

# ***Virtual- und Augmented Reality in der Hochschullehre***

Jennifer Fromm & Sebastian Habig

E-Learning Netzwerktag ■ 28.03.2019

## Virtual Reality in der Hochschullehre

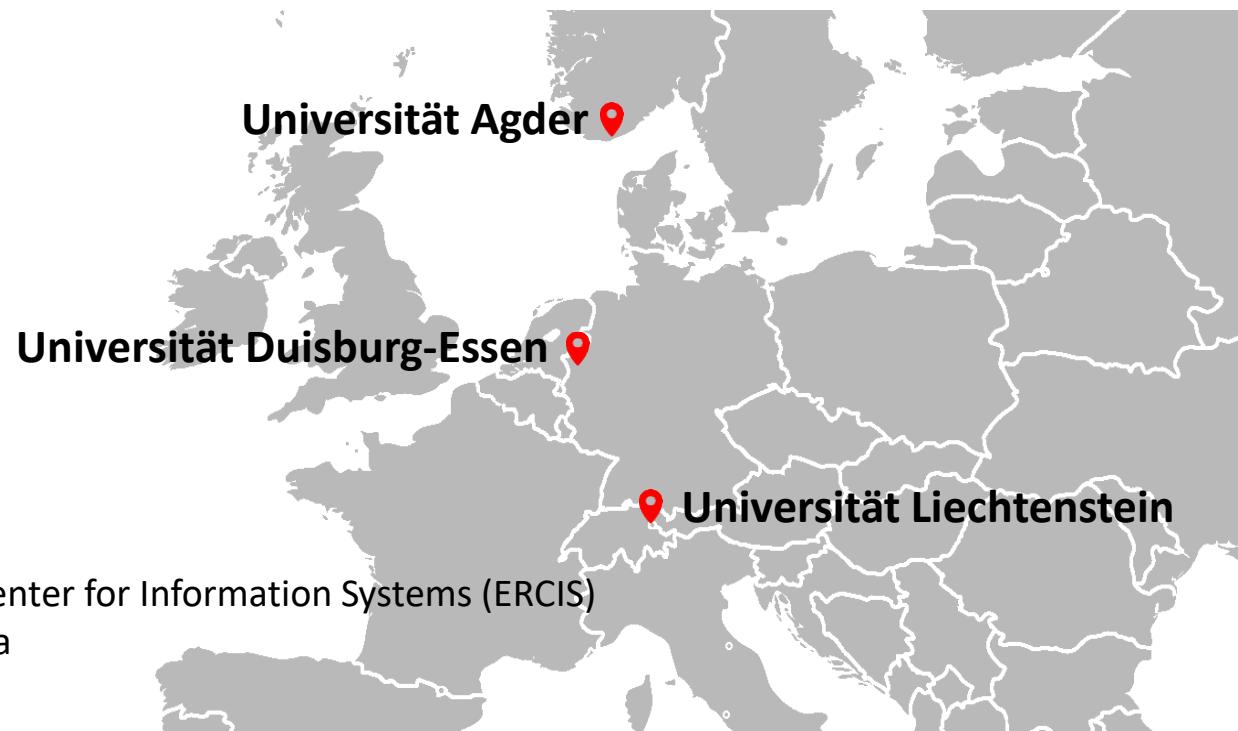
## Unterstützung fachspezifischen Lernens mit Augmented Reality

# Virtual Reality in der Hochschullehre

Anwendungsszenarios und Empfehlungen



# Projektpartner



## Assoziierte Partner

- European Research Center for Information Systems (ERCIS)
- University of Nebraska

# Projekt Motivation



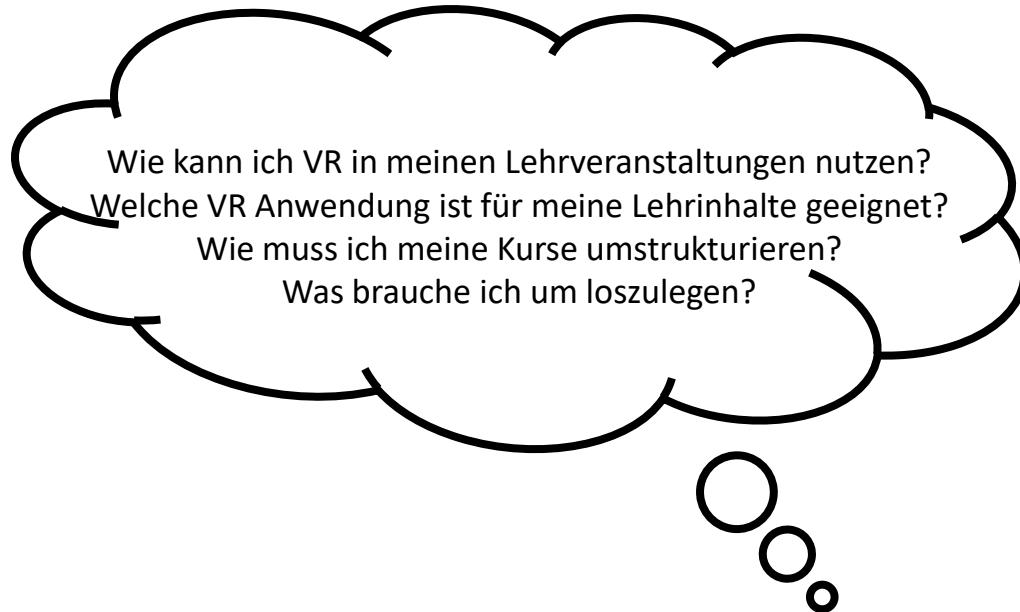
VR Fieldtrips



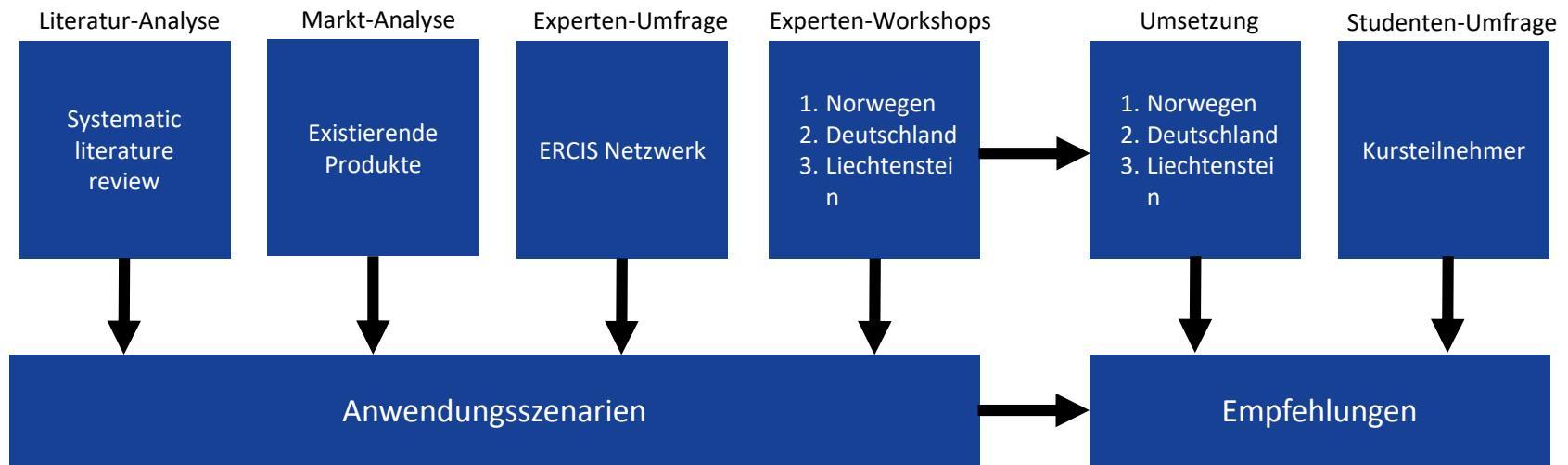
VR Anatomie



VR Design



# Projektplan



**Projektlaufzeit:** September 2018 - August 2020

# Systematic Literature Review - Suche

“virtual reality” OR VR

AND educat\* OR learn\* OR train\* OR teach\*

AND “higher education” OR university OR college

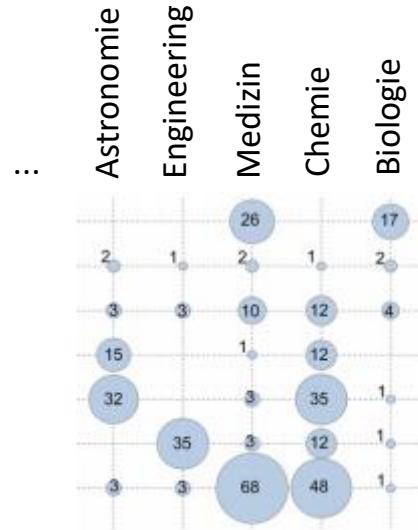
Datenbanken	Original	Semi-Automatisch	Duplikate	Abstracts
IEEE Explore	1.656	345	340	38
ProQuest	877	168	167	10
Scopus	574	60	54	30
Web of Science	112	17	12	5
AIS Digital Library	2	2	2	0
<b>Total</b>	<b>3221</b>	<b>592</b>	<b>575</b>	<b>83</b>

# Systematic Literature Review - Mapping

## Konzepte

- Anwendungsdomäne n
- Lerninhalte
- Design-Elemente
- VR Technologien

## Anwendungsdomänen



## Design-Elemente

- Einfache Interaktion mit Objekten
- Objekte zusammensetzen
- Interaktion mit Anderen
- Interaktion mit virtuellen Agenten
- Virtuelle Belohnungen
- Erstellen und Teilen neuer Inhalte
- Rollenmanagement

...

# Interviews an der UDE

## Forschungsfrage

Wie gut eignen sich Vorlesungen für die Umsetzung in Virtual Reality?

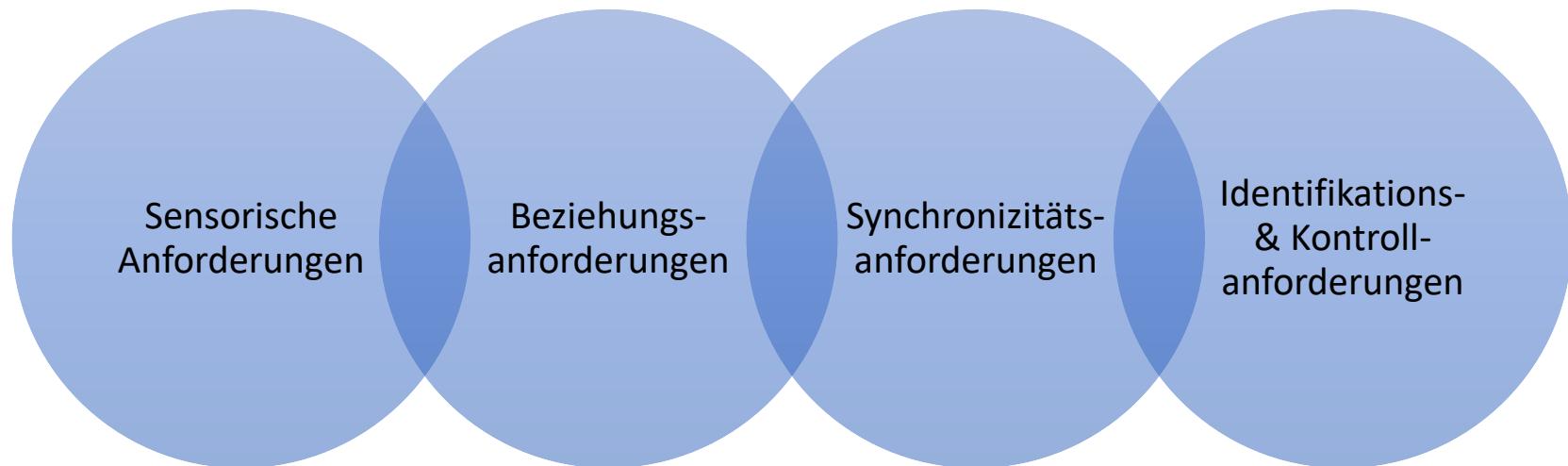
## Theoretischer Hintergrund

Process Virtualization Theory (Overby, 2008)

## 20 Interviewpartner

- 5 Dozenten aus dem Fachbereich Medizin & 5 Medizin-Studenten
- 5 Dozenten aus dem Fachbereich Psychologie & 5 Psychologie-Studenten

# Process Virtualization Theory



# EngageVR



# Sensorische Anforderungen

## Alle Befragten

- Visuelle Anforderungen (PowerPoint-Folien ansehen)
- Auditive Anforderungen (dem Dozenten zuhören)

## Nur im Fachbereich Medizin

- Haptische Anforderungen (Leichen präparieren, Prothesen anfassen)

# Beziehungsanforderungen

## Alle Befragten

- Mimik der Studenten (Aufmerksamkeit, Verständnisprobleme)
- Mimik der Dozenten (Wichtigkeit von Lerninhalten)
- Rückfragen stellen

## Nur im Fachbereich Medizin

- Mimik und Haltung von Patienten (Diagnosen stellen üben)

## Nur im Fachbereich Psychologie

- Vorlesung als Treffpunkt für Studenten

# Synchronizitätsanforderungen

## Alle Befragten

- Sofortige Antworten auf Rückfragen

## Alle Dozenten

- Sofortiges Feedback bei technischen Problemen (z.B. PowerPoint-Folien werden nicht angezeigt)

# Identifikations- und Kontrollanforderungen

## Alle Befragten

- Identität des Dozenten (Wichtigkeit der Inhalte, Sympathie)
- Autorisierte Vorlesung (Garantie, dass klausurrelevante Inhalte gelehrt werden)

## Nur Dozenten aus dem Fachbereich Medizin

- Eingeschränkter Zugriff auf Bild- und Videomaterial von Patienten (Privatsphäre)

# Prozessvirtualisierbarkeit

## Dozenten

- Nutzen von VR steht in keiner Relation zu Aufwand und Kosten
- Eher als Ergänzung zu bisherigen Vorlesungen oder für besseren Zugang zu Bildung

## Studenten

- Offener für VR-Vorlesungen
- Verständnis für den hohen Aufwand und die Kosten

## Anwendungsbereiche im Fachbereich Medizin

- Darstellung von komplexen anatomischen Strukturen und Operationsmethoden
- Entwicklung von Empathie für Menschen mit Behinderungen oder Übergewicht

## Anwendungsbereiche im Fachbereich Psychologie

- Durchführung von Experimenten mit virtuellen Versuchspersonen üben

# Diskussion

Wenn Sie an Ihre eigenen Lehrveranstaltungen denken...

1) Welche Anforderungen halten Sie für wichtig?

- 1) Sensorisch
- 2) Beziehung
- 3) Synchronizität
- 4) Identifikation & Kontrolle



2) Welche VR-Anwendungen können Sie sich vorstellen?

3) Denken Sie diese Anwendungen sind den Aufwand wert?

4) Welche Schritte wären an der UDE notwendig, damit Sie VR in Ihren Veranstaltungen nutzen würden?

# Design Thinking Workshop

**Ziel:** Entwicklung von Ideen für die Nutzung von VR an der UDE in fächerübergreifenden Teams

**Datum:** 18.06.2019

**Dauer:** ca. 3 Stunden

**Ort:** Campus Duisburg



*Open-Minded*



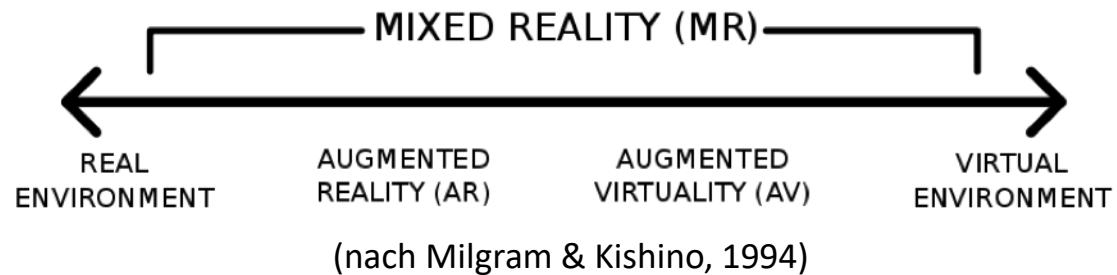
## ***Unterstützung fachspezifischen Lernens mit Augmented Reality***

Sebastian Habig ▀ Fakultät für Chemie



# Was ist Augmented Reality?

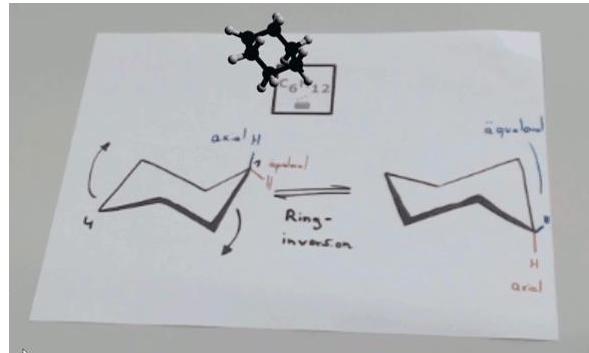
*Die Integration dreidimensionaler, virtueller  
Objekte in reale Umgebungen in Echtzeit  
(vgl. Azuma, 1997)*



# Was ist Augmented Reality?

Abbildung entfernt

Abbildung entfernt



Technische Spielerei oder  
eine didaktisch sinnvolle  
Erweiterung?

# Wo findet AR bereits Anwendung?

- **Industrie 4.0**

(z. B. Blanco-Novoa, 2018; Flohr et al., 2016 ; Juraschek et al., 2018; Pentenrieder et al, 2007; Regenbrecht, Baratoff, & Wilke, 2005; Reif, 2009)

- **Medizin**

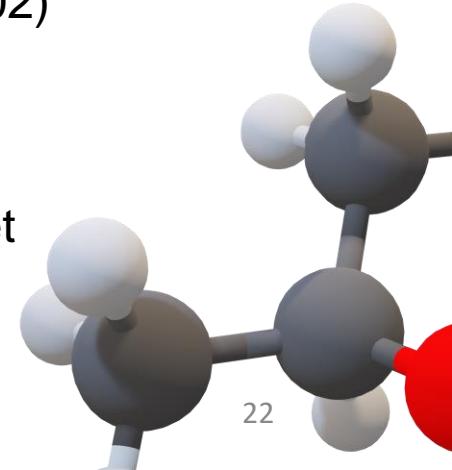
(z. B. Fuchs et al., 1998; Gan, Cohen, & Tan, 2018; Wacker et al., 2006; Wilhelm et al., 2018)

- **Unterhaltung**

(z. B. Cavallaro, 1997; Koh, Duh, & Gu, 2010; Matysczok, Radowski, & Berssenbruegge, 2004; Piekarski & Thomas, 2002)

- **Bildung**

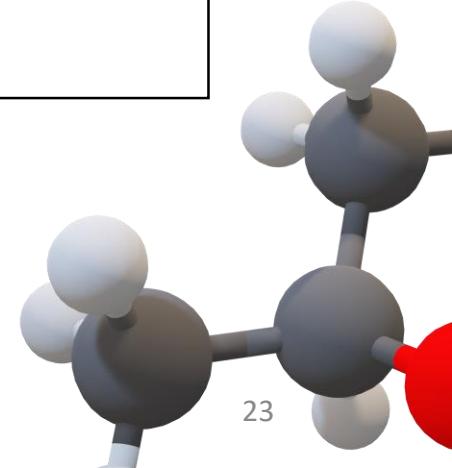
(z. B. Chang & Hwang, 2018; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Martin et al., 2011; Nielsen, Brandt, & Swensen, 2016; Reed et al., 2014; Squire & Klopfer, 2007)



- Zeitzeuginnen und Zeitzeugen aus aller Welt berichten über ihre Erfahrungen im Zweiten Weltkrieg
- Videosequenzen, Animationen und Sound werden mittels Smartphone oder Tablet in reale Umgebungen integriert
- Nutzerinnen und Nutzer fühlen sich „*in die Situation versetzt*“
- Kostenlos nutzbar; auch im Unterricht
- Begleitende Unterrichtsmaterialien zum Download

Abbildung entfernt

Abbildung entfernt

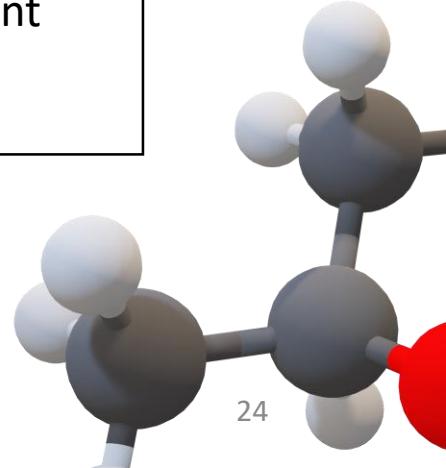


# AR-unterstütztes Lernszenario „Energieeffiziente Produktion“ (TU Braunschweig)

- Projekt im Rahmen der Experimentierfabrik der TU Braunschweig
- Modulares, trackerbasiertes Lernszenario
- Produktionsoptimierung vor dem Hintergrund von Energie- und Ressourceneffizienz
- Digitalgestützt werden relevante Informationen (z. B. Energiediagramme) direkt auf Maschinen und Anlagen projiziert
- Es werden positive Effekte auf Lernzuwachs und Leistungsmotivation angenommen

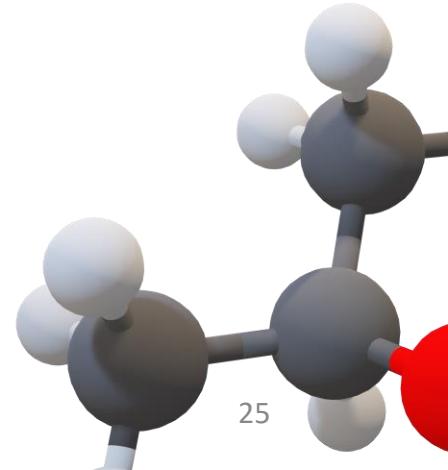
Abbildung entfernt

Abbildung entfernt



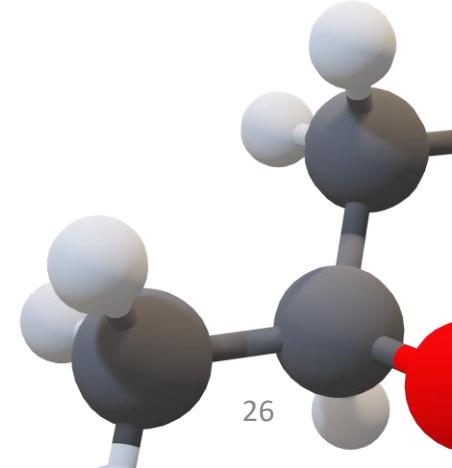
- Untersuchung des Einsatzpotentials von AR in der Pflege
- Einsatz einer AR-Brille, um z. B. Patienteninformationen einzublenden
- Optimierung von Abläufen
- Hohe Akzeptanz bei Pflegekräften
- Handlungsfreiheit bei gleichzeitiger Informationsdarbietung wird besonders geschätzt

Abbildung entfernt



- Verknüpfung von experimentell-reellem Lernraum und Modellebene
- Visualisierung von in der Realität nicht visuell wahrnehmbaren Phänomenen (z. B. Magnetfelder, Energiedichte)
- Vorbeugung oder Förderung von Fehlvorstellungen?

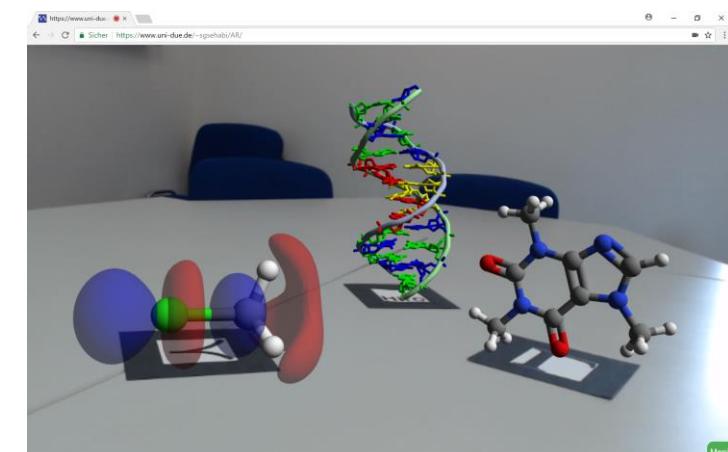
Abbildung entfernt



# Augmented Reality Chemistry



- Entwicklung der App „Augmented Reality Chemistry“
- Verknüpfung von konventioneller textbasierter Instruktion und AR
- Trackerbasiert
- Nutzen von AR, um z. B. Molekülstrukturen oder Animationen dreidimensional darzustellen
- Interaktivität durch Gestensteuerung und Trackerinteraktion
- Offline nutzbar
- Umgesetzt mit *Unity* und *Vuforia*

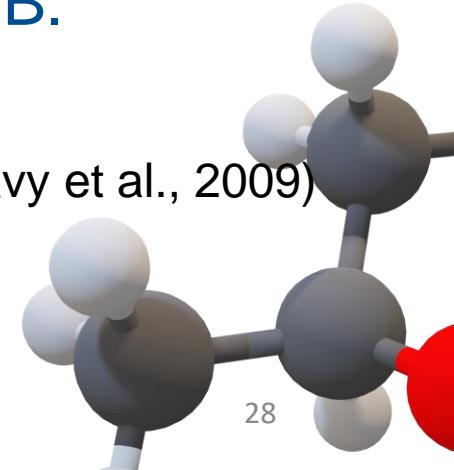


## Positive Effekte auf den Wissenserwerb

- Durch die Möglichkeit, komplexe und **dreidimensionale** Inhalte zu visualisieren (z. B. Arvanitis et al., 2009; Bitter & Corral, 2014)
- Durch die Möglichkeit, **nicht direkt beobachtbare Phänomene** oder technische Prozesse veranschaulichen zu können (z. B. Klopfer & Squire, 2008)
- Durch die **Reduktion von cognitive load** beim Lernen (z. B. Cheng & Tsai, 2013)

## Förderung affektiver Faktoren von Lernenden (z. B. Motivation, Einstellungen)

- Medierts durch *usability* (z. B. Choi & Baek, 2011; Dunleavy et al., 2009)
- Mögliche Neuheitseffekte (z. B. Akçayır & Akçayır, 2017)

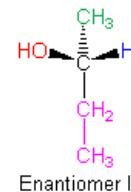


# Repräsentationen in der Chemie

- Hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie
  - Häufig müssen textbasierte und visuelle Informationen simultan verarbeitet werden.

Beim 2-Butanol hat der Sauerstoff die höchste Priorität (Ordnungszahl acht, A), die Ethyl-Gruppe besitzt hier die zweithöchste Priorität (Ordnungszahl sechs und C-Atom in der nächsten Ebene; B), und dann folgt die Methyl-Gruppe (drei H-Atome in der nächsten Ebene, C). Das Wasserstoff-Atom ist der Substituent mit der geringsten Priorität (D).

### 2-Butanol

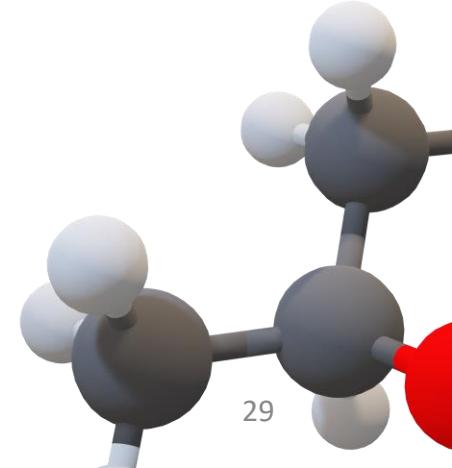
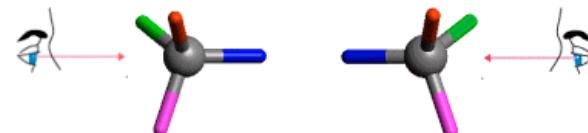


Enantiomer II

Abb.

Das Molekül wird nun in Richtung des Substituenten mit der geringsten Priorität betrachtet, also in diesem Fall entlang der Bindung zwischen dem zentralen Kohlenstoff-Atom und dem Substituenten D. Dazu wird das Molekül so ausgerichtet, dass die Gruppe D nach hinten zeigt und von dem zentralen Kohlenstoff-Atom verdeckt wird. Da der Substituent D verdeckt ist, bilden die Substituenten A, B und C jetzt ein Dreieck um das Zentralatom. Vollziehen Sie mithilfe der 3D-Abbildung diese Ausrichtung nach.

Abb. 2



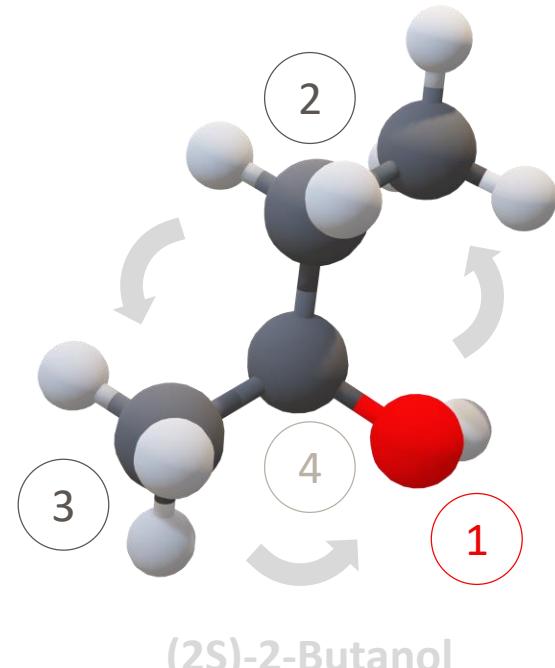
- Hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie
- Häufig müssen textbasierte und visuelle Informationen simultan verarbeitet werden.

<p>Beim 2-Butanol hat der Sauerstoff die höchste Priorität (Ordnungszahl acht, A), die Ethyl-Gruppe besitzt hier die zweithöchste Priorität (Ordnungszahl sechs und C-Atom in der nächsten Ebene; B), und dann folgt die Methyl-Gruppe (drei H-Atome in der nächsten Ebene, C). Das Wasserstoff-Atom ist der Substituent mit der geringsten Priorität (D).</p>	<p><b>2-Butanol</b></p> <p>Enantiomer I</p> <p>Enantiomer II</p> <p>Abb.1</p>
<p>Das Molekül wird nun in Richtung des Substituenten mit der geringsten Priorität betrachtet, also in diesem Fall entlang der Bindung zwischen dem zentralen Kohlenstoff-Atom und dem Substituenten D. Dazu wird das Molekül so ausgerichtet, dass die Gruppe D nach hinten zeigt und von dem zentralen Kohlenstoff-Atom verdeckt wird. Da der Substituent D verdeckt ist, bilden die Substituenten A, B und C jetzt ein Dreieck um das Zentralatom. Volziehen Sie mithilfe der 3D-Abbildung diese Ausrichtung nach.</p>	<p>Abb.2</p>

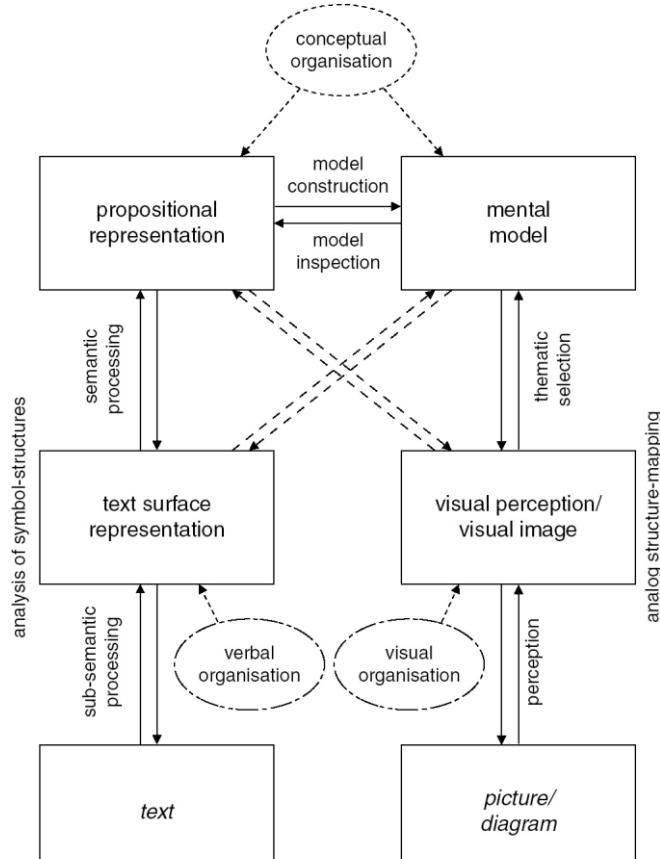
Quelle: chemgapedia.de

- Hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie
- Häufig müssen textbasierte und visuelle Informationen simultan verarbeitet werden.

<p>Beim 2-Butanol hat der Sauerstoff die höchste Priorität (Ordnungszahl acht, A), die Ethyl-Gruppe besitzt hier die zweithöchste Priorität (Ordnungszahl sechs und C-Atom in der nächsten Ebene; B), und dann folgt die Methyl-Gruppe (drei H-Atome in der nächsten Ebene, C). Das Wasserstoff-Atom ist der Substituent mit der geringsten Priorität (D).</p>	<p><b>2-Butanol</b></p> <p>Enantiomer I</p> <p>Enantiomer II</p> <p>Abb.1</p>
<p>Das Molekül wird nun in Richtung des Substituenten mit der geringsten Priorität betrachtet, also in diesem Fall entlang der Bindung zwischen dem zentralen Kohlenstoff-Atom und dem Substituenten D. Dazu wird das Molekül so ausgerichtet, dass die Gruppe D nach hinten zeigt und von dem zentralen Kohlenstoff-Atom verdeckt wird. Da der Substituent D verdeckt ist, bilden die Substituenten A, B und C jetzt ein Dreieck um das Zentralatom. Volziehen Sie mithilfe der 3D-Abbildung diese Ausrichtung nach.</p>	<p>Abb.2</p>

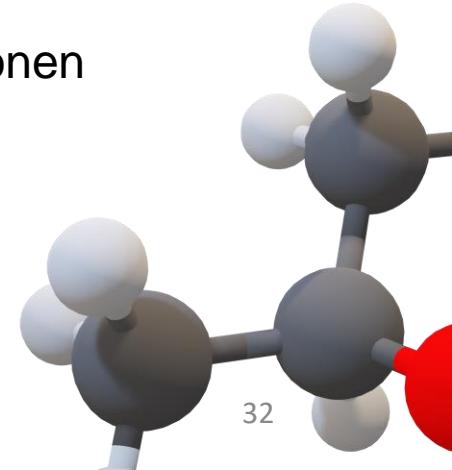


# Das Projekt Augmented Reality Chemistry



(Schnottz & Bannert, 2003)

- Theorien zum **Lernen mit Multimedia** und zum Umgang mit **multiplen externen Repräsentationen** als fachdidaktische und kognitionspsychologische Theoriegrundlage (Gilbert, 2008; Mayer, 2014; Schnottz & Bannert, 2003)
- AR zur Förderung der **internalen Modellrepräsentation**
- Unterstützung klassischer textbasierter Instruktion mit AR-basierten Repräsentationen



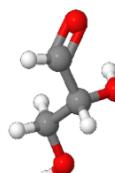
# Erste Evaluation

- 31 Chemiestudierende bearbeiteten einen MC-Test zur Bestimmung der absoluten Konfiguration von Molekülstrukturen
- 14 Items (7 Kugel-Stab-Modelle; 7 äquivalente AR Modelle)

**ARC** UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

3) Gib die absolute Konfiguration des dargestellten Moleküls gemäß der CIP-Nomenklatur an. Bedenke, dass der Substituent mit der niedrigsten Priorität nach hinten weisen muss, wenn Du die Konfiguration bestimmst.

○ Wasserstoffatom; ● Kohlenstoffatom; ■ Sauerstoffatom  
aufsteigende Priorität



4) Gib die absolute Konfiguration des dargestellten Moleküls gemäß der CIP-Nomenklatur an. Bedenke, dass der Substituent mit der niedrigsten Priorität nach hinten weisen muss, wenn Du die Konfiguration bestimmst.

○ Wasserstoffatom; ● Kohlenstoffatom; ■ Stickstoffatom; ■ Sauerstoffatom  
aufsteigende Priorität

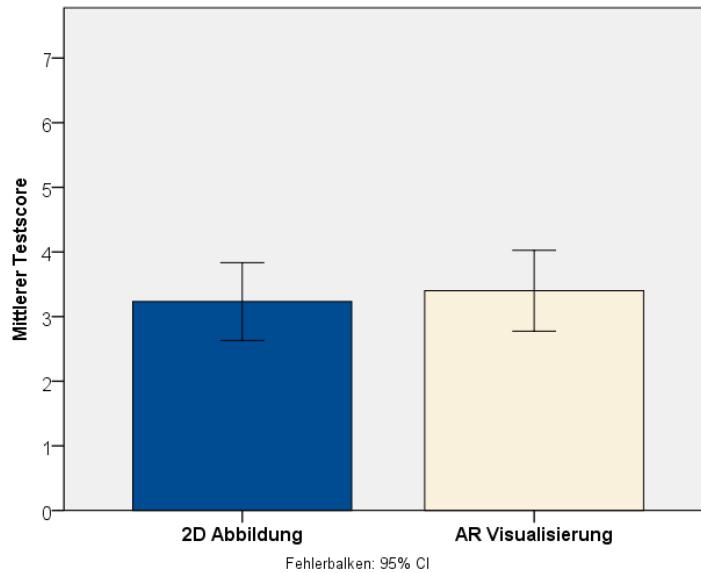
**4**

Es handelt sich um (S,R)-2,3-Dihydroxypropan.  
 Es handelt sich um (S)-2,3-Dihydroxypropan.  
 Es handelt sich um (R,S)-2,3-Dihydroxypropan.  
 Es handelt sich um (R)-2,3-Dihydroxypropan.

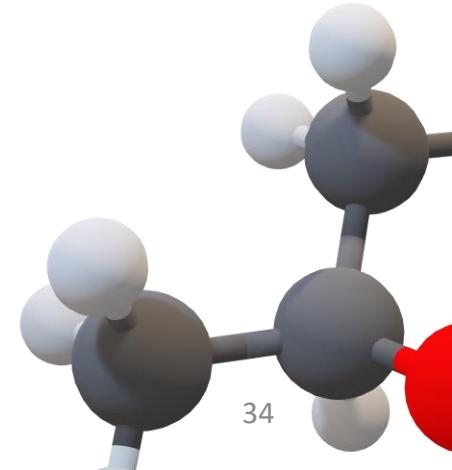
Es handelt sich um (S,R)-3-Aminopropan-1,2-diol.  
 Es handelt sich um (S)-3-Aminopropan-1,2-diol.  
 Es handelt sich um (R,S)-3-Aminopropan-1,2-diol.  
 Es handelt sich um (R)-3-Aminopropan-1,2-diol.

# Vergleich der Lösungshäufigkeiten

*Lösen Studierende Aufgaben zur Bestimmung der absoluten Konfiguration von Verbindungen häufiger korrekt, wenn den Aufgaben AR-Repräsentationen zugrunde liegen?*

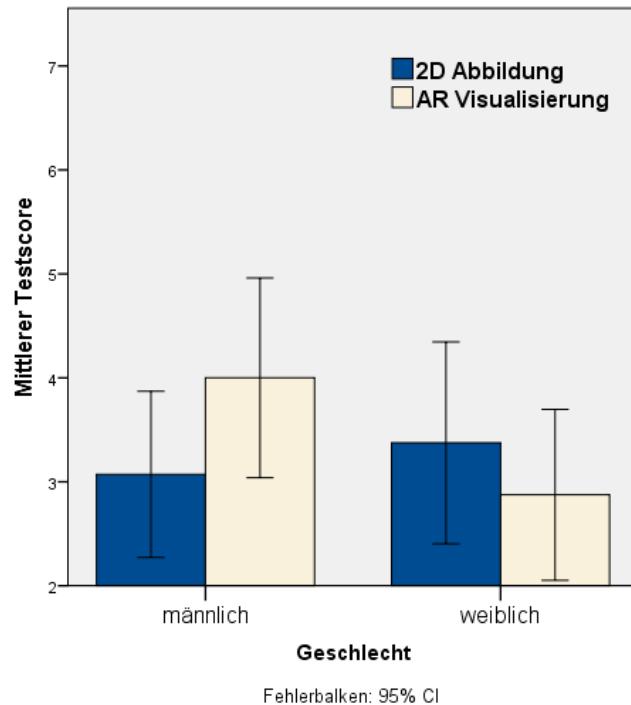


- Keine bedeutsamen Unterschiede ( $t(29) = 0.542, p = .59$ )

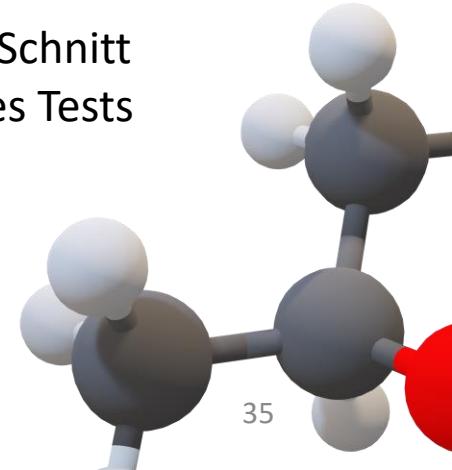


# Vergleich der Lösungshäufigkeiten

*Lösen Studierende Aufgaben zur Bestimmung der absoluten Konfiguration von Verbindungen häufiger korrekt, wenn den Aufgaben AR-Repräsentationen zugrunde liegen?*



- Geschlechtereffekt  
( $F(1, 28) = 6.375, p = .018, d = .95$ )
- Studenten erzielen im Schnitt mehr Punkte im AR Teil des Tests
- Studentinnen erzielen im Schnitt mehr Punkte im 2D Teil des Tests



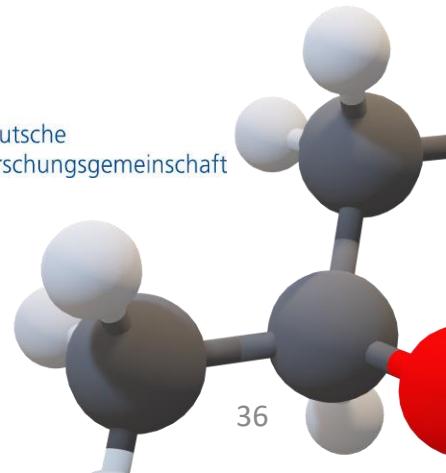
- Wie wirken AR unterstützte Lernumgebungen auf kognitive und affektive Lernervariablen?
- Lassen sich Designprinzipien für AR Lernumgebungen identifizieren?
- Für wen können AR basierte Lernmaterialien hilfreich sein?
  - Welche Rolle spielt z. B. das räumliche Vorstellungsvermögen?
- Wie benutzerfreundlich ist der Umgang mit der App?

## Wissenschaftliche Annäherung im Rahmen des Projekts

*„Förderung internaler Modellrepräsentation in Organischer Chemie durch Augmented Reality“*

Gefördert durch  
**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

izfb



## Projektmitarbeiter

- Sebastian Keller (Didaktik der Chemie)

Gefördert durch  
**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

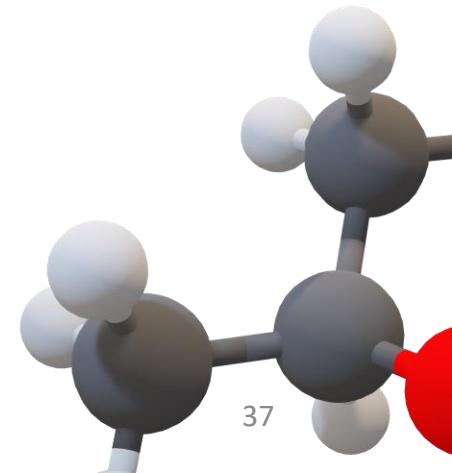


## Projektleitung

- Dr. Sebastian Habig (Didaktik der Chemie)

## Kooperationspartner\*in

- Prof. Dr. Stefan Rumann (Didaktik der Chemie)
- Prof. Dr. Carsten Schmuck (Organische Chemie)
- Prof. Dr. Detlev Leutner (Lehr-/Lernpsychologie)
- Prof. Dr. Elke Sumfleth (Didaktik der Chemie)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Anregungen, Fragen, Ideen?

Kontakt:

Dr. Sebastian Habig

 [sebastian.habig@uni-due.de](mailto:sebastian.habig@uni-due.de)

 0201 183-2512

## Mögliche Fragestellungen

- **Wo sehen Sie mögliche Einsatzbereiche für AR in der Lehre?**
- **Welche Potentiale und Herausforderungen verbinden Sie mit AR in der Lehre?**
- **Welche Funktionen sollte eine AR App für Sie mitbringen?**

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Arvanitis, T. N., Petrou, A., Knight, J. F., Savas, S., Sotiriou, S., Gargalakos, M., & Gialouri, E. (2009). Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. *Personal and Ubiquitous Computing*, 13, 243–250.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6, 355–385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., & Graf, S. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology & Society*, 17, 133.
- Bitter, G., & Corral, A. (2014). The pedagogical potential of augmented reality apps. *Journal of Engineering Science Invention ISSN (Online)*, 2319, 13–17.
- Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access*, 6, 8201–8218.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>
- Cavallaro, R., Hybinette, M., White, M., & Balch, T. (2011). Augmenting live broadcast sports with 3D tracking information. *IEEE MultiMedia*, 18(4), 38-47.
- Chang, S. C., & Hwang, G. J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. *Computers & Education*.
- Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2013). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 449–462. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>

- Choi, B., & Baek, Y. (2011). Exploring factors of media characteristic influencing flow in learning through virtual worlds. *Computers & Education*, 57(4), 2382-2394.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Flohr, L., Taube, W., Zapp, D. I. T., & Teams, M. M. (2016). Augmented Reality in der Industrie.
- Fuchs, H., Livingston, M. A., Raskar, R., Keller, K., Crawford, J. R., Rademacher, P., ... & Meyer, A. A. (1998, October). Augmented reality visualization for laparoscopic surgery. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (pp. 934-943). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gan, A., Cohen, A., & Tan, L. (2018). Augmented Reality-Assisted Percutaneous Dilatational Tracheostomy in Critically Ill Patients With Chronic Respiratory Disease. *Journal of Intensive Care Medicine*, 885066618791952. <https://doi.org/10.1177/0885066618791952>
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 3–24). Springer.
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Juraschek, M., Büth, L., Posselt, G., & Herrmann, C. (2018). Mixed Reality in Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, 23, 153-158.
- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental Detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56, 203–228.

- Koh, R. K. C., Duh, H. B. L., & Gu, J. (2010, October). An integrated design flow in user interface and interaction for enhancing mobile AR gaming experiences. In *Mixed and Augmented Reality-Arts, Media, and Humanities (ISMAR-AMH), 2010 IEEE International Symposium On* (pp. 47-52). IEEE.
- Martin, S., Diaz, G., Sanchristobal, E., Gil, R., Castro, M., & Peire, J. (2011). New technology trends in education: Seven years of forecasts and convergence. *Computers & Education*, 57, 1893–1906. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.04.003>
- Matysczok, C., Radkowski, R., & Berssenbruegge, J. (2004, September). AR-bowling: immersive and realistic game play in real environments using augmented reality. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology* (pp. 269-276). ACM.
- Mayer, R. E. (Ed.). (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed., repr). Cambridge: Cambridge University Press.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Nielsen, B. L., Brandt, H., & Swensen, H. (2016). Augmented Reality in science education—affordances for student learning.
- Pentenrieder, K., Bade, C., Doil, F., & Meier, P. (2007, November). Augmented Reality-based factory planning—an application tailored to industrial needs. In *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 1-9). IEEE Computer Society.
- Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1), 36-38.
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18, 1533–1543.

- Reed, S. E., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L. H., Schladow, G., Yikilmaz, M. B., ... & Sato, E. (2014, December). Shaping watersheds exhibit: An interactive, augmented reality sandbox for advancing earth science education. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Regenbrecht, H., Baratoff, G., & Wilke, W. (2005). Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 48-56.
- Reif, R. (2009). *Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems*.
- Schnottz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Interest in Learning, Learning to Be Interested*, 13, 141–156.
- Wacker, F. K., Vogt, S., Khamene, A., Jesberger, J. A., Nour, S. G., Elgort, D. R., ... & Lewin, J. S. (2006). An augmented reality system for MR image-guided needle biopsy: initial results in a swine model. *Radiology*, 238(2), 497-504.
- Wilhelm, D., Vogel, T., Ostler, D., Marahrens, N., Kohn, N., Koller, S., Kranzfelder, M. (2018). Enhanced Visualization: From Intraoperative Tissue Differentiation to Augmented Reality. *Visceral Medicine*, 34, 52–59. <https://doi.org/10.1159/000485940>