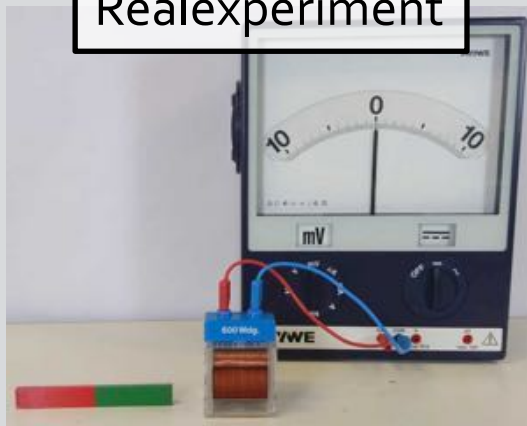
4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

Studie zur Wirksamkeit der App (über schriftliche Hausarbeit)

- Einsatz 10. Klasse Realschule
- App vs. Realexperiment

Realexperiment



Augmented Reality



- Untersuchung: Motivation, Lernerfolg bzw. Präkonzepte

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

„(...) fehlen auch Lehrende die um das Potential dieser Technologien wissen und ausgebildet sind, sie in ihrer Lehre einzusetzen“

*Bacca J. et al (2014)*

The logo for WGEDIVE, featuring the word "WGEDIVE" in a bold, blue, sans-serif font. The letter "E" is stylized with a white outline and a blue fill, and a white curved line resembling a pair of glasses or a stylized 'G' is integrated into the top of the 'E'.

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele



## Seminar ARbeit

Lehrveranstaltung für Studierende des Elitestudiengangs MINT Lehramt+



*Inhaltlich und finanziell gefördert durch die Joachim Herz Stiftung im Rahmen einer Fellowship im Kolleg Didaktik: digital*

1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

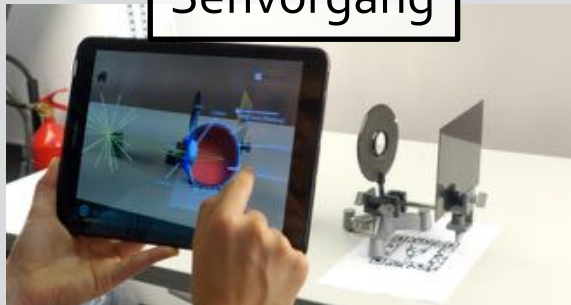
5)  
Beispiele

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>Theorie:</b> Medien- pädagogische Kompetenz	<b>Unity Elemente</b>  Einführung C# Skripte	<b>GUI &amp; Menüs</b> in Unity	<b>Entwicklung des</b> eigenen Projekts	<b>Entwicklung des</b> eigenen Projekts
<b>Mittagspause</b>				
<b>Digitale</b> Unterrichtsmedien  Einführung in Unity & Vuforia	<b>Konzeption &amp;</b> Entwicklung des eigenen Projekts	<b>Entwicklung des</b> eigenen Projekts	<b>Entwicklung des</b> eigenen Projekts	<b>Vorstellung der</b> Ergebnisse  <b>Feedback</b>



# Seminar ARbeit – ausgewählte Beispiele

Sehvorgang



Brechung



“Optik – Zirkel“

Mondphasen + Finsternisse



+ Test in der Schule



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

*Stolzenberger, C et al (2019)  
GDCP-Tagung*

*Stolzenberger, C. et al (2019)  
J. Phys.: Conf. Ser.*

## Hilft uns Augmented Reality beim Physik-Lernen?

- AR hat das Potential die Lehre von Physik überall dort zu verbessern, wo visuelle Modelle eine Rolle spielen
- Evaluation des Mehrwerts von AR in der Physik
  - Erstellen eigener Apps
  - Einsatz in der Schulpraxis
  - Ausbildung von Studierenden



1)  
Was ist AR?

2)  
Anwendungen

3)  
Warum AR?

4)  
AR in der Physik

5)  
Beispiele

## Bildquellen (aufgerufen am 23.01.22)

- (1) [https://www.arkeotekno.com/pg\\_305\\_application-of-augmented-reality-technologies-in-archaeology](https://www.arkeotekno.com/pg_305_application-of-augmented-reality-technologies-in-archaeology)
- (2) <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/videos/index.html>
- (3) <https://1e9.community/t/mit-mini-spiegeln-will-ein-deutsches-start-up-die-augmented-reality-revolution-ermoeglichen/9563>
- (4) <https://www.augmented-minds.com/de/erweiterte-realitaet/microsoft-hololens/>
- (5) BMW Group
- (6) [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-04/210330\\_lf\\_ar\\_vr.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-04/210330_lf_ar_vr.pdf)
- (7) Fraunhofer MEVIS /Fabian Bimmer
- (8) <https://stage2studios.com/education/pacific-science-center-augmented-reality/>
- (9) <https://www.youtube.com/watch?v=IKnpFLWbdQw>
- (10) <https://knowyourmeme.com/memes/cultures/augmented-reality>
- (11) <https://www.cloud-science.de/head-up-display/>
- (12) <https://www.derstandard.de/story/2000065463161/augmented-reality-sonnenfinsternis-auf-dem-smartphone>
- (13) <https://www.spectrumnews.org/news/augmented-reality-app-brings-research-images-to-life/>
- (14) [https://docs.visionlib.com/v2.2.0/vl\\_general\\_\\_a\\_r\\_background.html](https://docs.visionlib.com/v2.2.0/vl_general__a_r_background.html)
- (15) <https://blog.teufel.de/die-vr-brille-ein-neuer-trend-oder-die-zukunft/>
- (16) <https://www.instandhaltung.de/instandhaltung-4-o/augmented-reality-im-instandhaltungseinsatz-326.html>
- (17) [https://de.123rf.com/photo\\_71044424\\_bildung-technologie-und-online-trainingskonzept-schüler-mit-einem-laptop-verbinden-online-kurse-und-mit-e.html](https://de.123rf.com/photo_71044424_bildung-technologie-und-online-trainingskonzept-schüler-mit-einem-laptop-verbinden-online-kurse-und-mit-e.html)
- (18) <https://vr-room.ch/2016/11/21/mit-google-earth-vr-die-welt-entdecken/>

## Wissenschaftliche Quellen 1/2

- Bacca J et al (2014) *Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications* Educational Technology & Society 17 4 pp 133-49
- Burde, J-P, Wilhelm, T (2021) *Unterrichtskonzeptionen zu elektrischen Stromkreisen* In: Wilhelm, T, Schecker, H, Hopf, M (Hrsg) *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* Springer (S. 231-278)
- Frank, F., Stolzenberger, C., Trefzger, T. (2021 eingereicht) *Vorstellung einer qualitativen Studie zur Eignung einer AR-Applikation zur Unterstützung der Modellvorstellungsbildung in der E-Lehre* In: GDGP – Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2020
- Frank, F., Kreikenbohm, A., Schwanke, H., Stolzenberger, C., Wolf, N. & Trefzger, T., (2021). *Theorie begreifbar machen – Immersive Modellbildung im naturwissenschaftlichen Schulunterricht - Vorteile des Einsatzes von AR-Applikationen in der schulischen Elektrizitätslehre*. In: Söbke, H. & Weise, M. (Hrsg.), Wettbewerbsband AVRiL 2021. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 48-55). DOI: 10.18420/avril2021\_07
- Frank, F., Stolzenberger, C., Trefzger, T. (2021) *Augmented-Reality-Applikation zum Einsatz bei Schülerexperimenten im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I* PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
- Garzón, J. & Pavón, J. & Baldiris, S.. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. Virtual Reality. 23. 10.1007/s10055-019-00379-9.
- Girwidz, R., Hoyer C. (2021) *Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien – Leitlinien zum Lehren mit Multimedia*. In: Meßinger-Koppelt, J., Maxton-Küchenmeister, J. (Hrsg). *Naturwissenschaften digital – Toolbox für den Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz-Stiftung
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S., Reiss, K. (2020) *The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis* Computers & Education 153 103897
- Ibáñez, M. & Delgado-Kloos, C. (2018). *Augmented reality for STEM learning: A systematic review* Computers & Education, 123, 109–123.
- Kreienbühl, T.; Wetzel, R.; Burgess, N.; Schmid, Andrea M.; Brovelli, D.(2020) *AR Circuit Constructor: Combining Electricity Building Blocks and Augmented Reality for Analogy-Driven Learning and Experimentation*. In: 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). IEEE Publishing

## Wissenschaftliche Quellen 2/2

- Lutz, W., Burde, J.-P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2020). *Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell*. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Bonn 2020*, S. 333-341
- Martschinke, S. (1996) *Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen* Zeitschrift für Pädagogik **42** 2 215-232
- Price S. & Rogers (2004) *Let's get physical: The learning benefits of interacting in digitally augmented physical spaces* Computers & Education 43 pp 1-2
- Radu, I. (2014). *Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis* Personal and Ubiquitous Computing, 18 (6), 1533–1543
- Schwedes, H.; Dudeck, W.-G.; Seibel, C. (1995). *Elektrizitätslehre mit Wassermodellen*, Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 44 (1995) 2, S.28-36
- Strzys, M. P., Kapp, S., Thees, M., Klein, P., Lukowicz, P., Knierim, P., Schmidt, A. & Kuhn, J. (2018). *Physics holo.lab learning experience: Using smartglasses for augmented reality labwork to foster the concepts of heat conduction* European Journal of Physics, 39 (3), 035703
- Stolzenberger, C., Wolf, N., Kreikenbohm, A. & Trefzger, T. (2020). *Augmented Reality in der Lehramtsausbildung*. In: Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., & Thyssen, C. (Hrsg). *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Stolzenberger, C., Frank, F., Trefzger, T. (2021 eingereicht) *Experiments for students with built-in theory: "PUMA : Spannungslabor" – an augmented reality app for studying electricity* Physics Education
- Stolzenberger, C., Wolf, N & Trefzger, T. (2019). *Technology deployment in physics lessons: Understanding optics better with Augmented Reality*. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1929** 012037
- Stolzenberger, C., Wolf, N., Böhm, D. & Trefzger, T. (2019). *Augmented Reality in der Lehramtsausbildung*. In: C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018. (S. 584). Universität Regensburg
- Teichrew, A., Erb T. (2020) *How augmented reality enhances typical classroom experiments: examples from mechanics, electricity and optics* Phys. Educ. 55 065029

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !



Christoph Stolzenberger

[cstolzenberger@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:cstolzenberger@physik.uni-wuerzburg.de)