

Virtual- und Augmented Reality in der Hochschullehre

Jennifer Fromm & Sebastian Habig

E-Learning Netzwerktag ■ 28.03.2019

Virtual Reality in der Hochschullehre

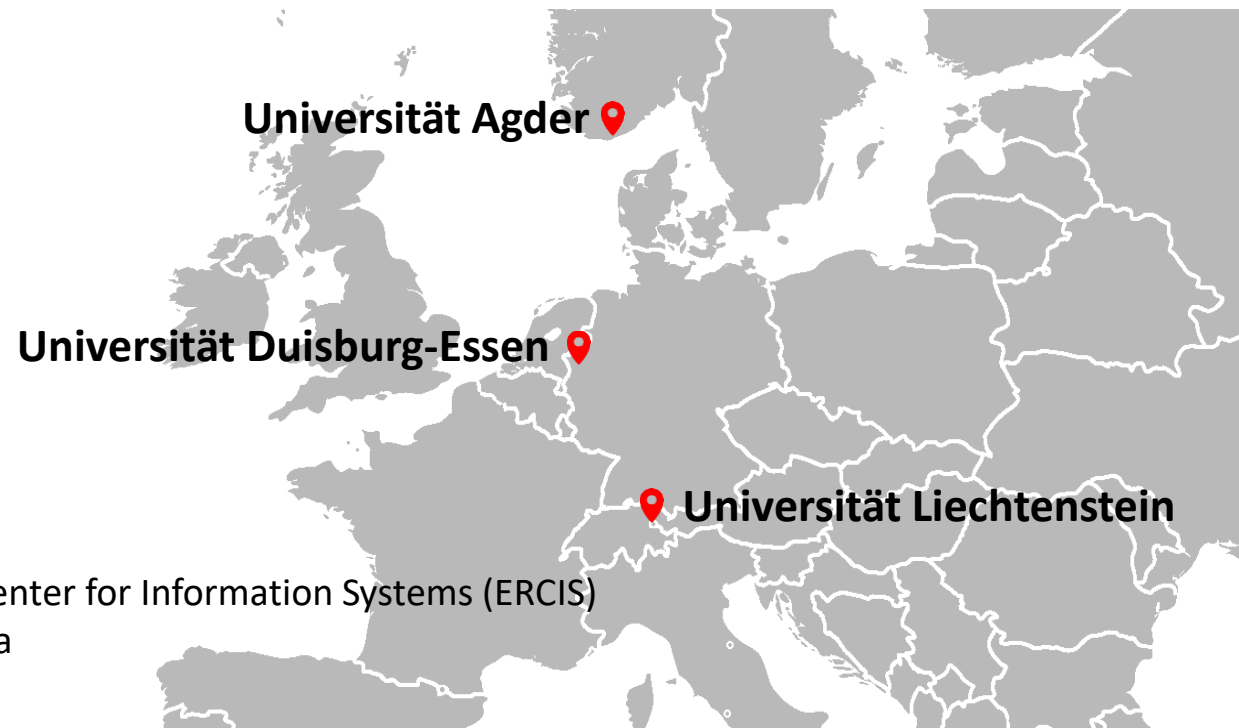
Unterstützung fachspezifischen Lernens mit
Augmented Reality

Virtual Reality in der Hochschullehre

Anwendungsszenarios und Empfehlungen



Projektpartner



Assoziierte Partner

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

Projekt Motivation



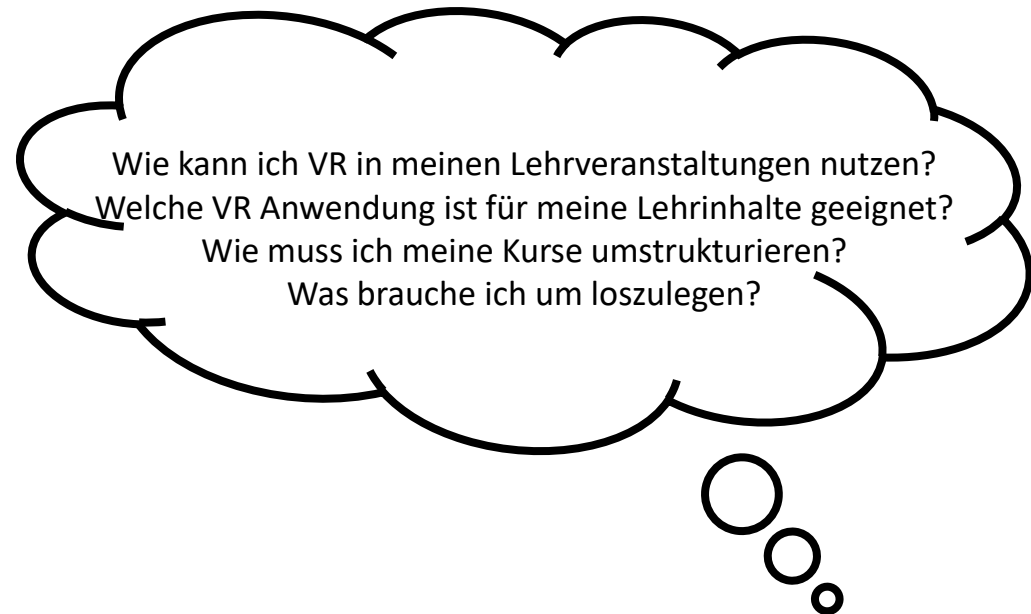
VR Fieldtrips



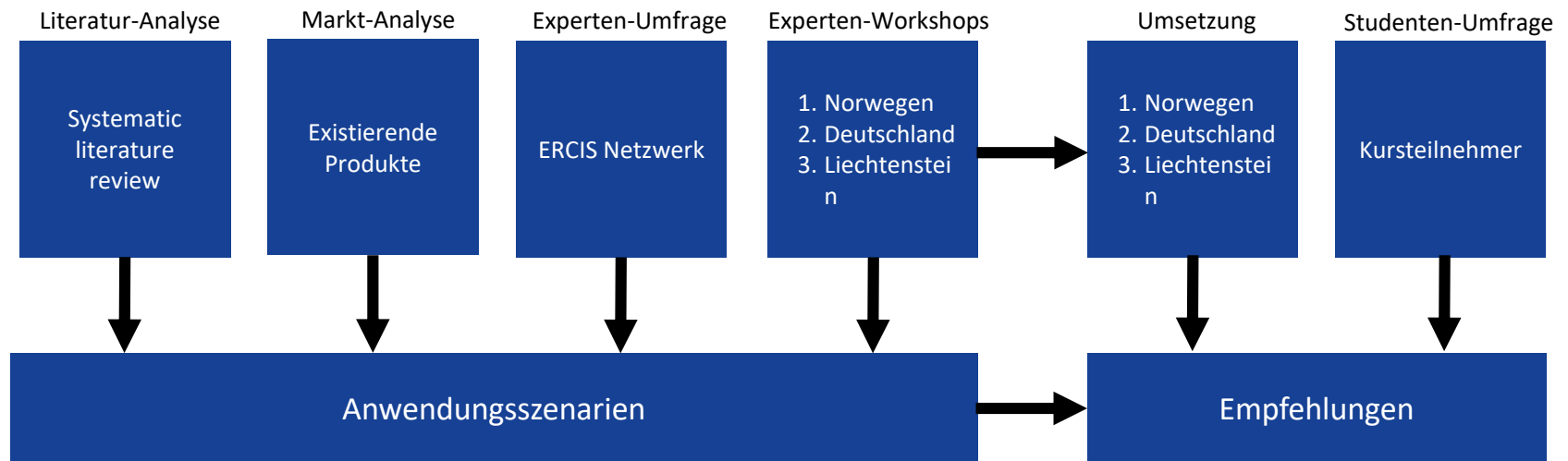
VR Anatomie



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

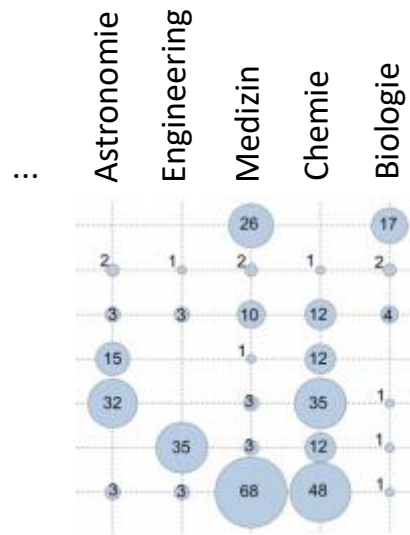
Datenbanken	Original	Semi-Automatisch	Duplikate	Abstracts
IEEE Explore	1.656	345	340	38
ProQuest	877	168	167	10
Scopus	574	60	54	30
Web of Science	112	17	12	5
AIS Digital Library	2	2	2	0
Total	3221	592	575	83

Systematic Literature Review - Mapping

Konzepte

- Anwendungsdomäne
- 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?

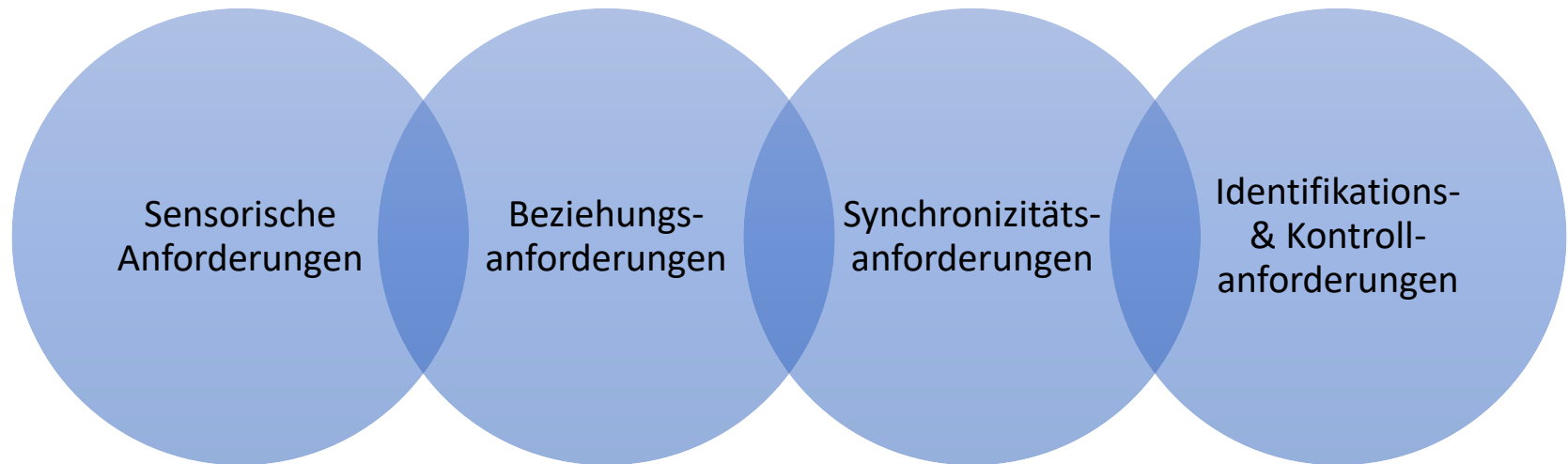
Theoretischer Hintergrund

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



UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Open-Minded



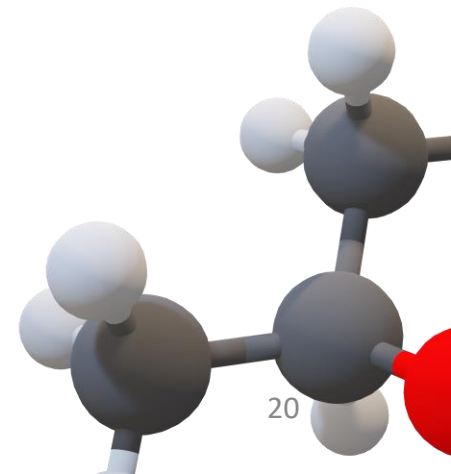
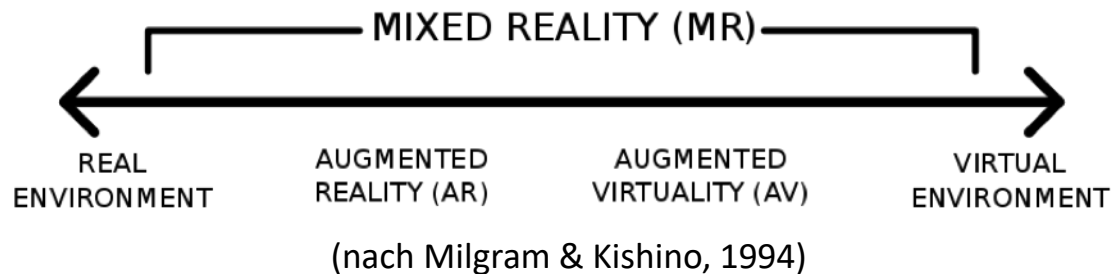
Unterstützung fachspezifischen Lernens mit Augmented Reality

Sebastian Habig ■ Fakultät für Chemie



Was ist Augmented Reality?

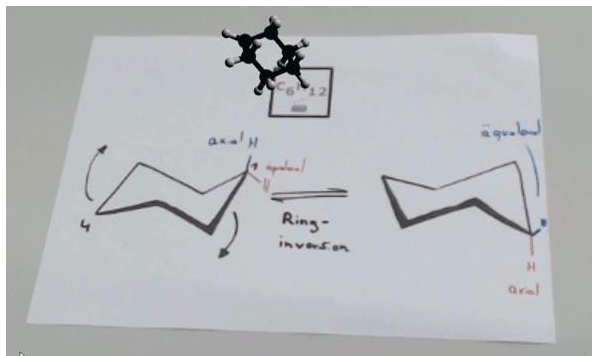
*Die Integration dreidimensionaler, virtueller
Objekte in reale Umgebungen in Echtzeit
(vgl. Azuma, 1997)*



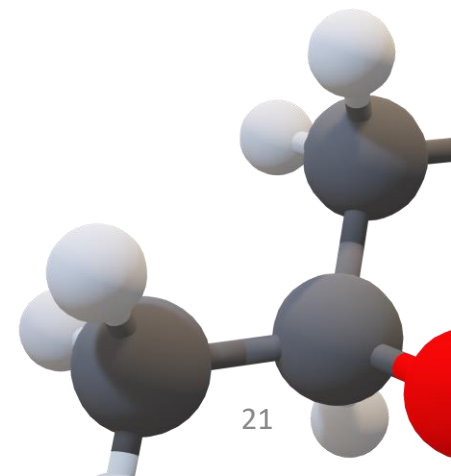
Was ist Augmented Reality?

Abbildung entfernt

Abbildung entfernt



Technische Spielerei oder
eine didaktisch sinnvolle
Erweiterung?



- **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**

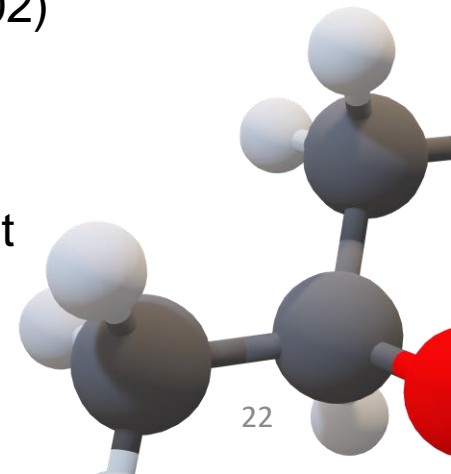
(z. B. Fuchs et al., 1998; Gan, Cohen, & Tan, 2018; Wacker et al., 2006; Wilhelm et al., 2018)

- **Unterhaltung**

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

- **Bildung**

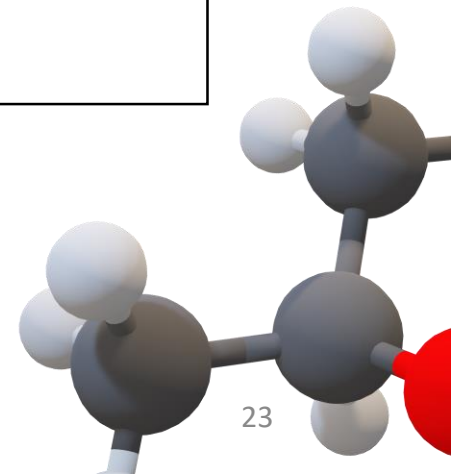
(z. B. Chang & Hwang, 2018; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Martin et al., 2011; Nielsen, Brandt, & Swensen, 2016; Reed et al., 2014; Squire & Klopfer, 2007)



- 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



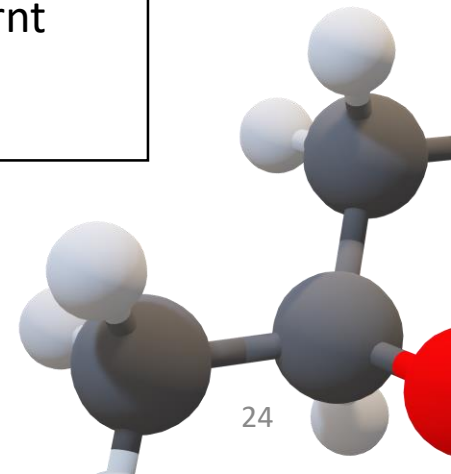
AR-unterstütztes Lernszenario

„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

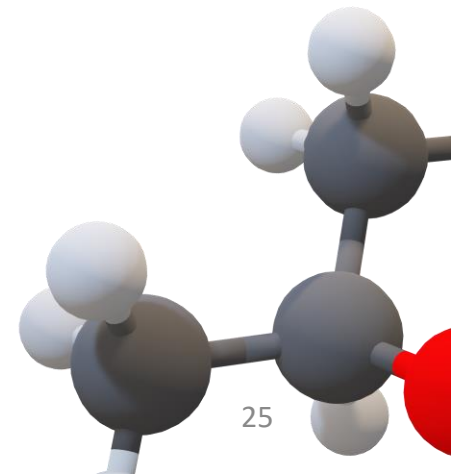
Abbildung entfernt

Abbildung entfernt



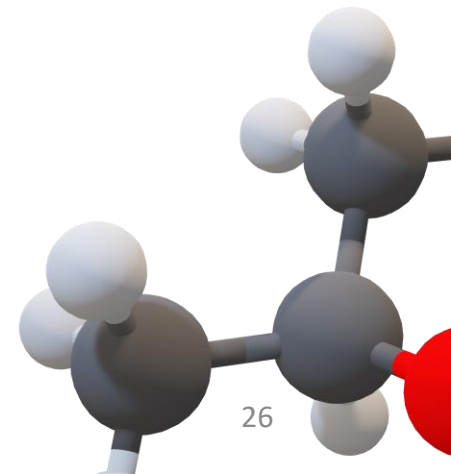
- Untersuchung des Einsatzpotentials von AR in der Pflege
- Einsatz einer AR-Brille, um z. B. Patienteninformationen einzublenden
- Optimierung von Abläufen
- Hohe Akzeptanz bei Pflegekräften
- Handlungsfreiheit bei gleichzeitiger Informationsdarbietung wird besonders geschätzt

Abbildung entfernt

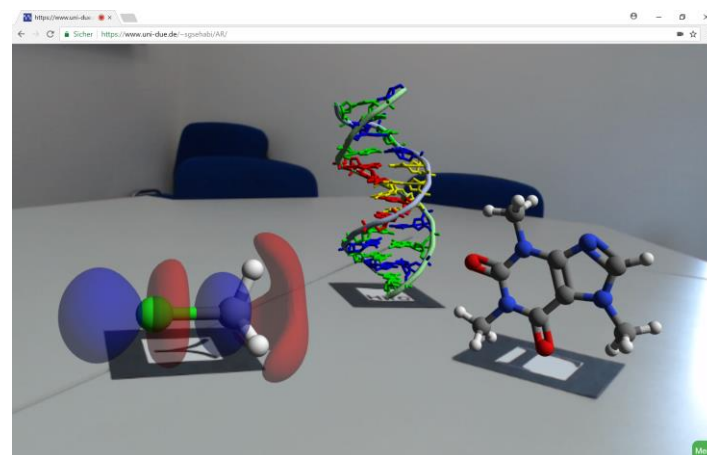


- Verknüpfung von experimentell-reellem Lernraum und Modellebene
- Visualisierung von in der Realität nicht visuell wahrnehmbaren Phänomenen (z. B. Magnetfelder, Energiedichte)
- Vorbeugung oder Förderung von Fehlvorstellungen?

Abbildung entfernt



- 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*

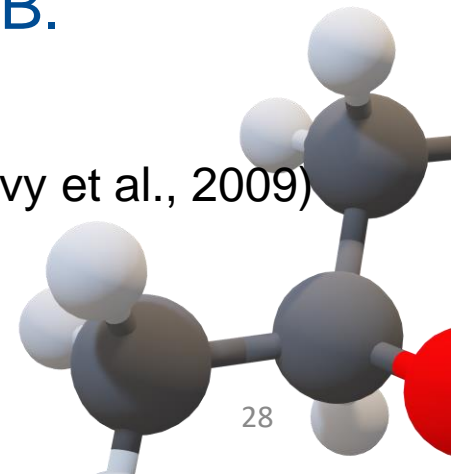


Positive Effekte auf den Wissenserwerb

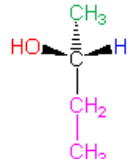
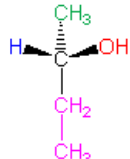
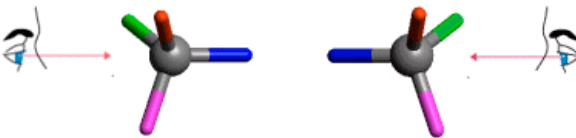
- Durch die Möglichkeit, komplexe und **dreidimensionale** Inhalte zu visualisieren (z. B. Arvanitis et al., 2009; Bitter & Corral, 2014)
- Durch die Möglichkeit, **nicht direkt beobachtbare Phänomene** oder technische Prozesse veranschaulichen zu können (z. B. Klopfer & Squire, 2008)
- Durch die **Reduktion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

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

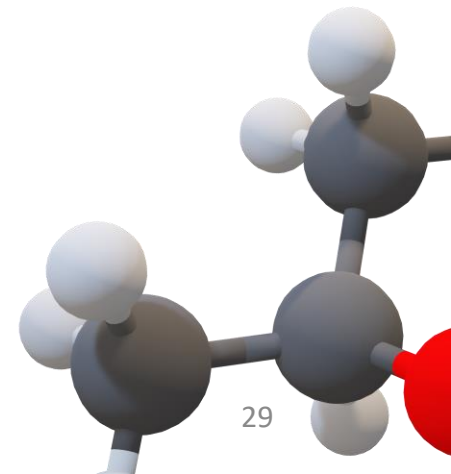
- Mediert durch *usability* (z. B. Choi & Baek, 2011; Dunleavy et al., 2009)
- Mögliche Neuheitseffekte (z. B. Akçayır & Akçayır, 2017)



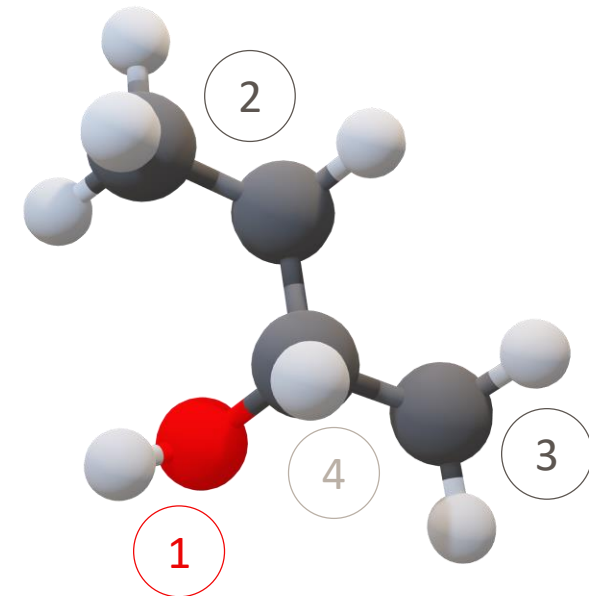
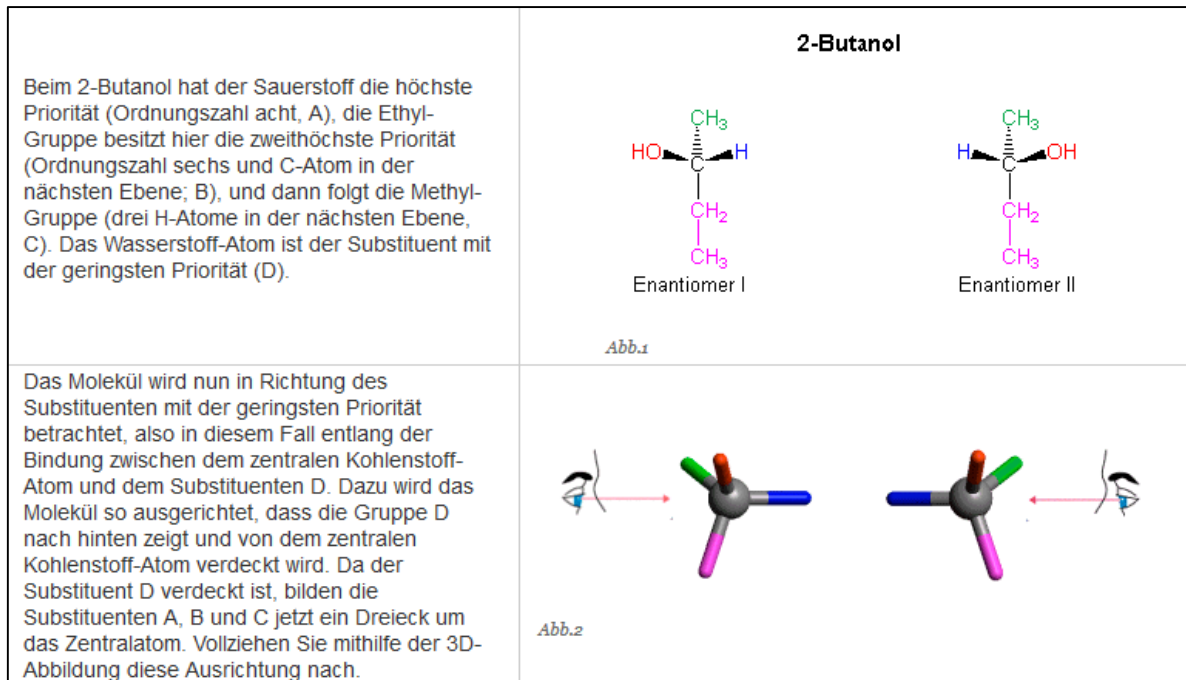
- Hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie
- Häufig müssen textbasierte und visuelle Informationen simultan verarbeitet werden.

<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 style="text-align: center;">2-Butanol</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Enantiomer I</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Enantiomer II</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><i>Abb.1</i></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. Vollziehen Sie mithilfe der 3D-Abbildung diese Ausrichtung nach.</p>	<div style="text-align: center;">  <p><i>Abb.2</i></p> </div>

Quelle: chemgapia.de


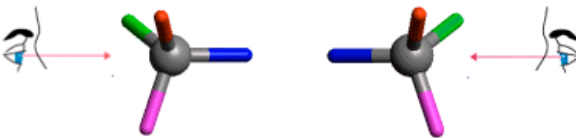


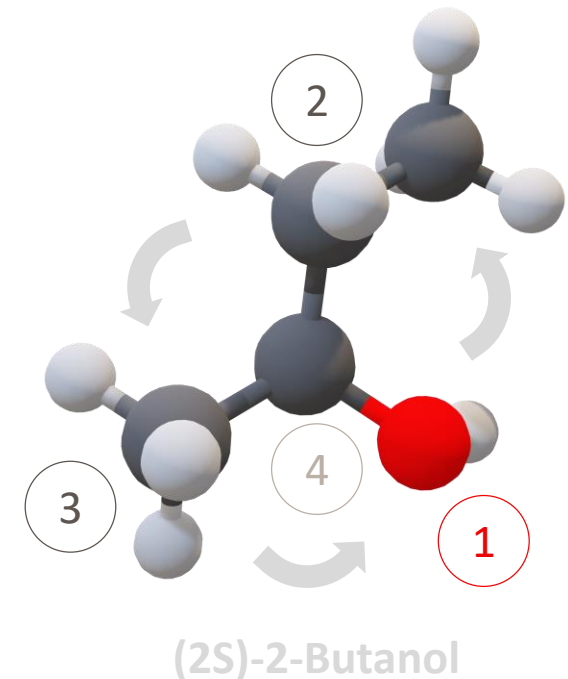
- Hohe Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen beim Lernen von Chemie
- Häufig müssen textbasierte und visuelle Informationen simultan verarbeitet werden.



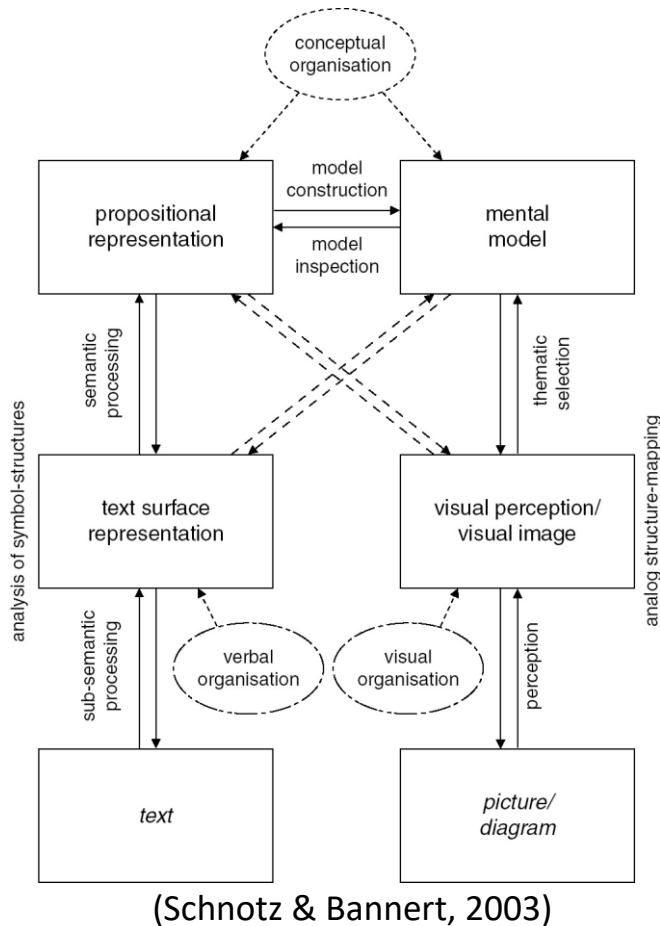
Quelle: chemglopedia.de

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

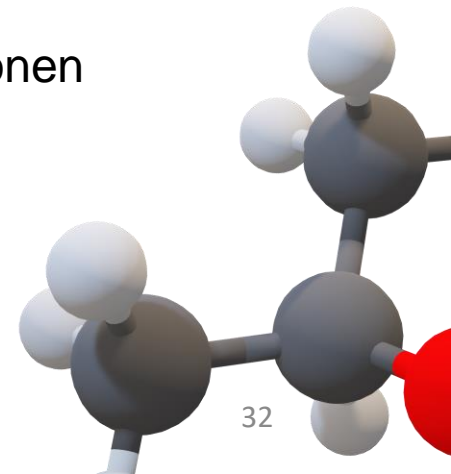
2-Butanol	
<p>Beim 2-Butanol hat der Sauerstoff die höchste Priorität (Ordnungszahl acht, A), die Ethyl-Gruppe besitzt hier die zweithöchste Priorität (Ordnungszahl sechs und C-Atom in der nächsten Ebene; B), und dann folgt die Methyl-Gruppe (drei H-Atome in der nächsten Ebene, C). Das Wasserstoff-Atom ist der Substituent mit der geringsten Priorität (D).</p>	 <p>Enantiomer I 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. Vollziehen Sie mithilfe der 3D-Abbildung diese Ausrichtung nach.</p>	 <p>Abb.2</p>



Quelle: chemglopedia.de



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



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

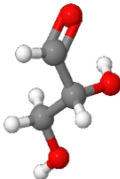
ARC

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 →



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

ARC

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

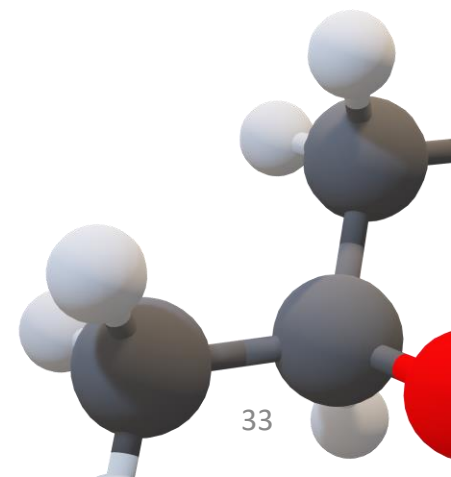
4) Gib die absolute Konfiguration des dargestellten Moleküls gemäß der CIP-Nomenklatur an. Bedenke, dass der Substituent mit der niedrigsten Priorität nach hinten weisen muss, wenn Du die Konfiguration bestimmst.

☐ Wasserstoffatom; ☒ Kohlenstoffatom; ☒ Stickstoffatom; ☒ Sauerstoffatom

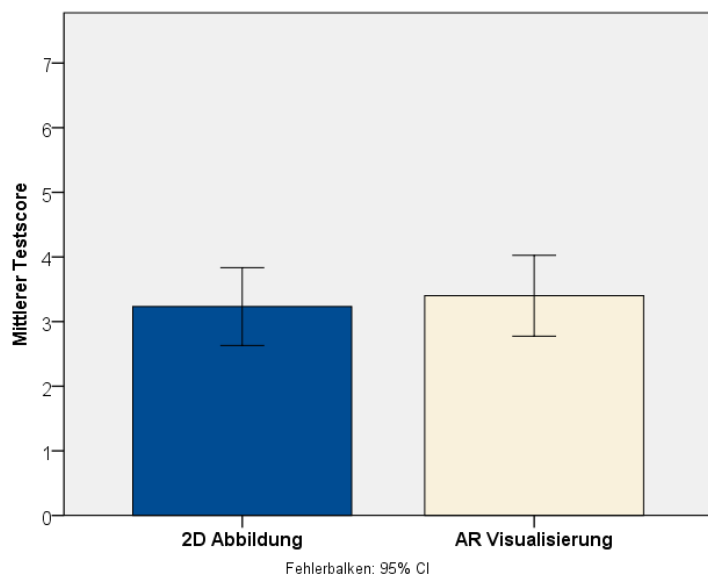
aufsteigende Priorität →

4

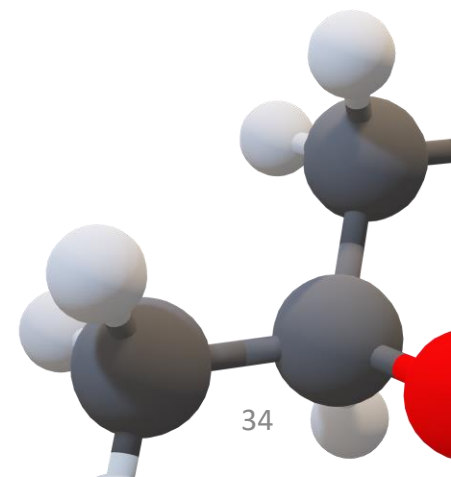
☐ Es handelt sich um (S-R)-3-Aminopropan-1,2-diol.
☐ Es handelt sich um (S-S)-3-Aminopropan-1,2-diol.
☐ Es handelt sich um (R-S)-3-Aminopropan-1,2-diol.
☐ Es handelt sich um (R-R)-3-Aminopropan-1,2-diol.



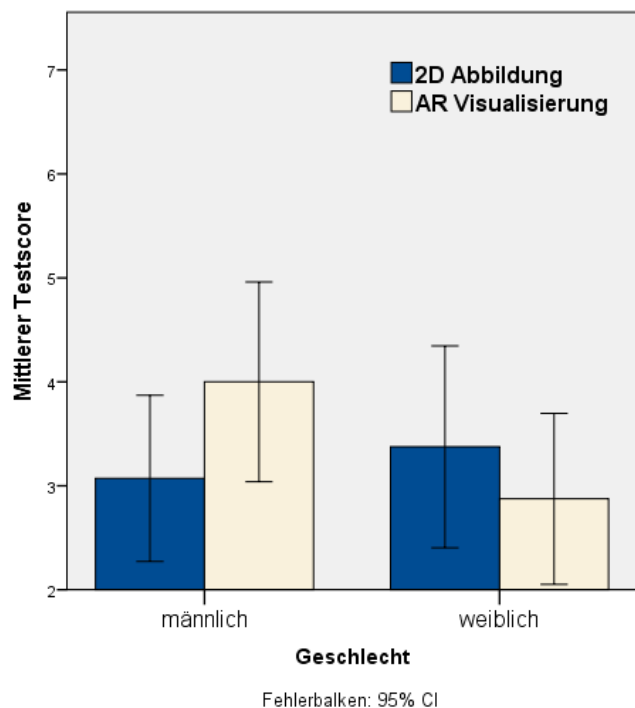
Lösen Studierende Aufgaben zur Bestimmung der absoluten Konfiguration von Verbindungen häufiger korrekt, wenn den Aufgaben AR-Repräsentationen zugrunde liegen?



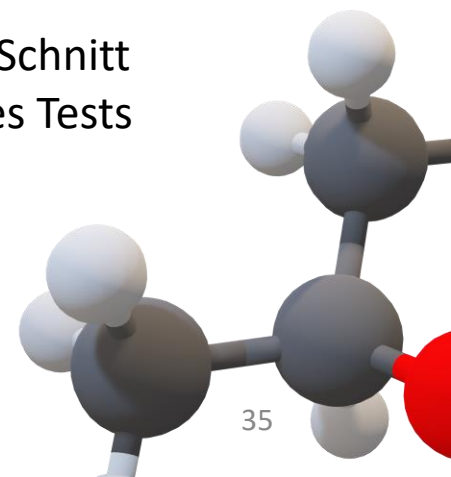
- Keine bedeutsamen Unterschiede
($t(29) = 0.542$, $p = .59$)



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



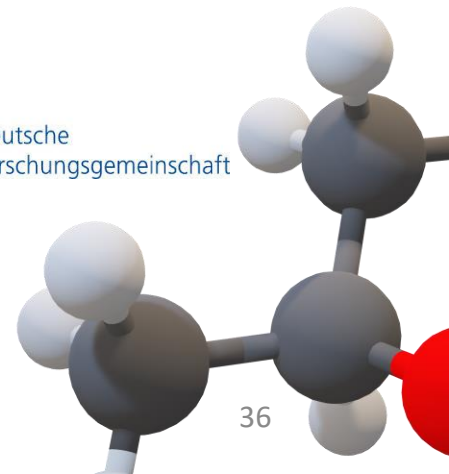
- Wie wirken AR unterstützte Lernumgebungen auf kognitive und affektive Lernervariablen?
- Lassen sich Designprinzipien für AR Lernumgebungen identifizieren?
- Für wen können AR basierte Lernmaterialien hilfreich sein?
 - Welche Rolle spielt z. B. das räumliche Vorstellungsvermögen?
- Wie benutzerfreundlich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

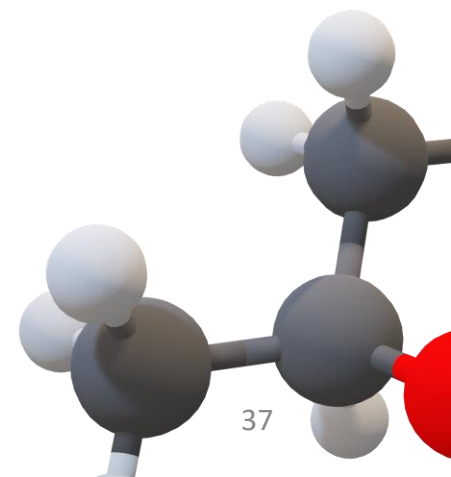
Projektleitung

- 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)

Gefördert durch
DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft




Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Anregungen, Fragen, Ideen?

Kontakt:

Dr. Sebastian Habig

 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., Sancristobal, 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*.
- Schnotz, 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>