

Ralf Dörner, Wolfgang Broll,  
Paul Grimm, Bernhard Jung (Hrsg.)

## **Virtual und Augmented Reality (VR/AR)**

Grundlagen und Methoden der Virtuellen  
und Augmentierten Realität

2., Erweiterte und aktualisierte Auflage  
Umsetzung der Bilder von Rolf Kruse  
<http://vr-ar-buch.de>

Ralf Dörner  
Wolfgang Broll  
Paul Grimm  
Bernhard Jung *Hrsg.*

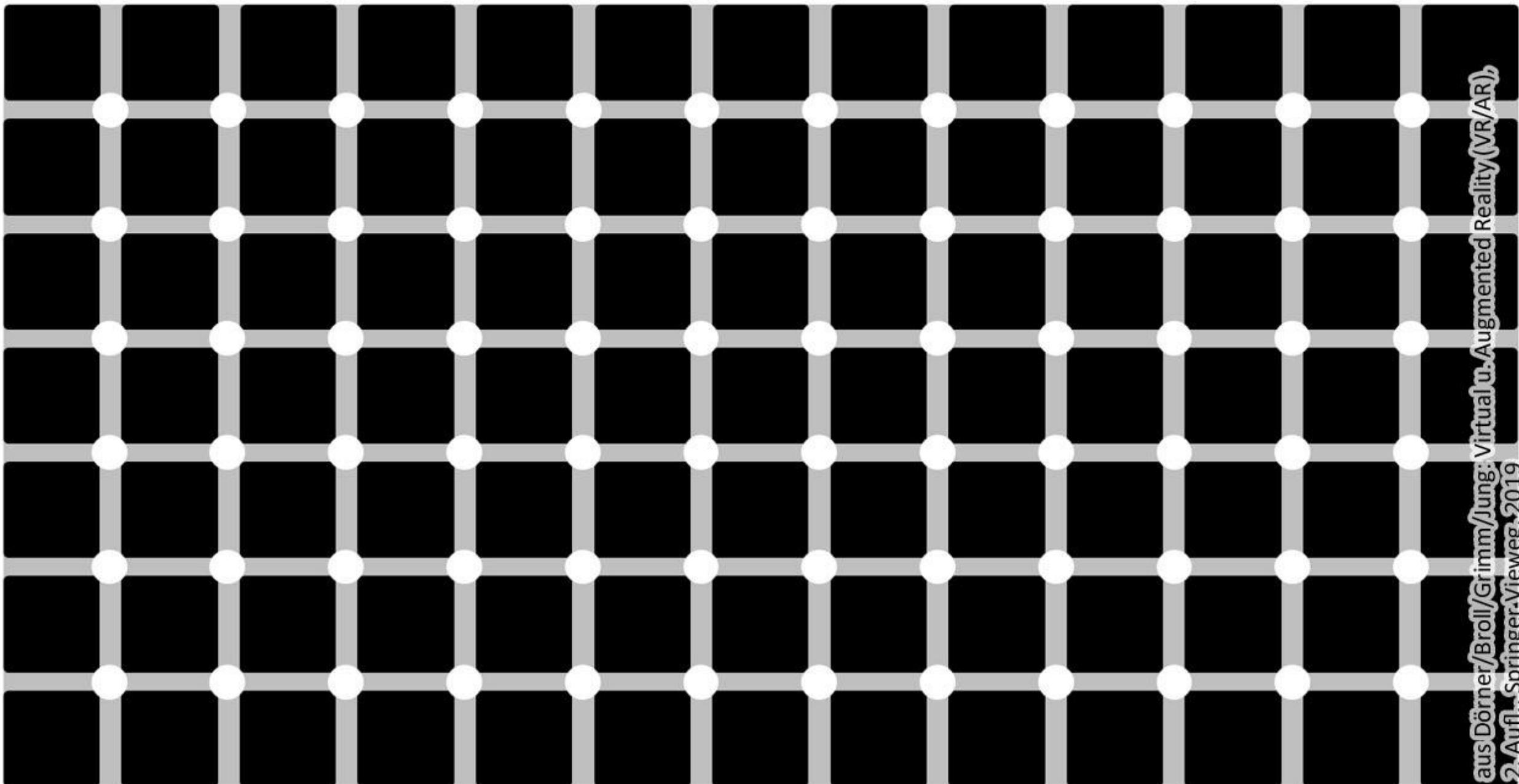


## **Virtual und Augmented Reality (VR/AR)**

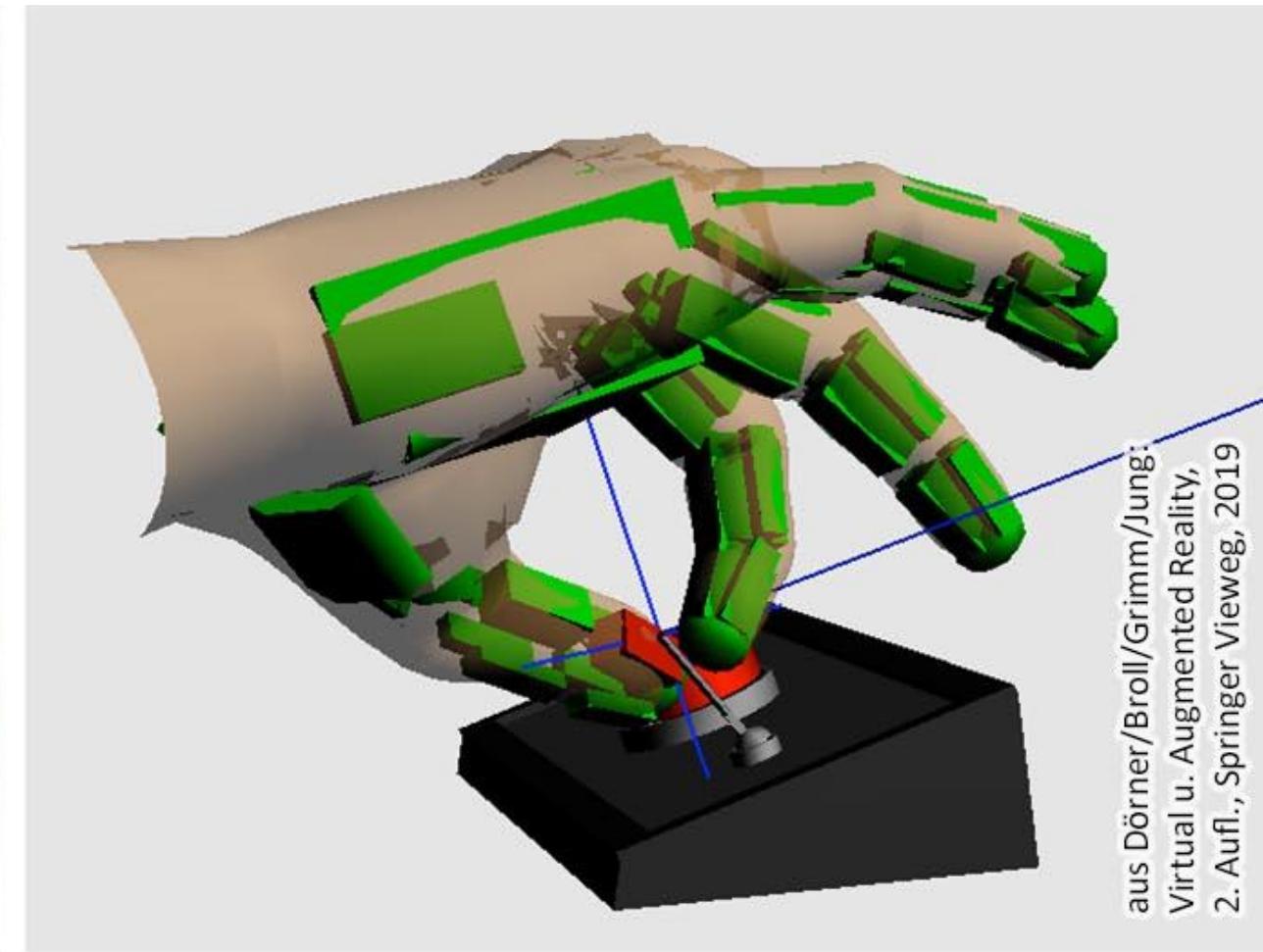
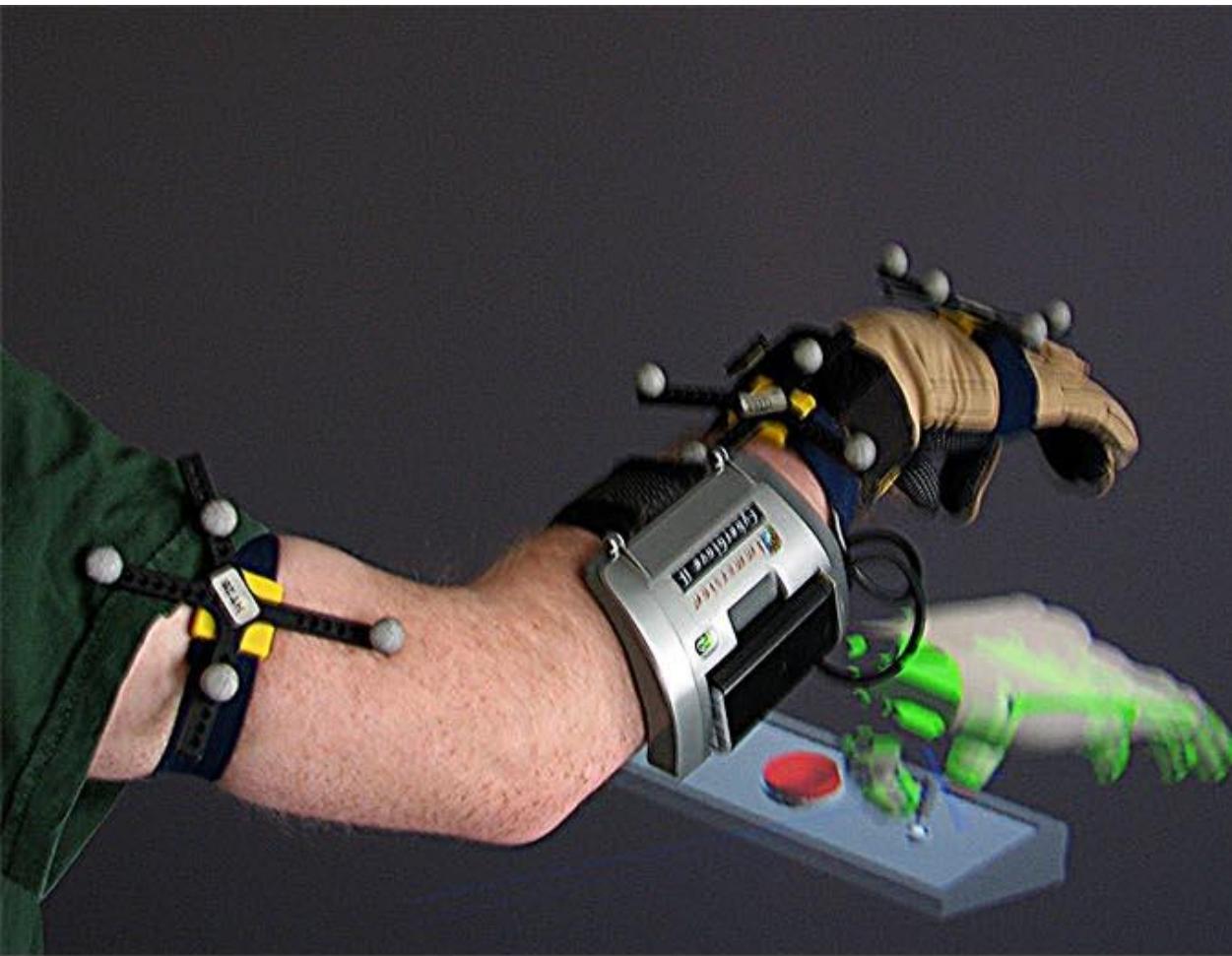
Grundlagen und Methoden der  
Virtuellen und Augmentierten Realität  
*2. Auflage*

EXTRAS ONLINE

 Springer Vieweg

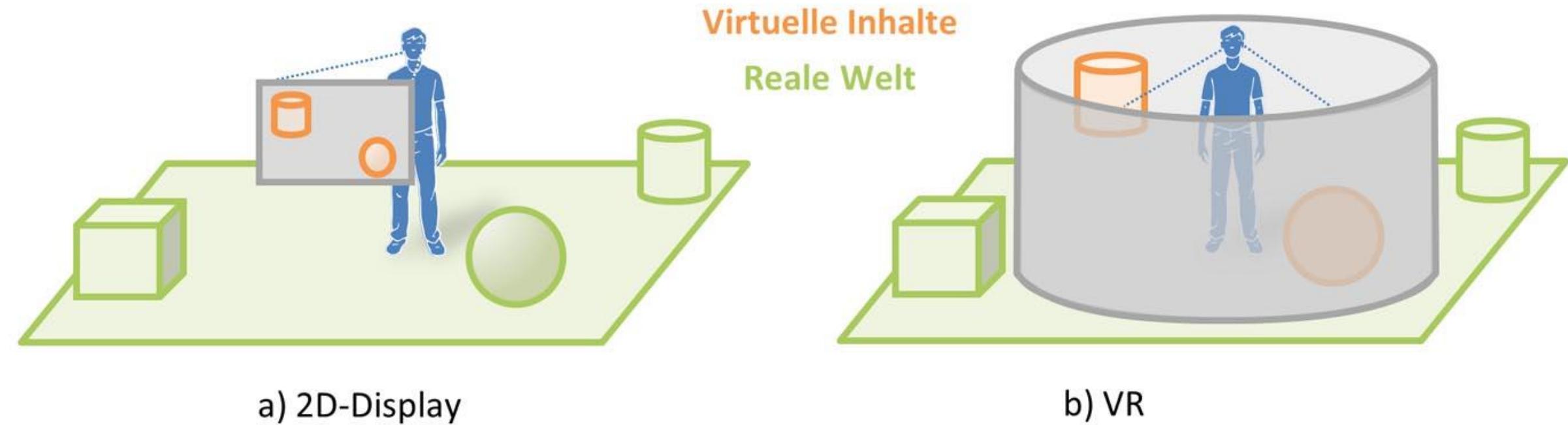


**Abb. 1.1** Ein Hermann-Gitter



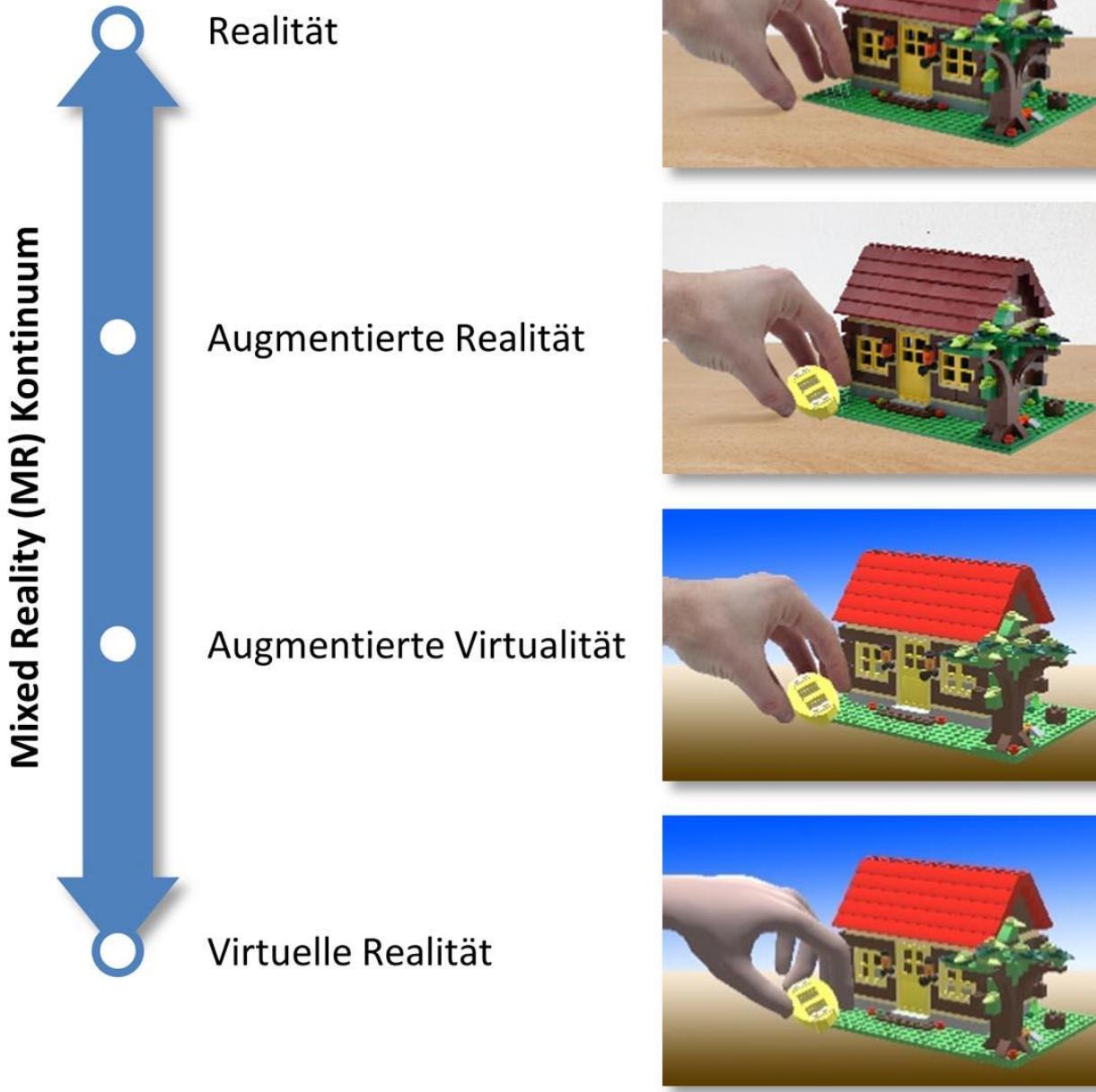
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 1.2** Beispiel für natürliche Interaktion: ein virtueller Schalter wird wie ein gewöhnlicher Schalter mit der Hand bedient



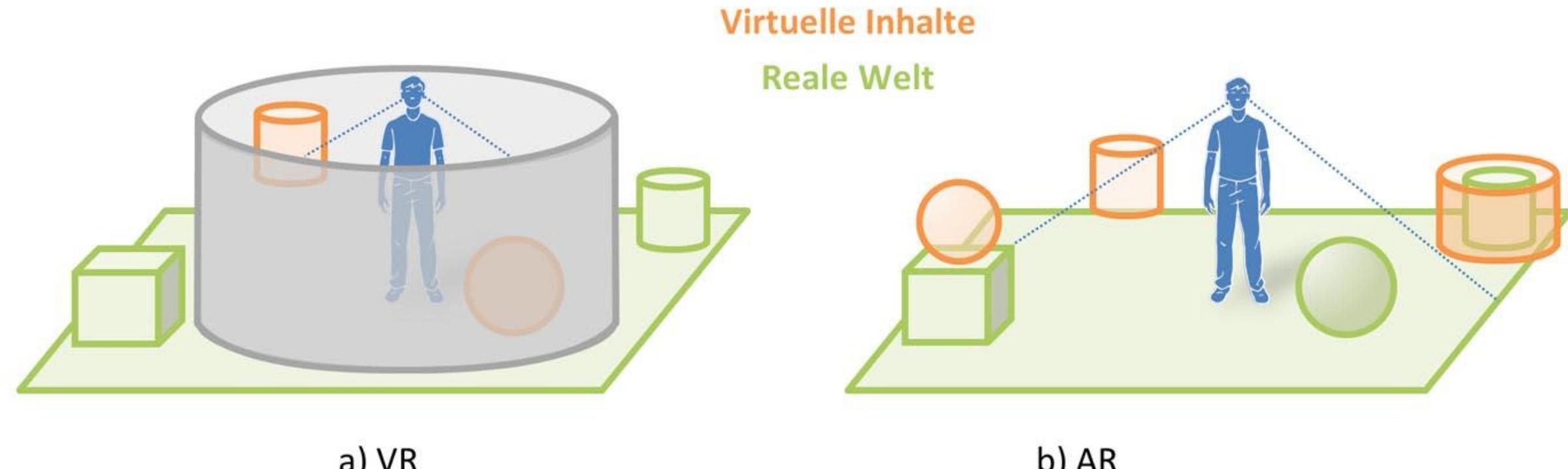
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 1.3** Interaktionsmodelle bei PCs/Arbeitsplatzrechnern und VR. Nach Rekimoto und Nagao (1995)

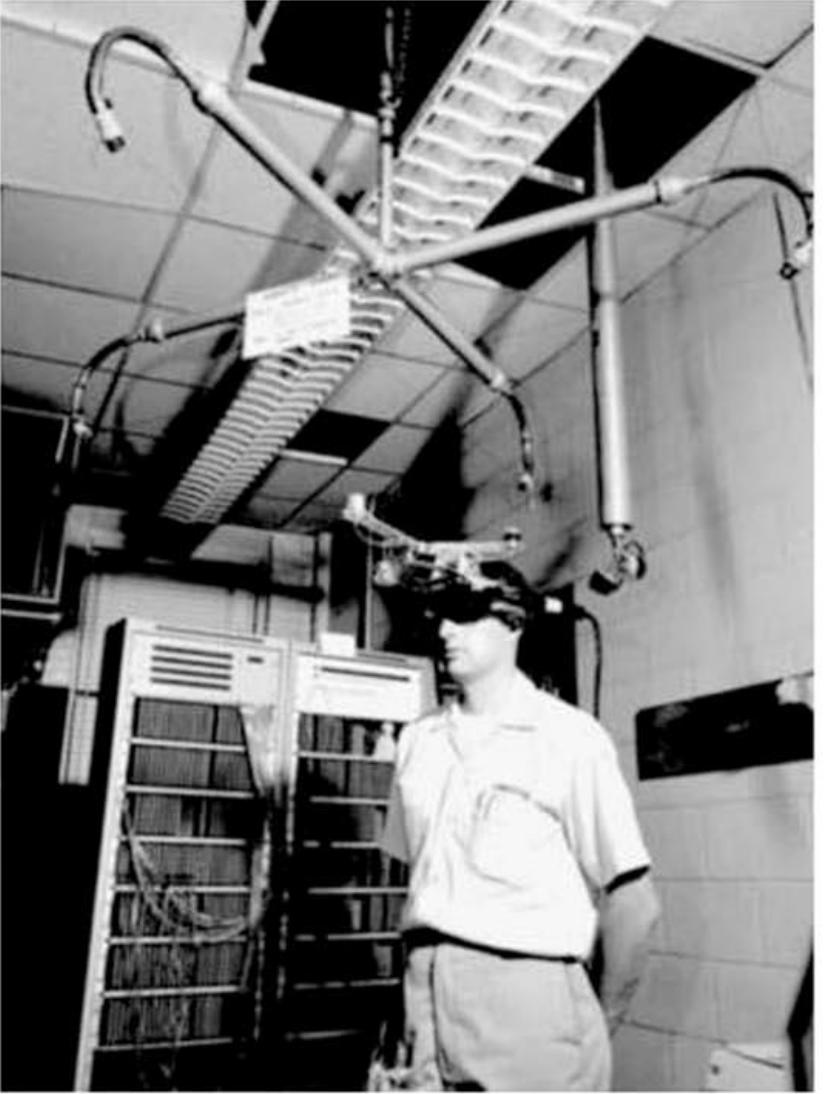


**Abb. 1.4** Reality-Virtuality-Kontinuum. Nach Milgram et al. (1995)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

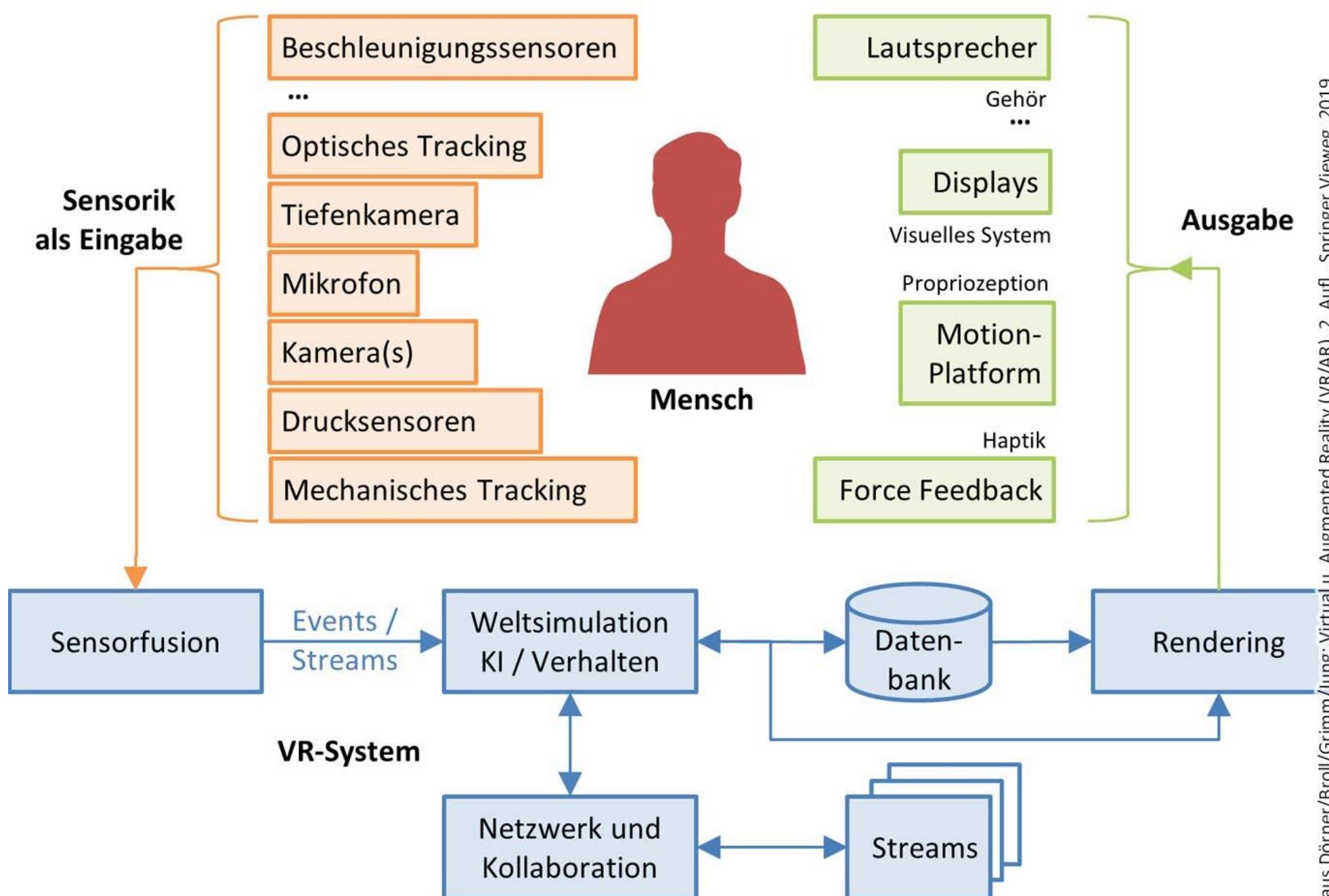


**Abb. 1.5** AR im Vergleich zu VR



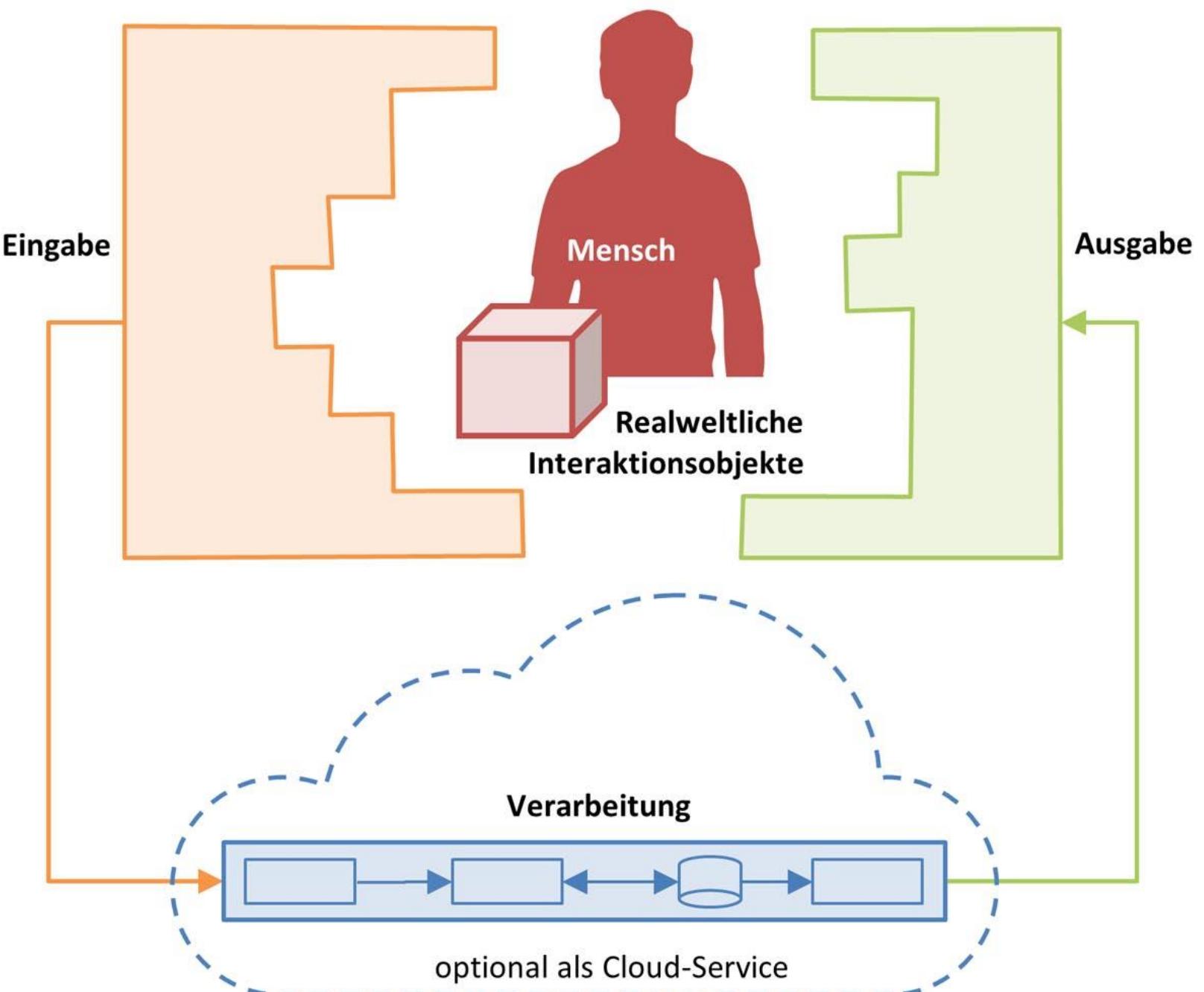
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 1.6** Pionierarbeiten im Bereich VR/AR. a) Sutherlands Datenbrille © Ivan Sutherland, All Rights Reserved. b) Nachbau des MARS-Systems von 1997 (Bell et al. 2001), nach [Bell, B., Feiner, S., and Hoellerer, T. Information at a glance. IEEE Computer Graphics & Applications, 22(4), July/August 2002, 6-9]. Abbildung mit freundlicher Genehmigung © Steve Feiner, All Rights Reserved



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 1.7** Überblick über die Teilsysteme eines VR-Systems



**Abb. 1.8** Überblick über die Teilsysteme eines AR-Systems

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

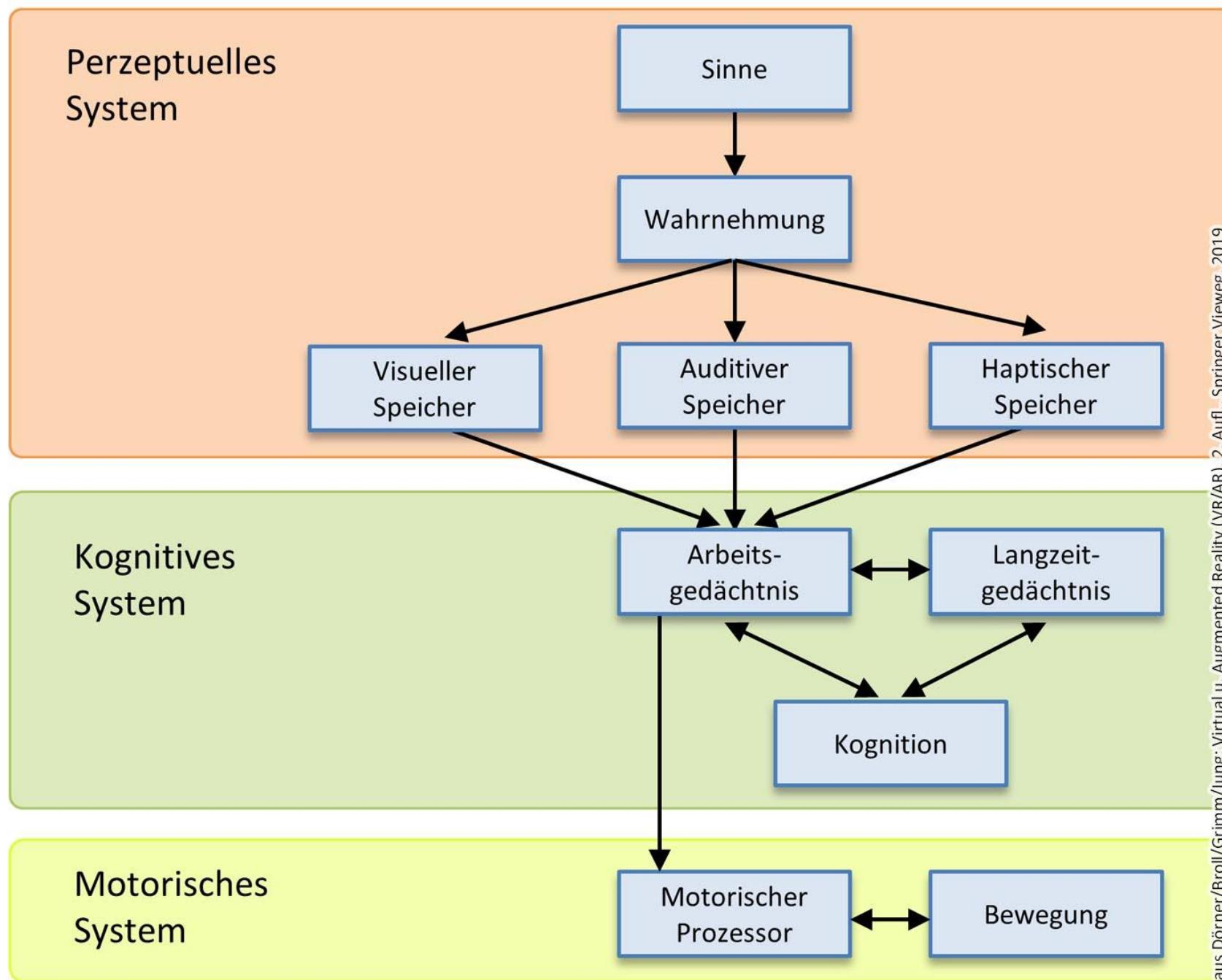
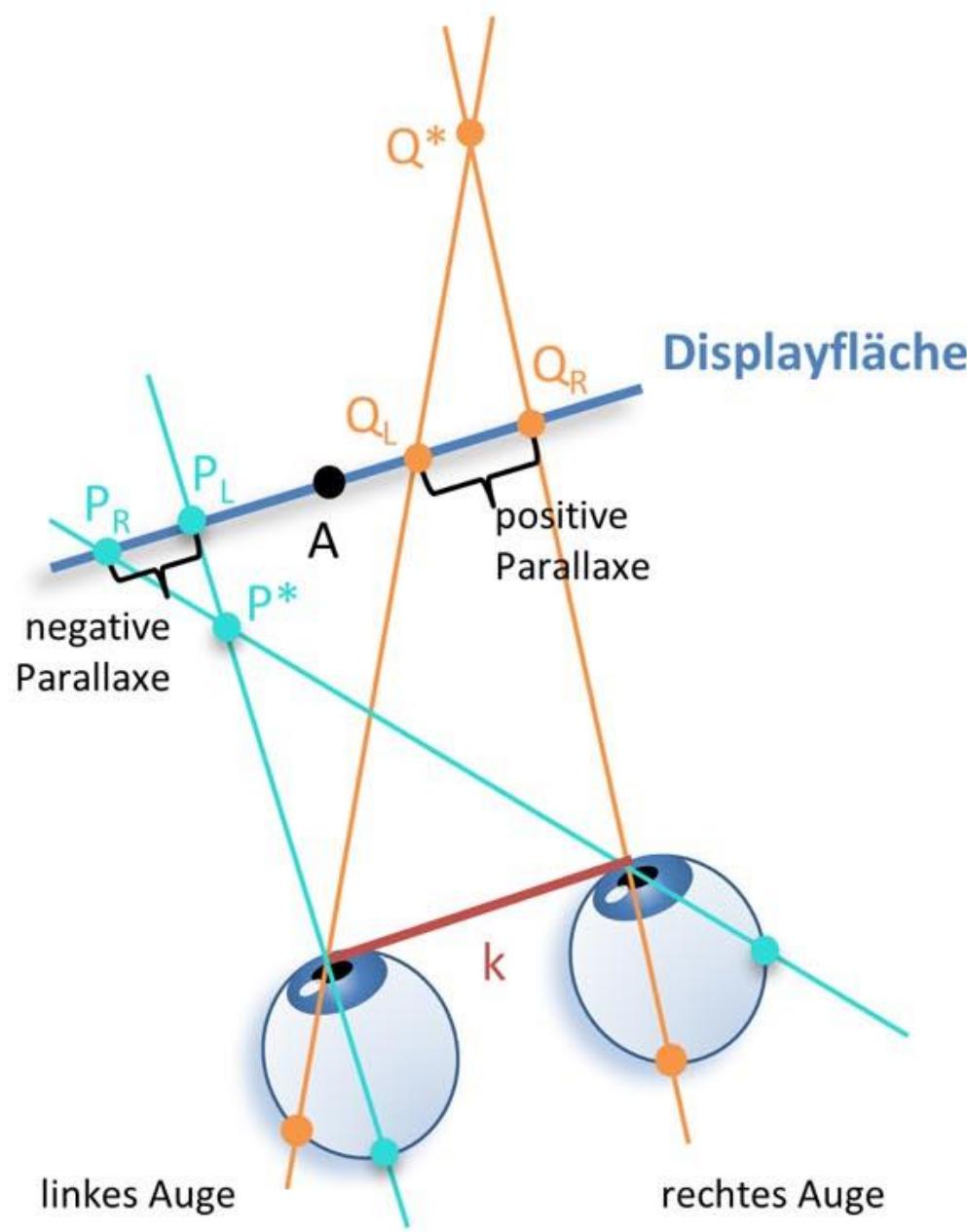
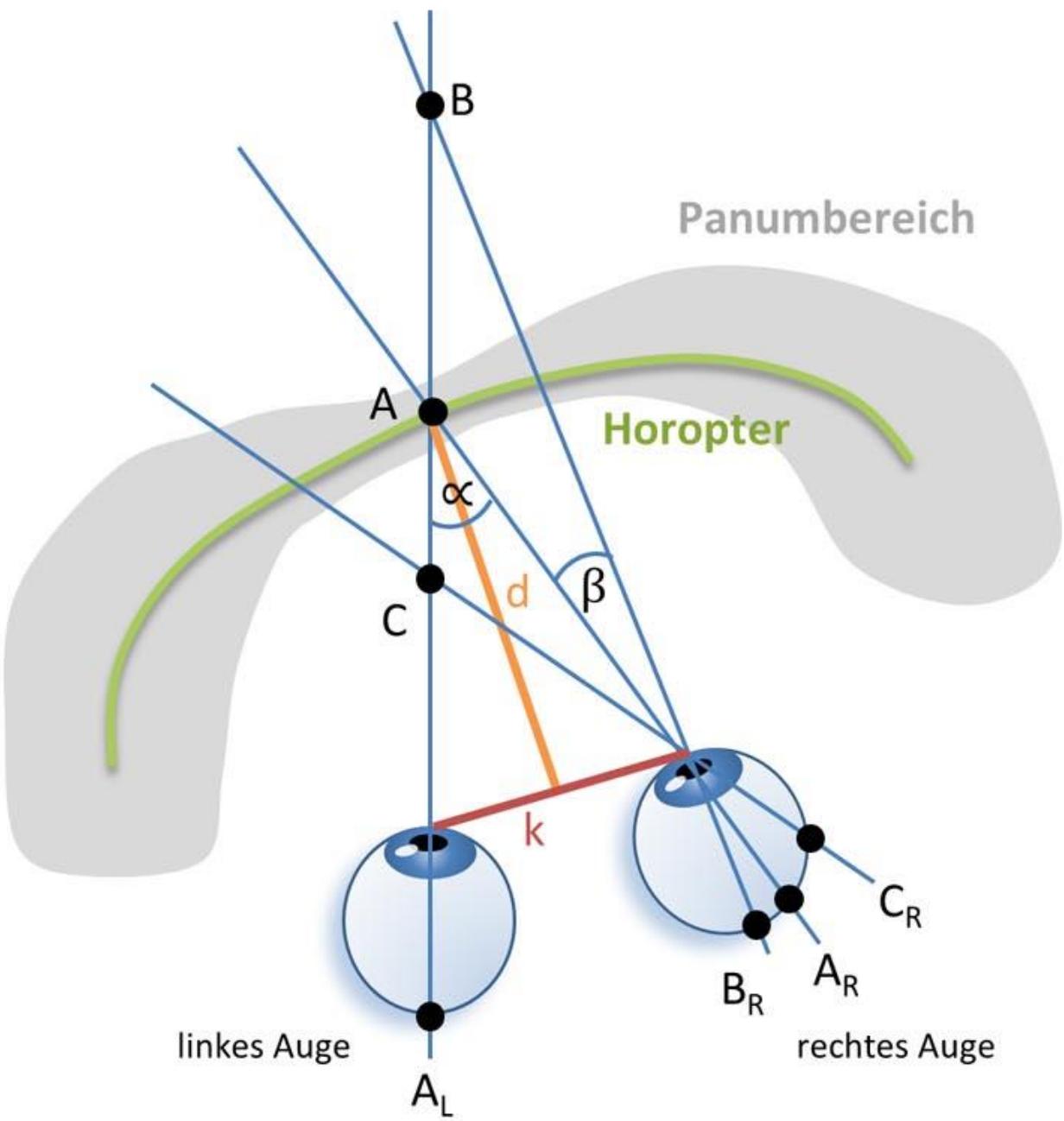
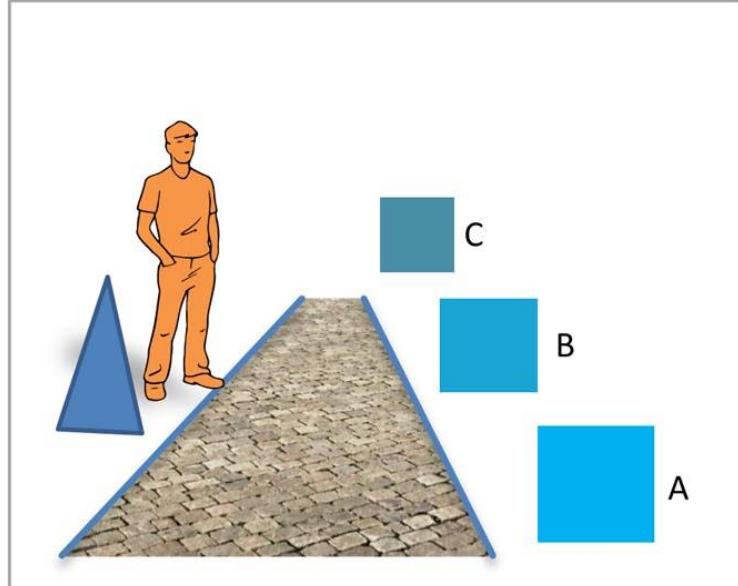


Abb. 2.1 Modell der Menschlichen Informationsverarbeitung. (Nach Card et al. 1986)



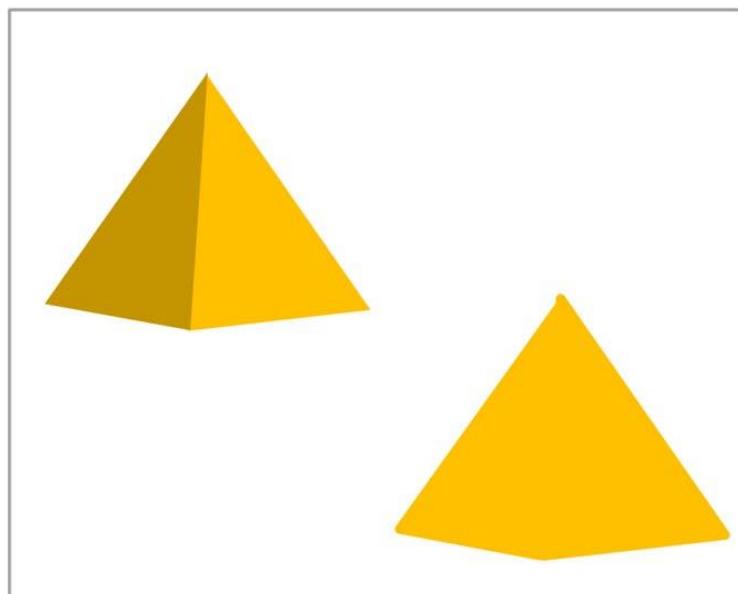
**Abb. 2.2 a)** Stereopsis **b)** Manipulation der Stereopsis mit einem Stereodisplay



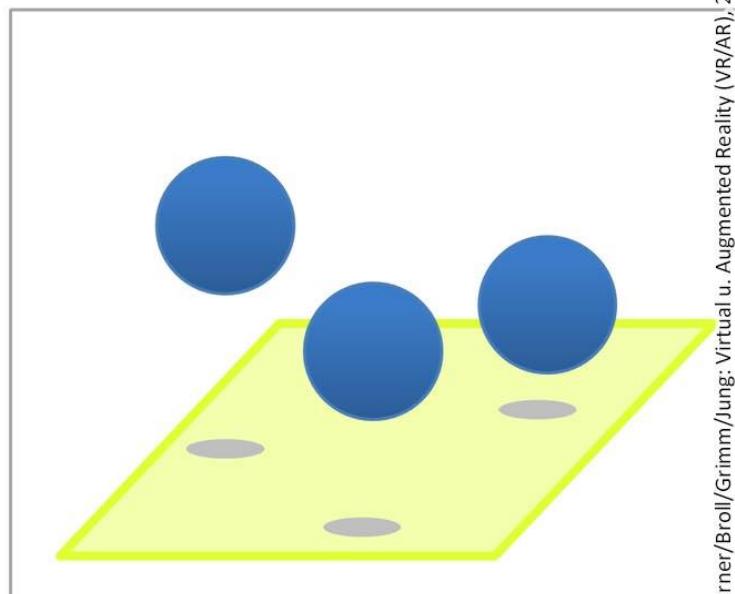
a)



b)



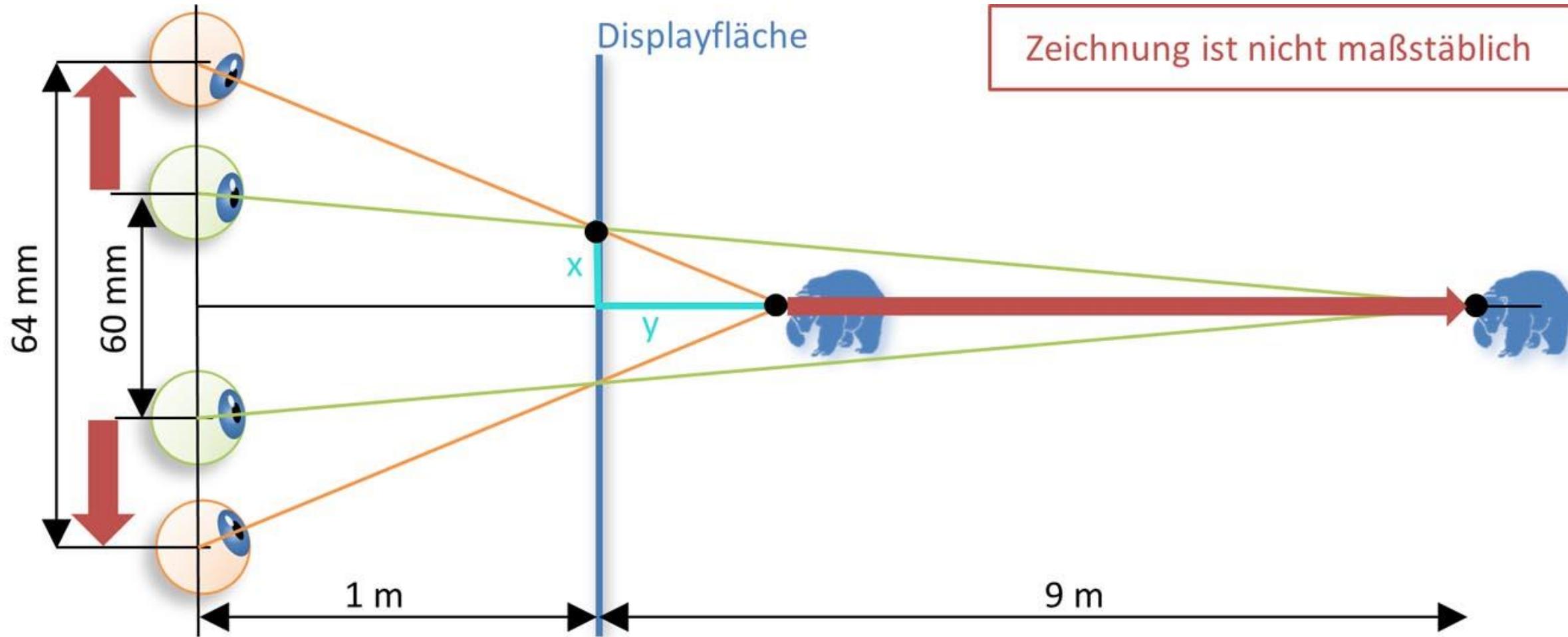
c)



d)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

Abb. 2.3 Beispiele für Tiefenhinweise



Zeichnung ist nicht maßstäblich

↑ 0,004 m Änderung in der  
Virtual Eye Separation

→ 3,6 m Änderung in der  
Tiefenwahrnehmung

Abb. 2.4 Geometrische Auswirkung der Änderung der Virtual Eye Separation (Bruder et al. 2012a)

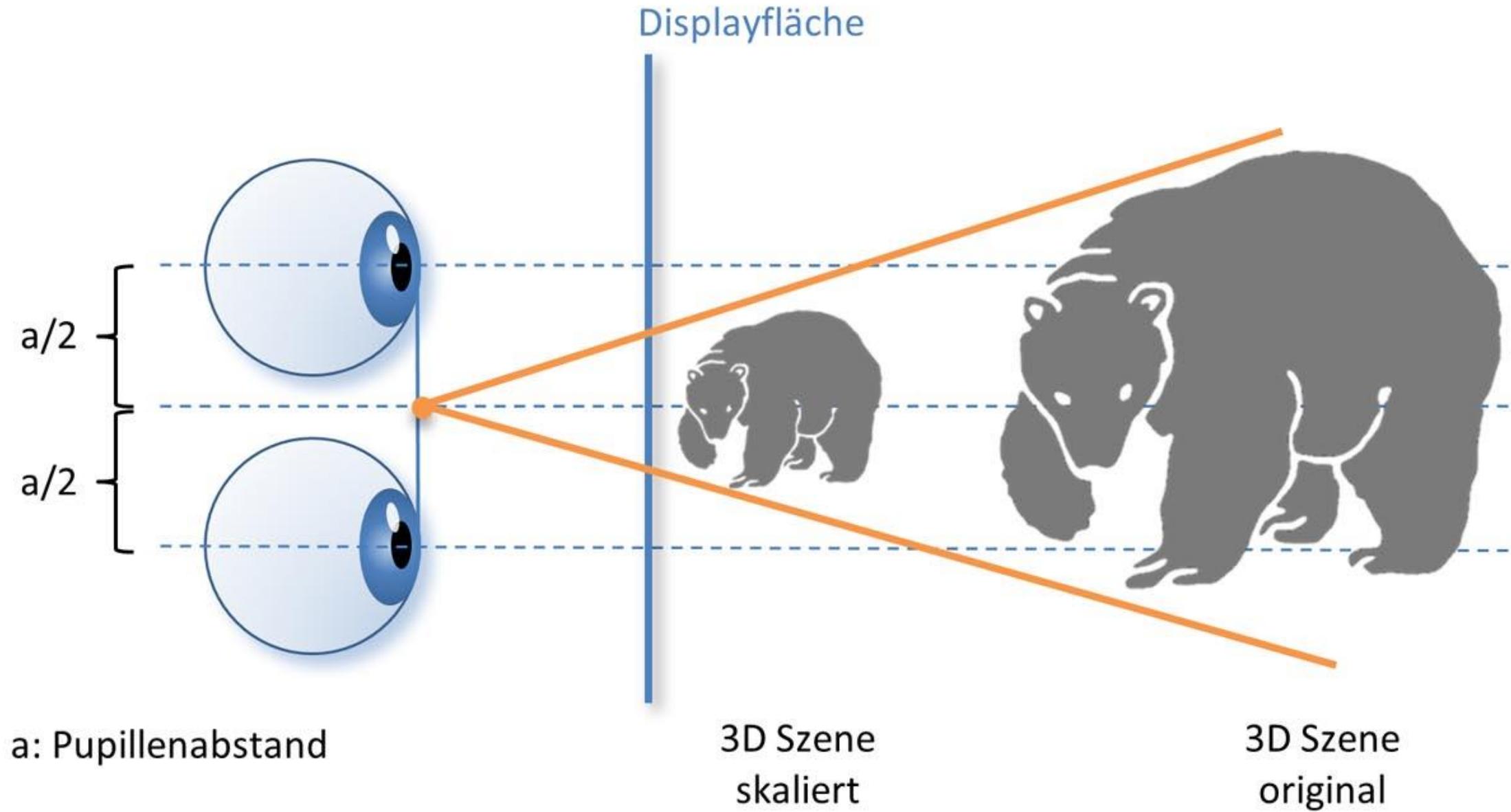
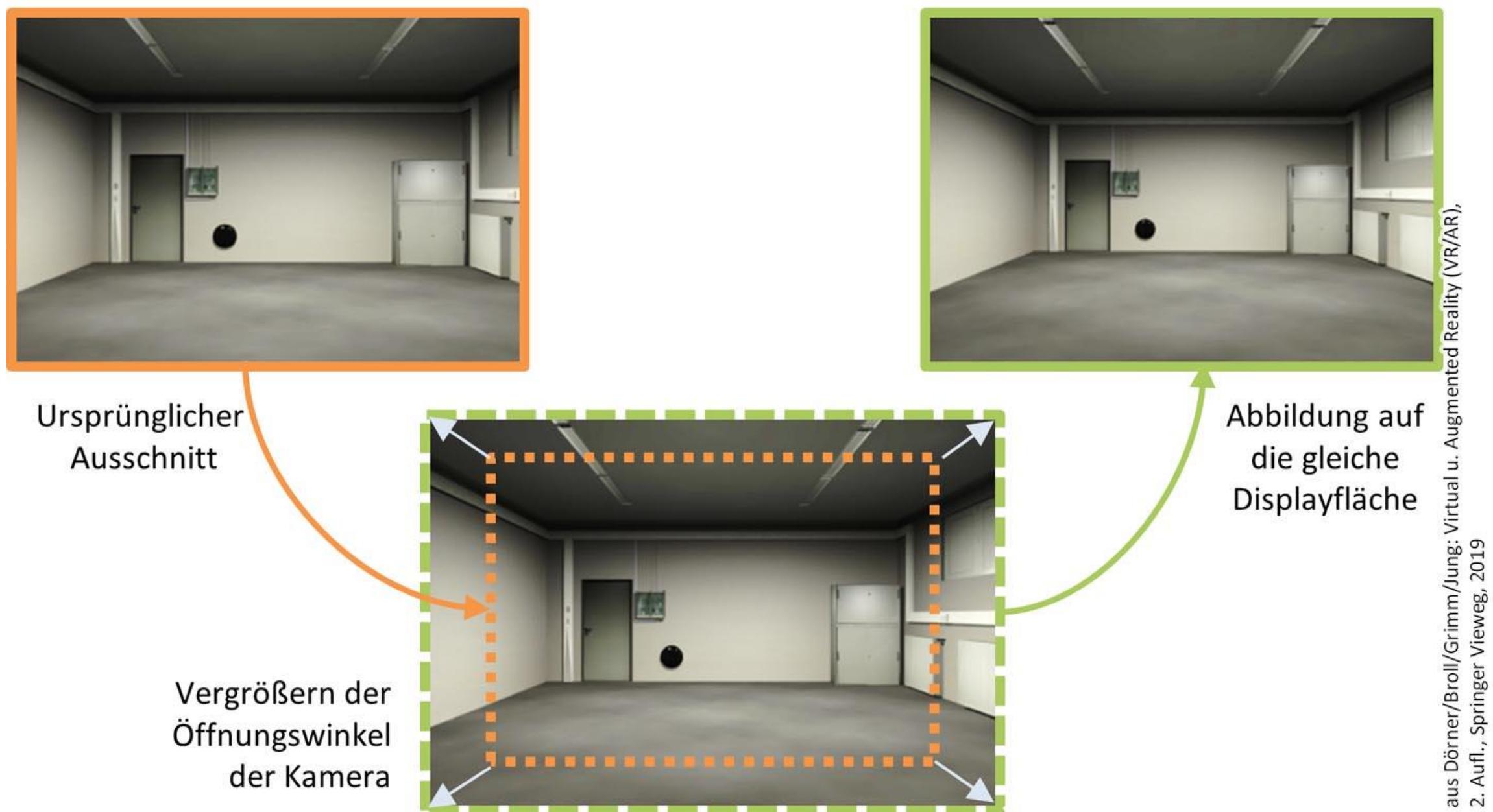


Abb. 2.5 Zyklopische Skalierung



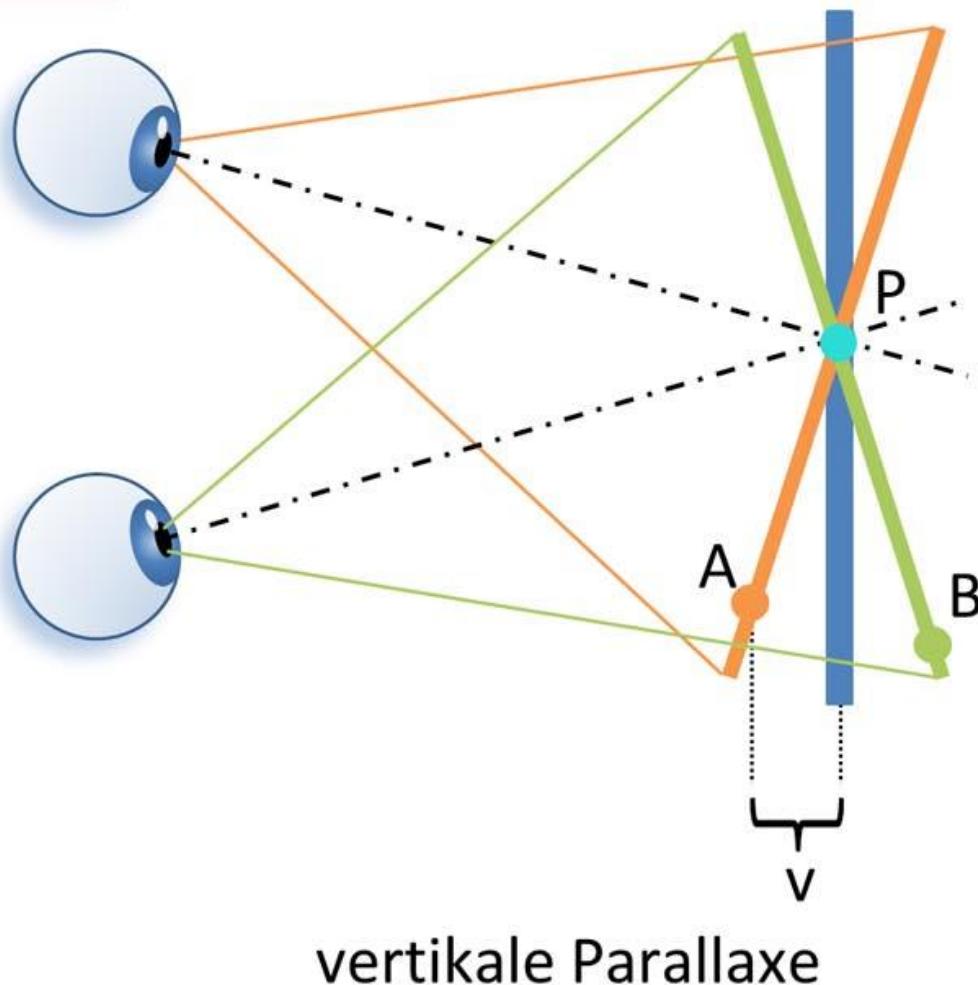
**Abb. 2.6** Darstellung des gleichen virtuellen Raums mit (links) kleinem und (rechts) großem geometrischen Sichtbereichen. (Nach Steinicke et al. 2009)



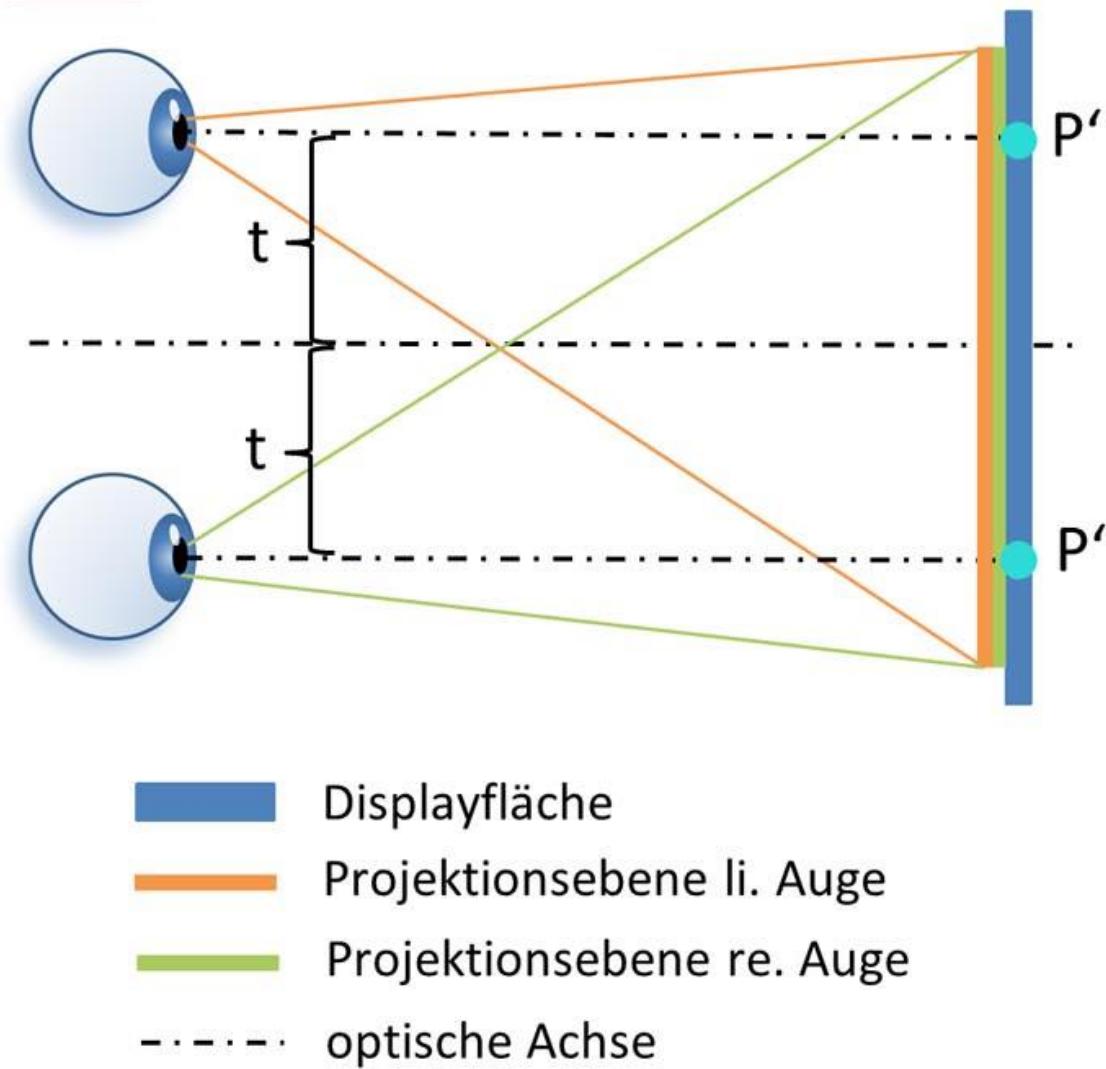
**Abb. 2.7** Darstellung eines virtuellen Portals, durch das Anwender in verschiedene Virtuelle Welten reisen können. (Nach Steinicke et al. 2010b)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**a** Toe-In Methode



**b** Off-Axis Methode



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 2.8** a) Toe-In Methode führt zum Auftreten von vertikaler Parallaxe b) Problemlösung mittels Off-Axis Methode

5 6 8 9 2 7 1  
2 5 7 7 5 0 4  
2 5 8 9 4 1 0

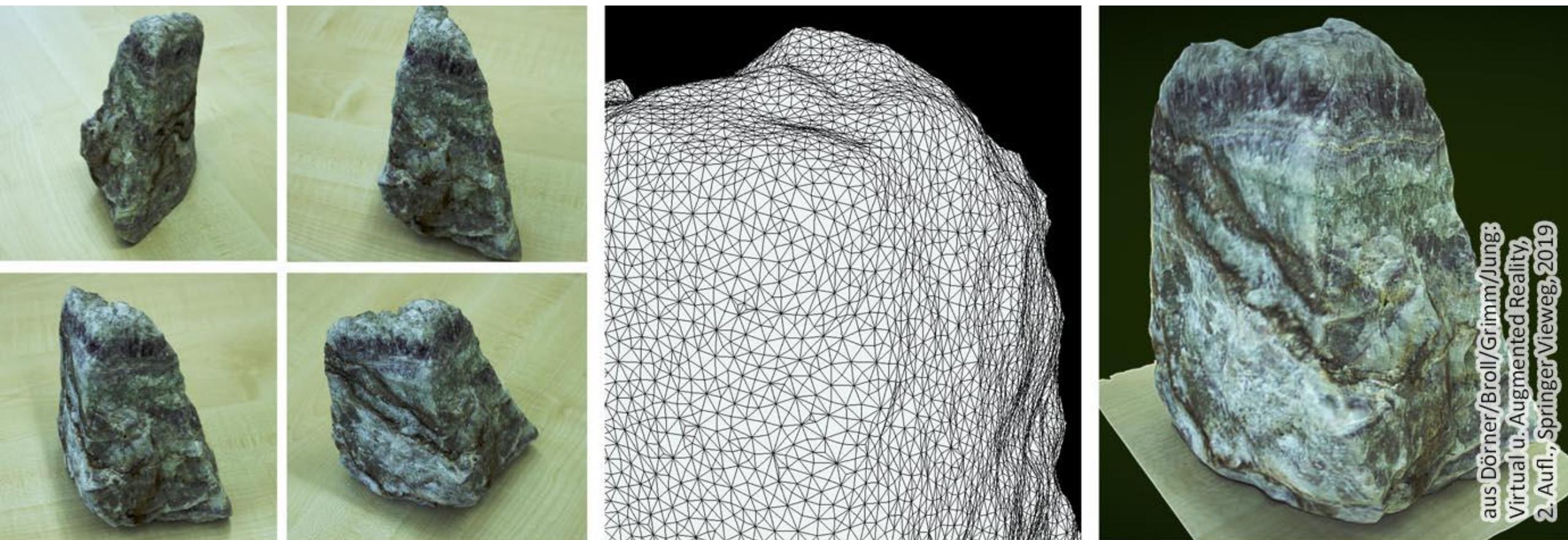
5 6 8 9 2 7 1  
2 5 7 7 5 0 4  
2 5 8 9 4 1 0

5 6 8 9 2 9 1 1 0  
2 5 7 1 5 0 4 8 9  
2 5 8 9 4 1 0 5 8  
2 5 6 7 0 6 4 0 4  
7 5 8 3 4 5 0 3 4  
8 8 5 4 0 9 7 9 1

5 6 8 9 2 9 1 1 0  
2 5 7 1 5 0 4 8 9  
2 5 8 9 4 1 0 5 8  
2 5 6 7 0 6 4 0 4  
7 5 8 3 4 5 0 3 4  
8 8 5 4 0 9 7 9 1

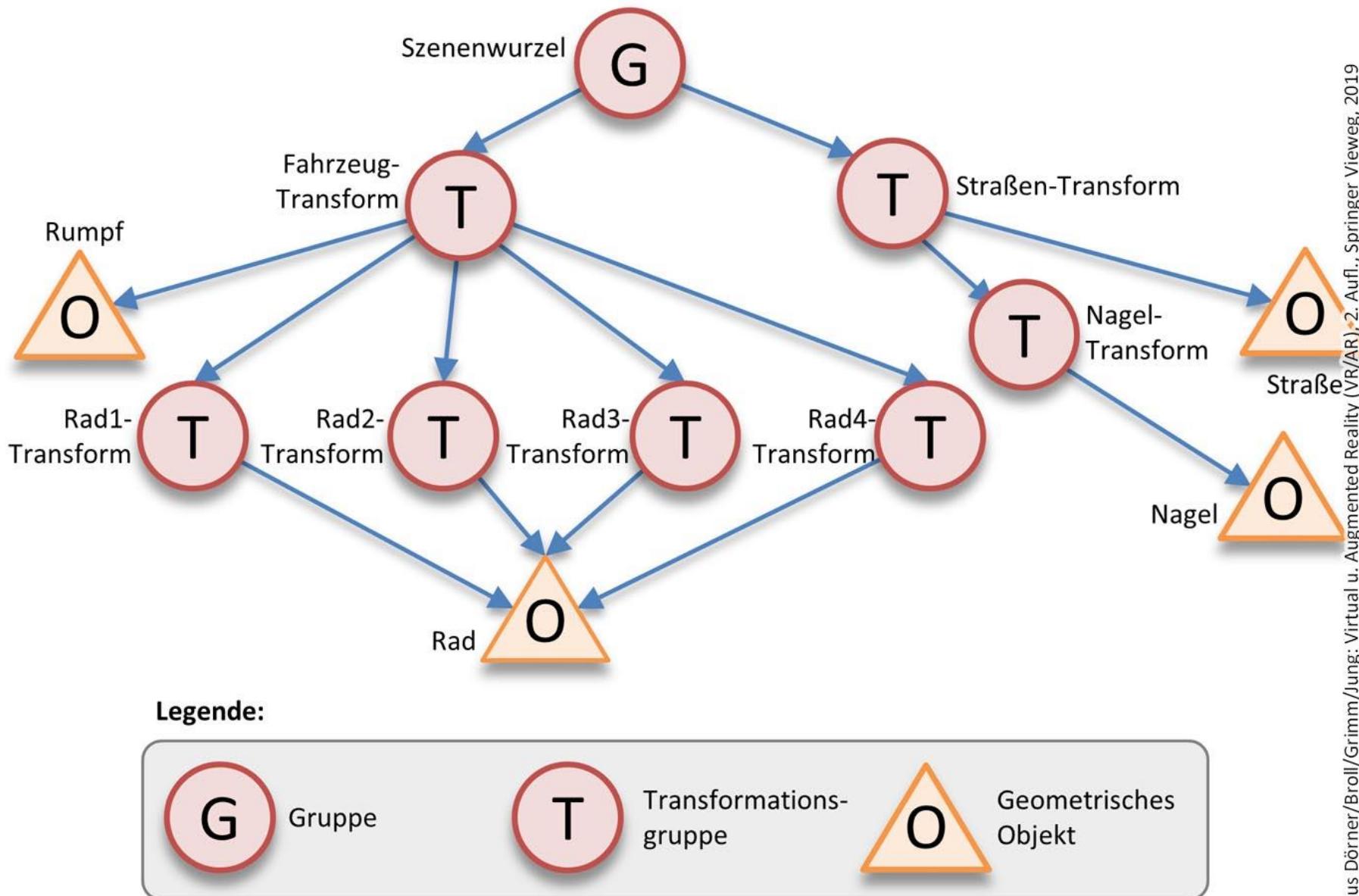
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 2.9** 9 Beispiel für präattentive Wahrnehmung: Die Zeit für die Aufgabe die Anzahl der Ziffer

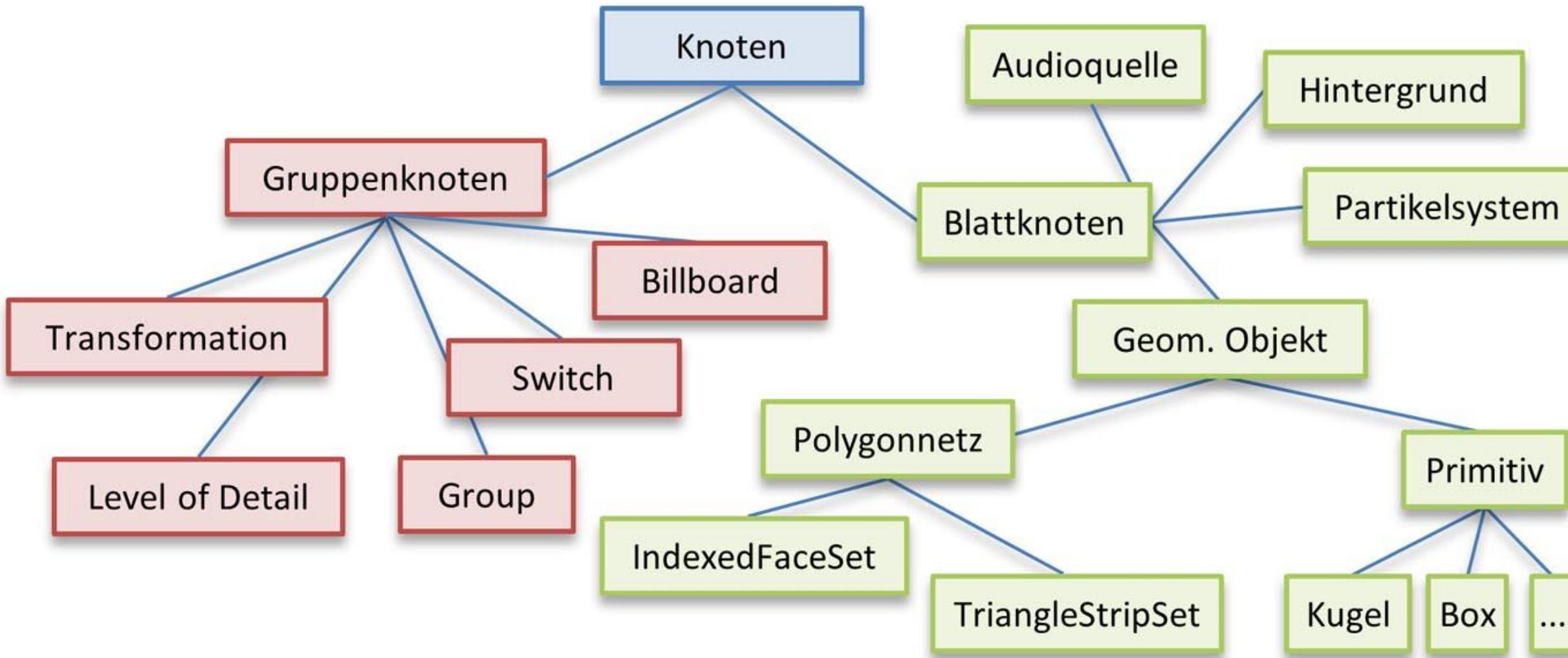


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

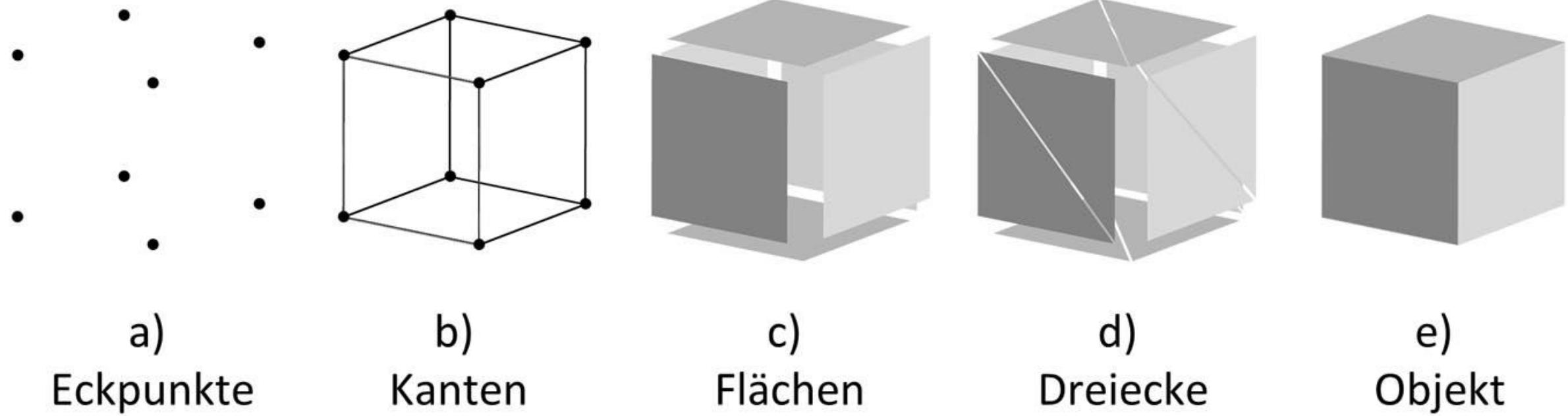
**Abb. 3.1** Erzeugung von 3D-Modellen mittels Photogrammetrie-Software. Links: Auswahl von Fotos eines Objekts, typischerweise würden mehrere Dutzend Fotos verwendet. Mitte: Generiertes 3D-Modell in Gitternetzdarstellung. Rechts: Texturiertes 3D-Modell



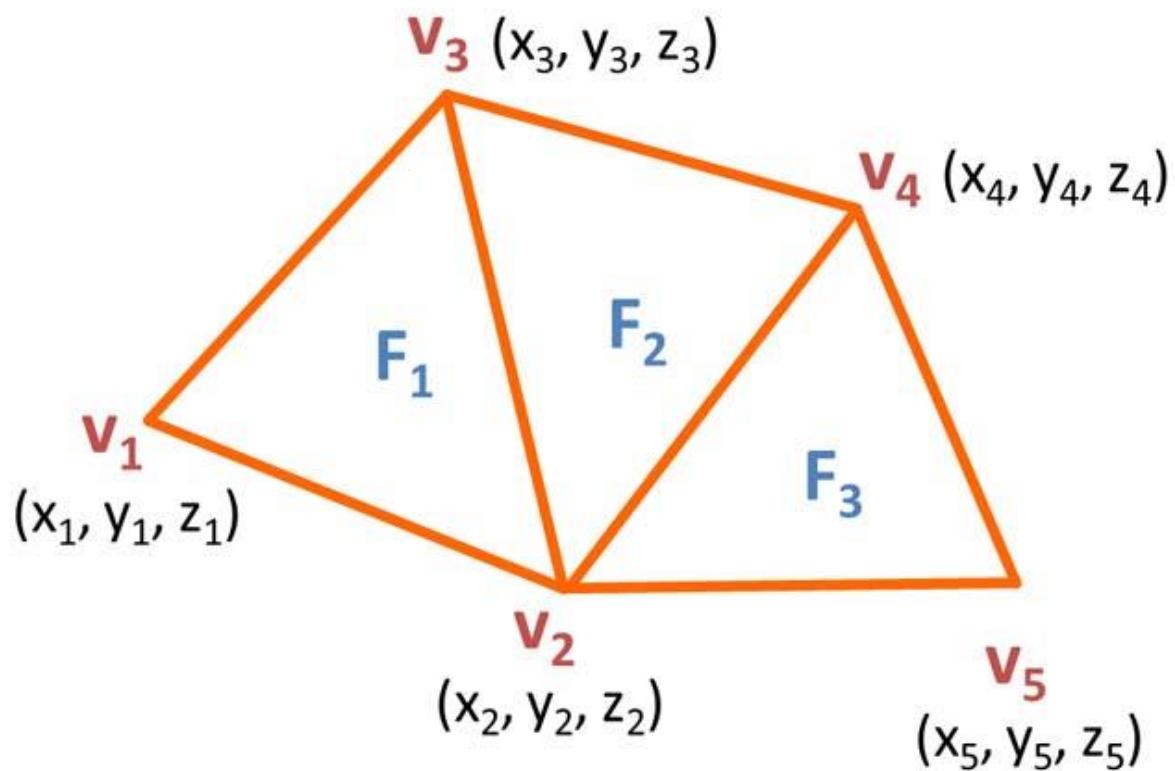
**Abb. 3.2** Beispiel für einen Szenengraphen. Die Szene besteht aus einem Fahrzeug mit vier Rädern sowie einer Straße, auf der ein Nagel liegt. Das 3D-Objekt für das Rad muss nur einmal in den Speicher geladen werden, wird aber mehrfach wiederverwendet



**Abb. 3.3** Auswahl typischer Knotentypen in Szenengrapharchitekturen. Die Blattknoten im Szenengraph (grün) werden i. d. R. visuell oder auditiv dargestellt, Gruppenknoten (rot) dienen der Strukturierung



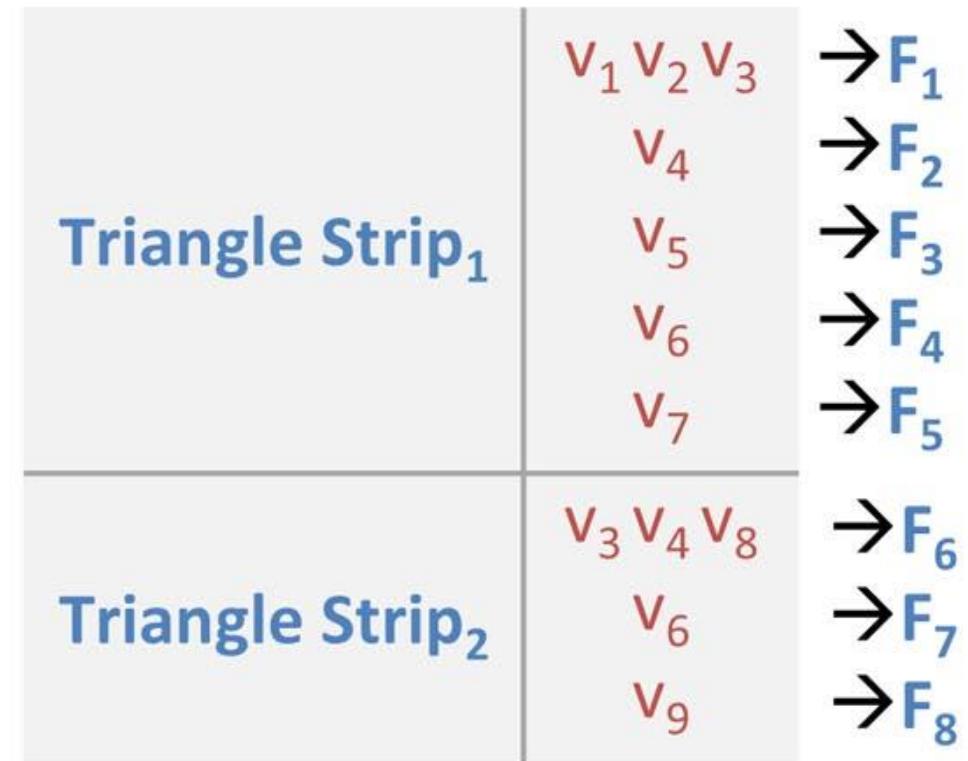
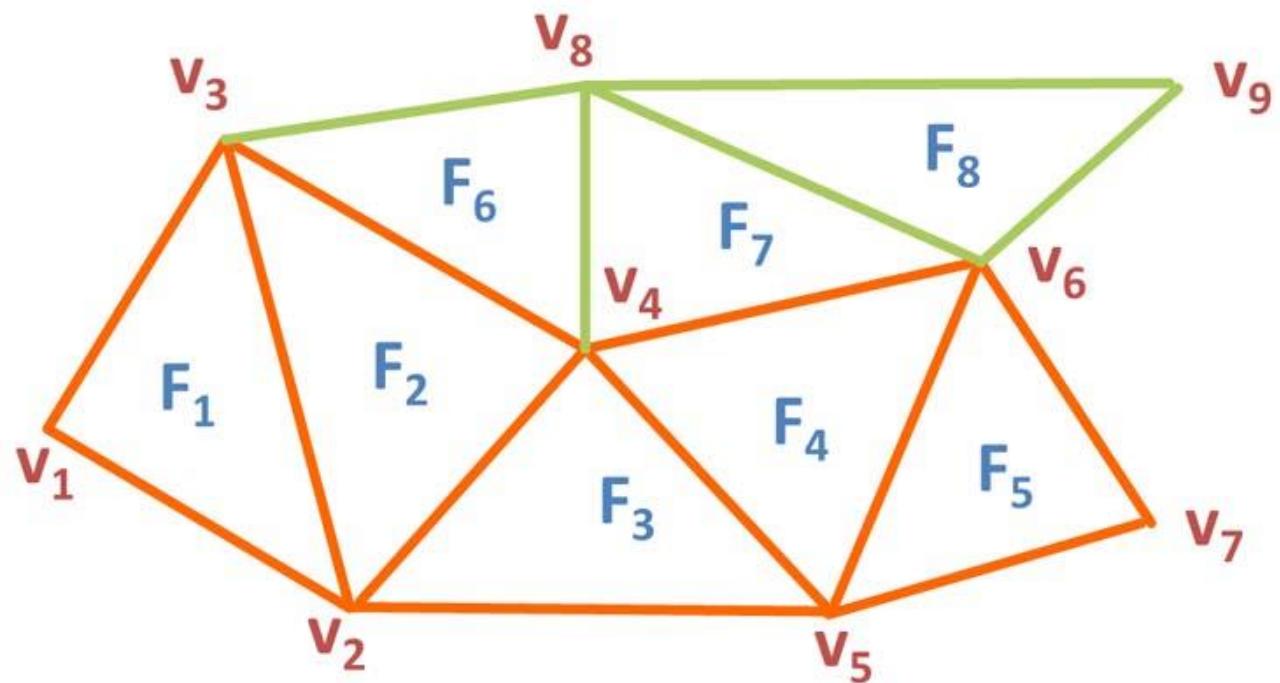
**Abb. 3.4** Elemente polygonbasierter Objektrepräsentationen



Eckpunkte	
$v_1$	$x_1 \ y_1 \ z_1$
$v_2$	$x_2 \ y_2 \ z_2$
$v_3$	$x_3 \ y_3 \ z_3$
$v_4$	$x_4 \ y_4 \ z_4$
$v_5$	$x_5 \ y_5 \ z_5$

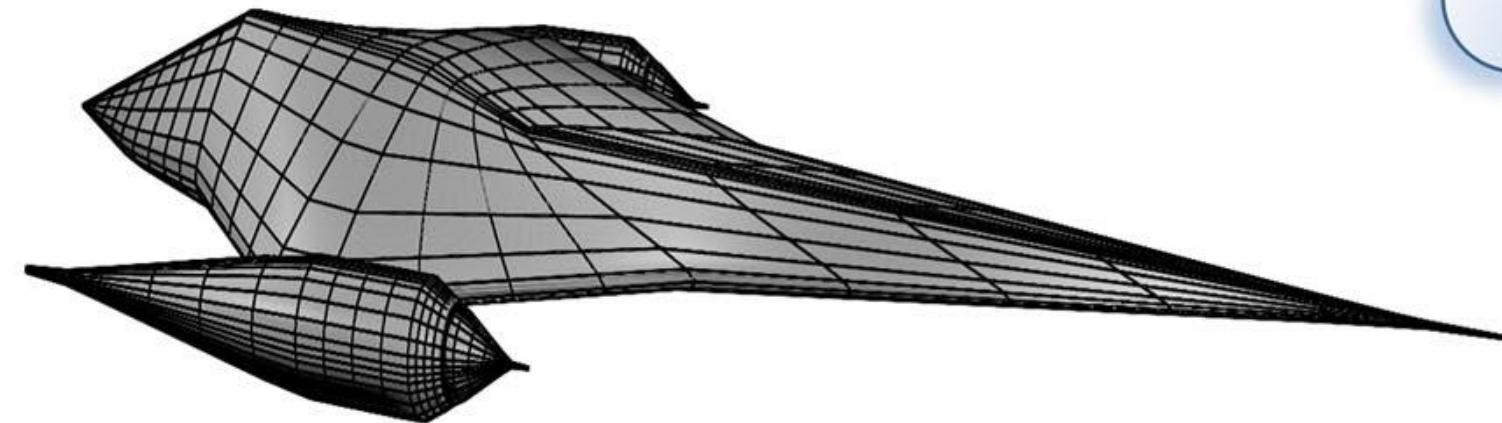
Flächen	
$F_1$	$v_1 \ v_2 \ v_3$
$F_2$	$v_2 \ v_4 \ v_3$
$F_3$	$v_2 \ v_5 \ v_4$

**Abb. 3.5** Repräsentation eines Polygonnetzes durch separate Listen für Eckpunkte (Vertices) und Flächen als IndexedFaceSet

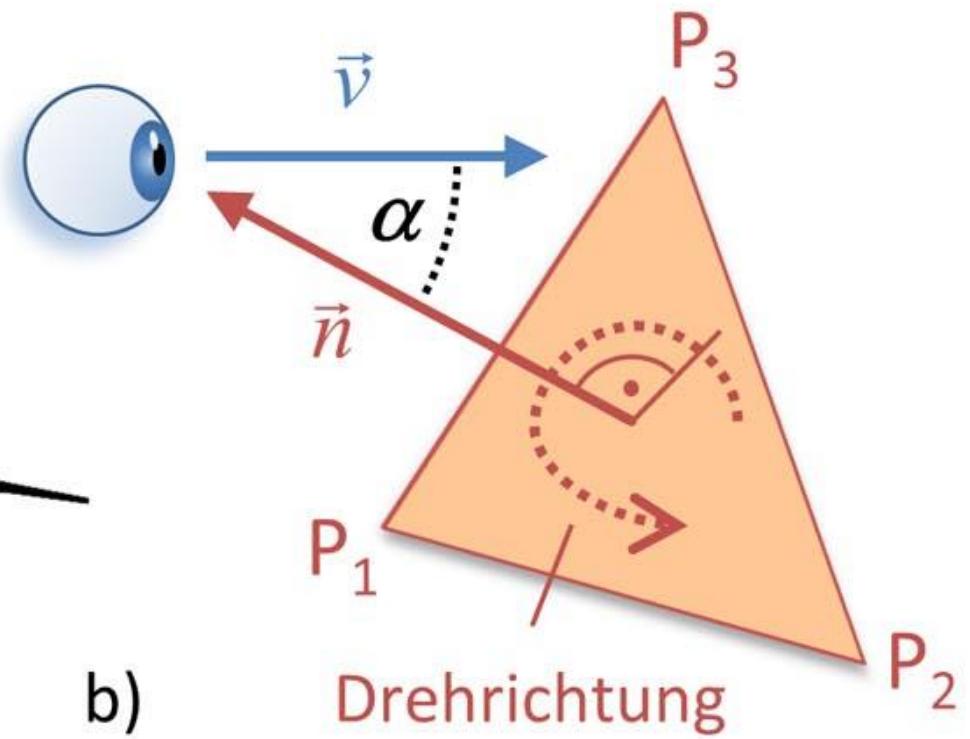


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.6** Repräsentation eines Dreiecknetzes durch Triangle Strips

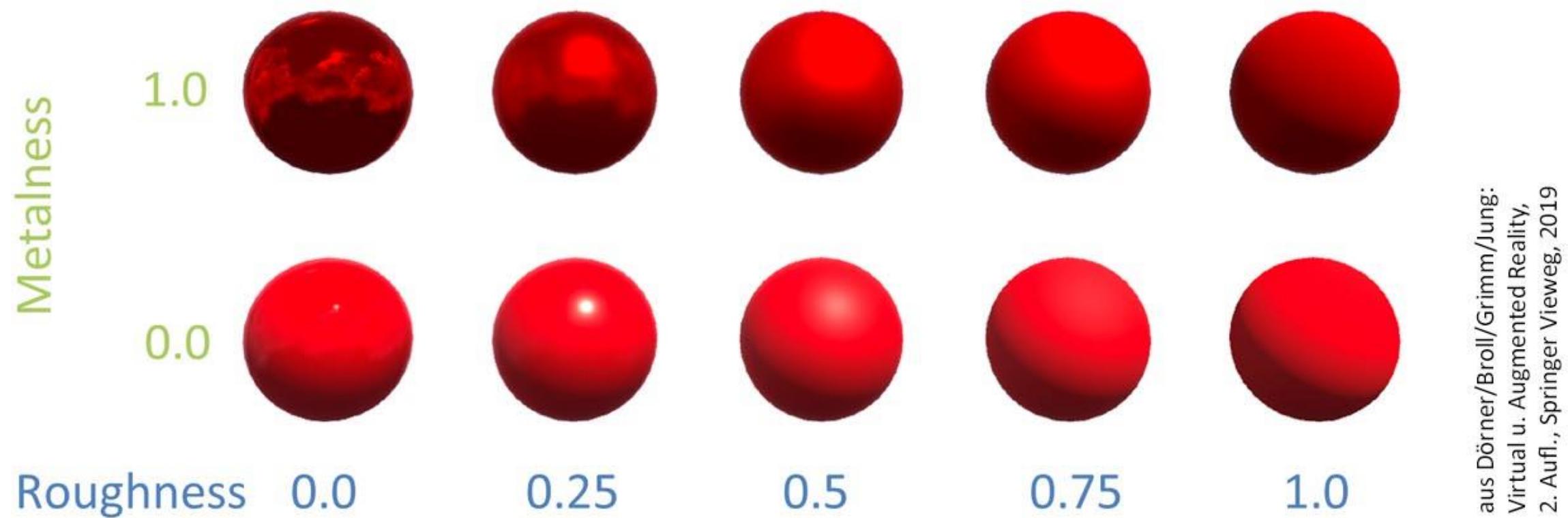


a)



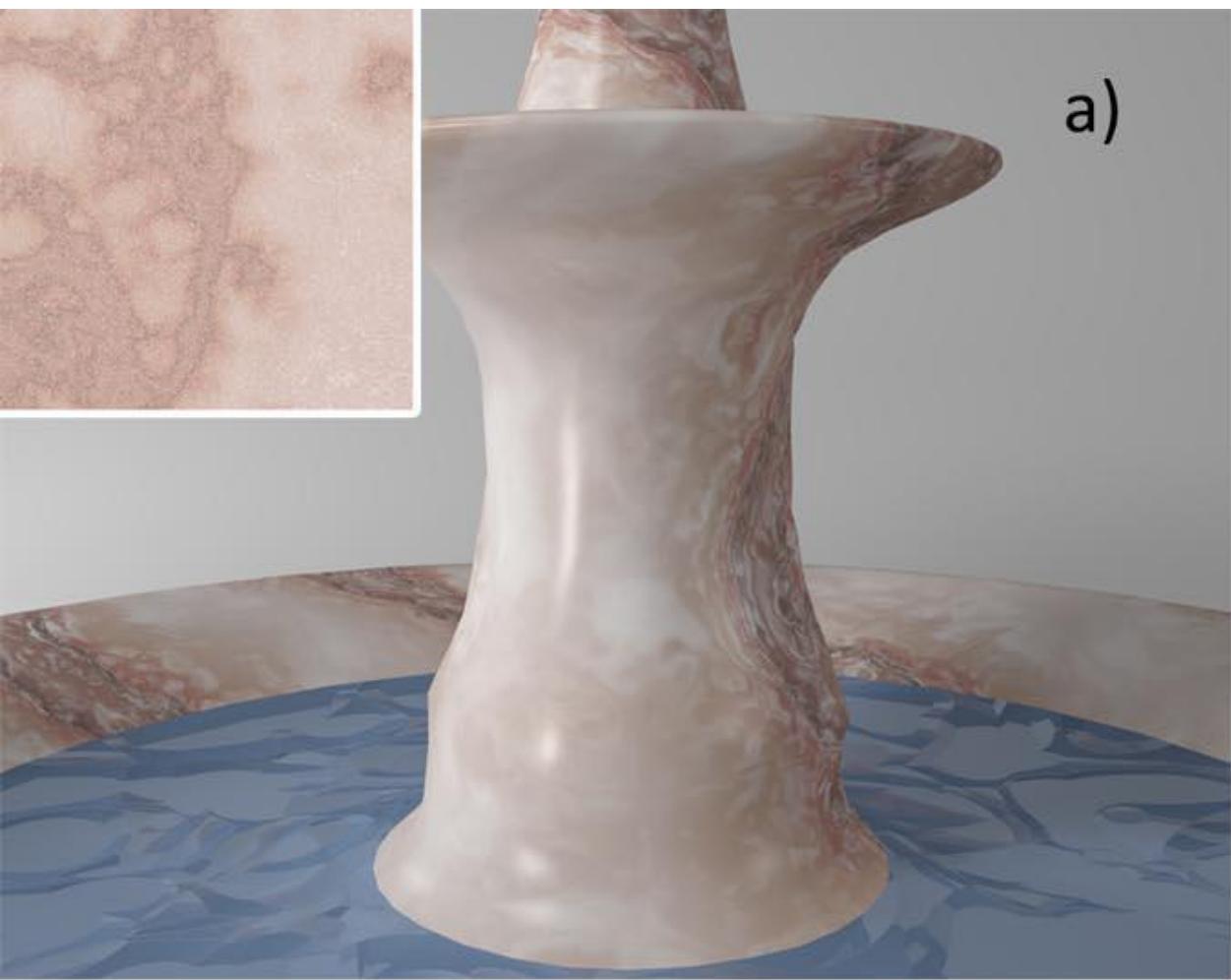
b)

**Abb. 3.7** a) Beispiel eines B-Rep-Solids. b) Bestimmung der Vorderseite bzw. Rückseite eines Polygons



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.8** Effekt der Metalness- und Roughness-Parameter in einem typischen PBR-Materialsystem. Glatte Oberflächen reflektieren die Umgebung scharf, rauere Oberflächen unscharf bis unmerklich. Glanzlichter auf Metallen scheinen in Farbe der Oberfläche, Glanzlichter von Nichtmetallen in Farbe der Lichtquelle



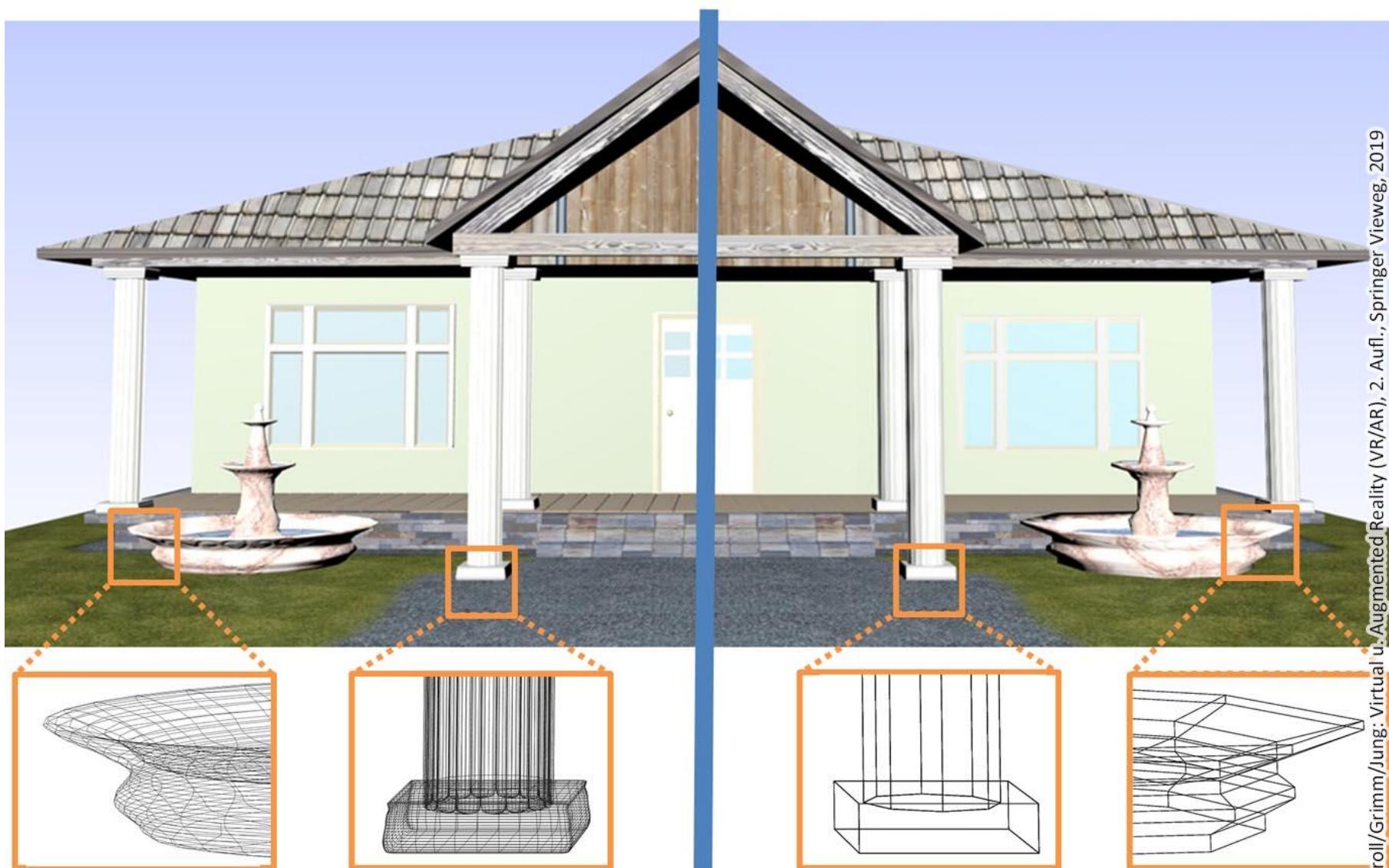
a)



b)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.9** a) Objekt mit Bildtextur, Ausschnitt aus der Textur links oben im Bild, b) Objekt mit Bildtextur und Bump-Map, Ausschnitt aus der Bump-Map links oben im Bild

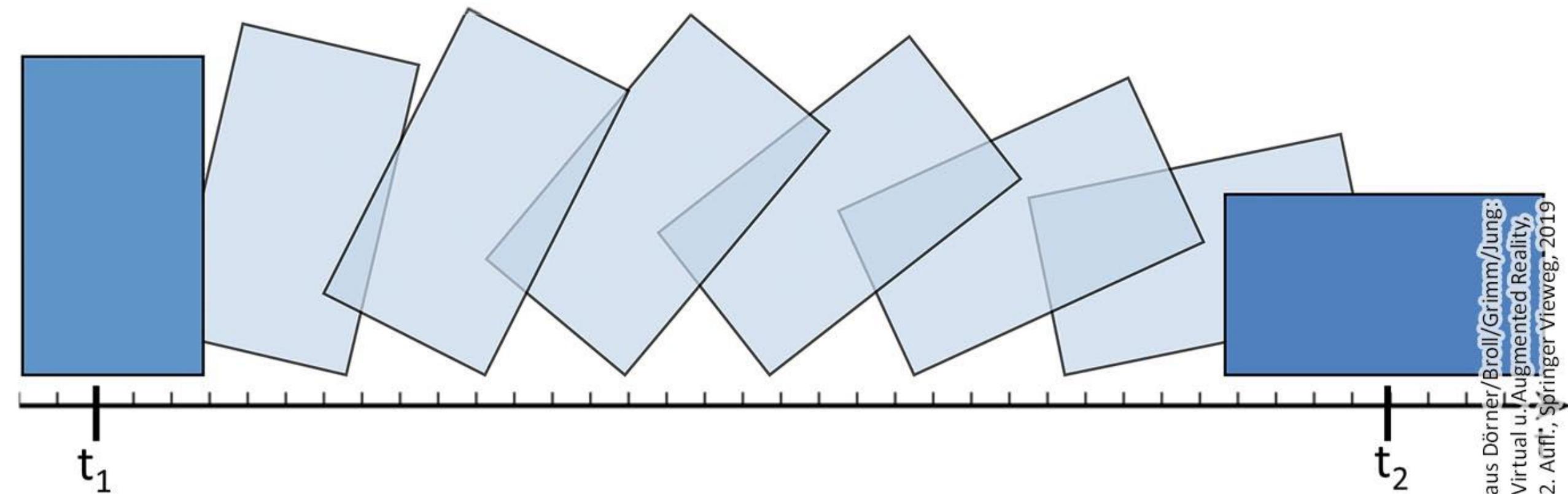


hochauflöstes Objekt  
(ca. 68000 Eckpunkte)

vereinfachtes Objekt (721 Eckpunkte) mit  
gebackener Farbtextur und Bumpmap

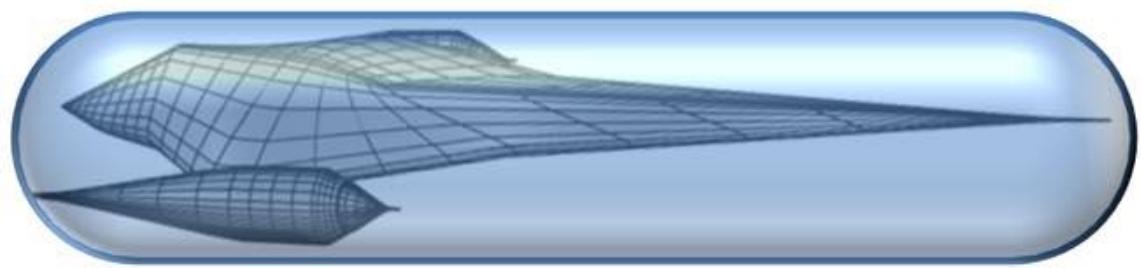
aus Dörner/Böll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.10** Beispiel für Texture Baking. Links: hoch aufgelöste Originalszene. Rechts: Szene mit vereinfachter Geometrie und gebackenen Texturen für Farbe und Bump-Mapping

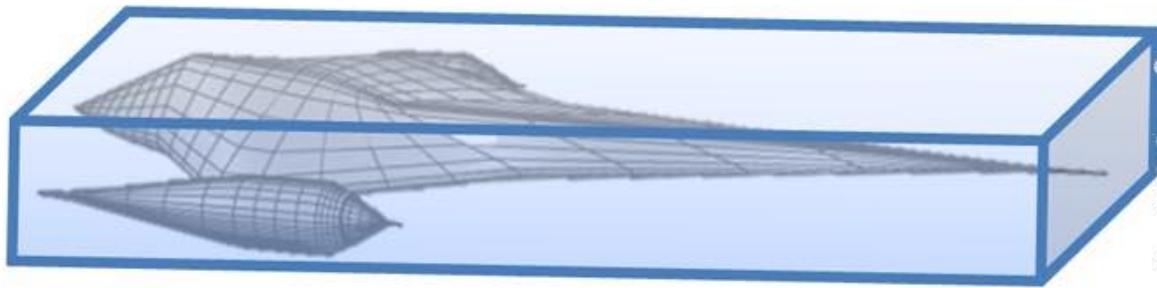


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.11** Keyframes zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ , interpolierte Frames dazwischen. Im Beispiel wird der Rotationswinkel des Objektes animiert

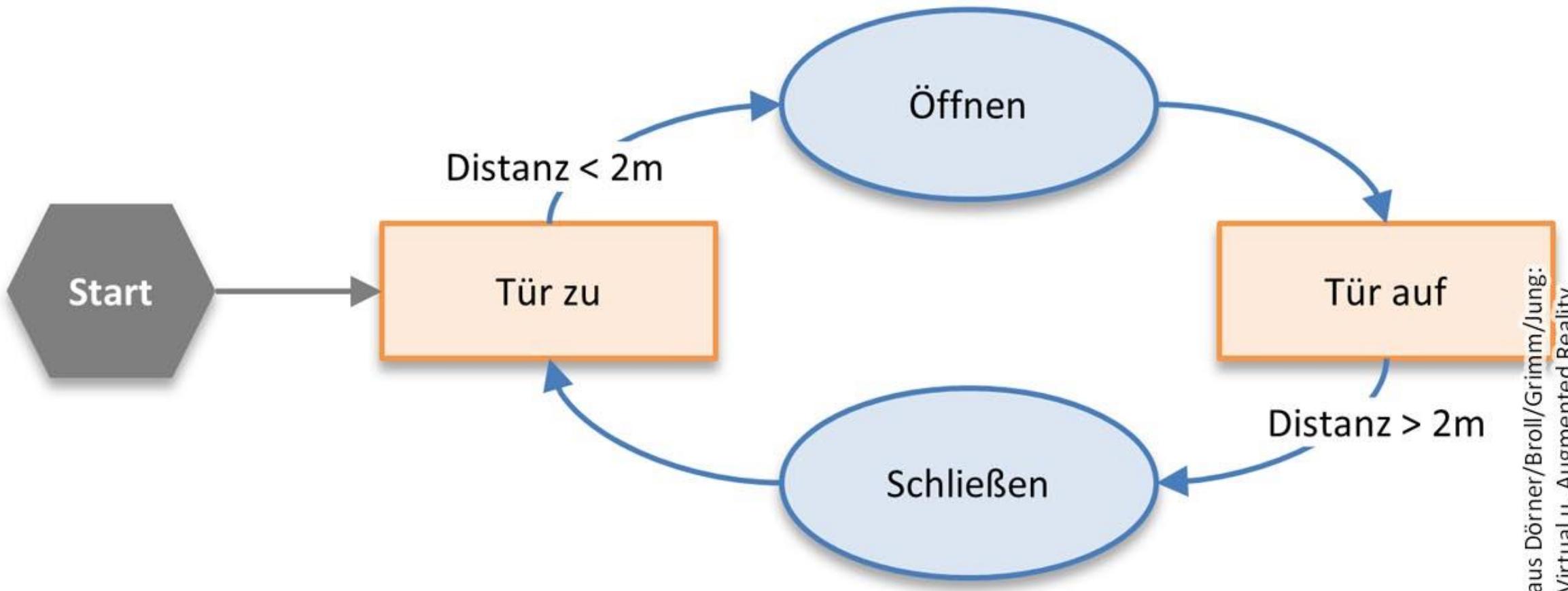


a) Kapsel



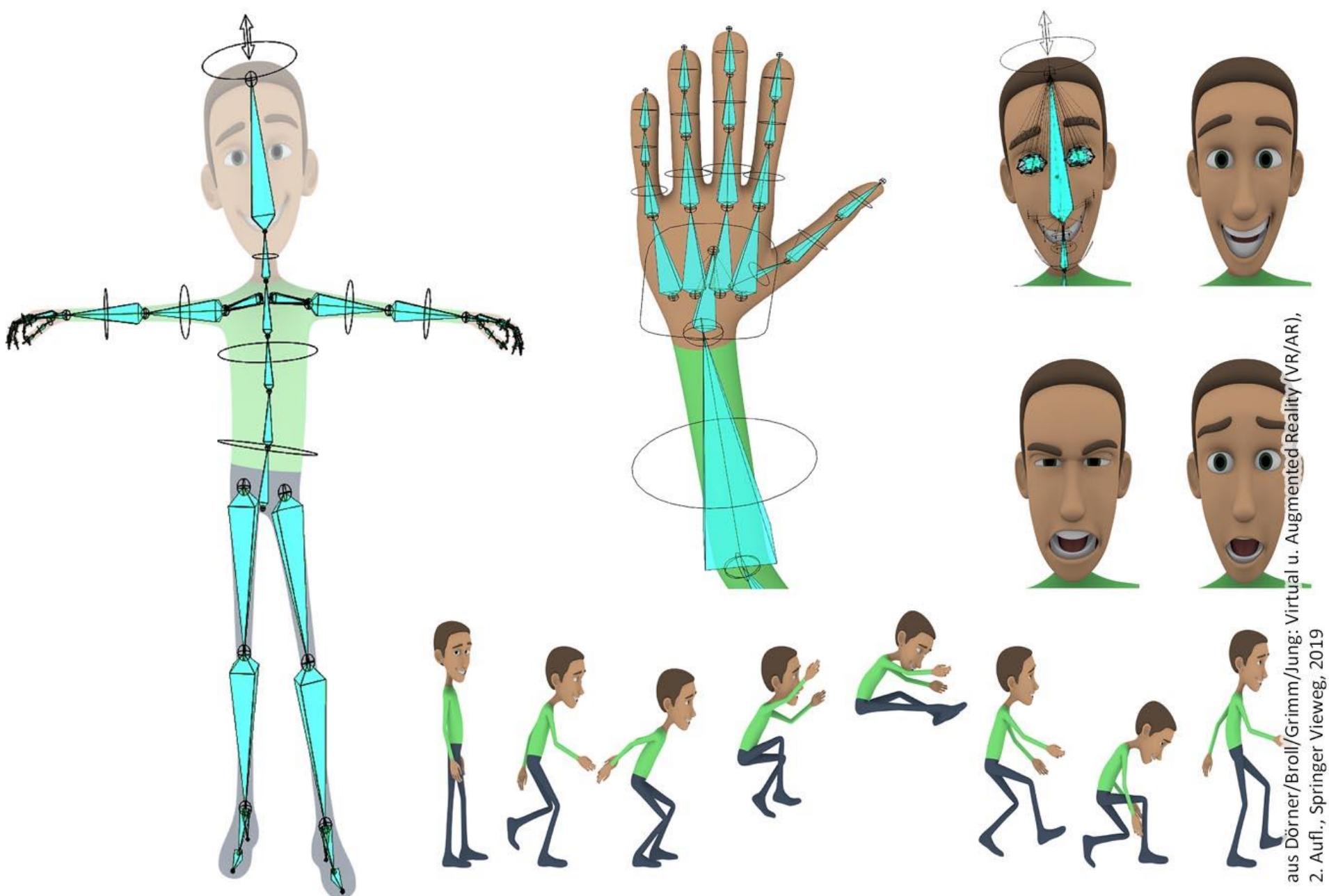
b) Box

**Abb. 3.12** Beispiel für Hüllkörper: Die komplexe Geometrie des Objektes wird durch zwei verschiedene Hüllkörper angenähert, eine Kapsel bzw. eine Box.



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 3.13** Zustandsautomat zur Definition des Verhaltens einer Tür: Unterschreitet die Distanz zwischen VR-Nutzer und Tür zwei Meter, wird die Tür geöffnet und im umgekehrten Fall wieder geschlossen



**Abb. 3.14** Modellierung und Animation von Virtual Humans: Durch Bewegen der Skelettknochen können Animationen von Körper, aber auch Gesichtsausdrücke erstellt werden

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 3.15** Beispiele für Partikelsysteme

0	-	2	-	4
-	-	-	-	-
1	-	3	-	5
-	-	-	-	.
2	-	4	-	6

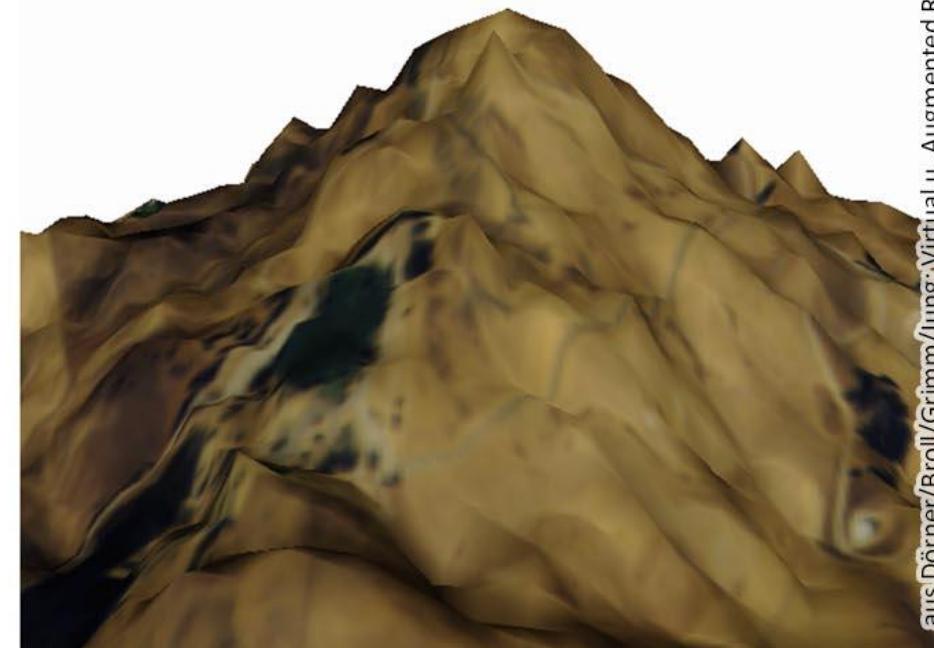
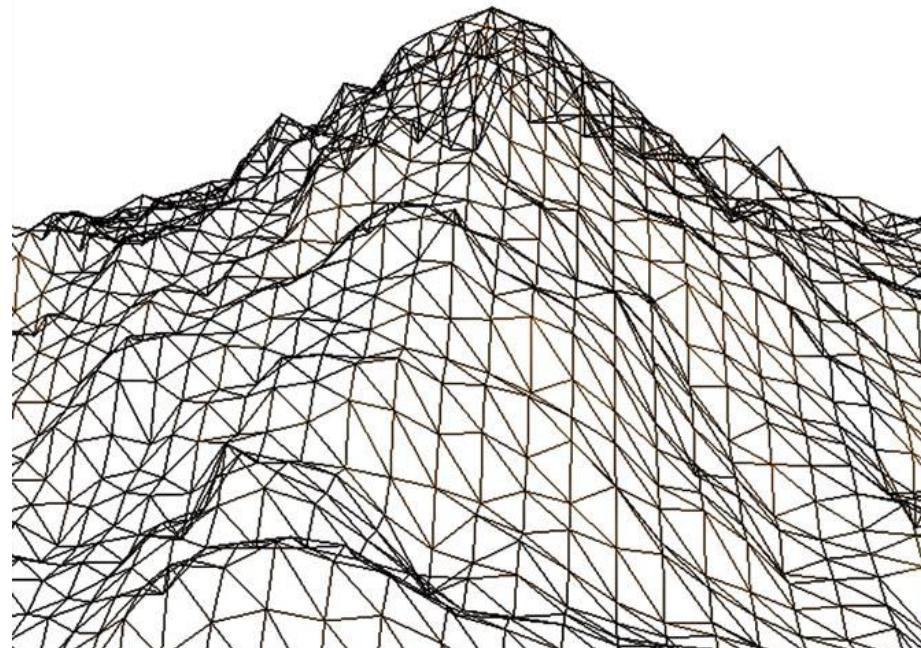
Höhe der Mittelpunkte  
als Mittelwert

0	-	1,7	-	4
-	-	-	-	-
1,2	-	3,5	-	4,7
-	-	-	-	.
2	-	3,8	-	6

Zufällige Verschiebung

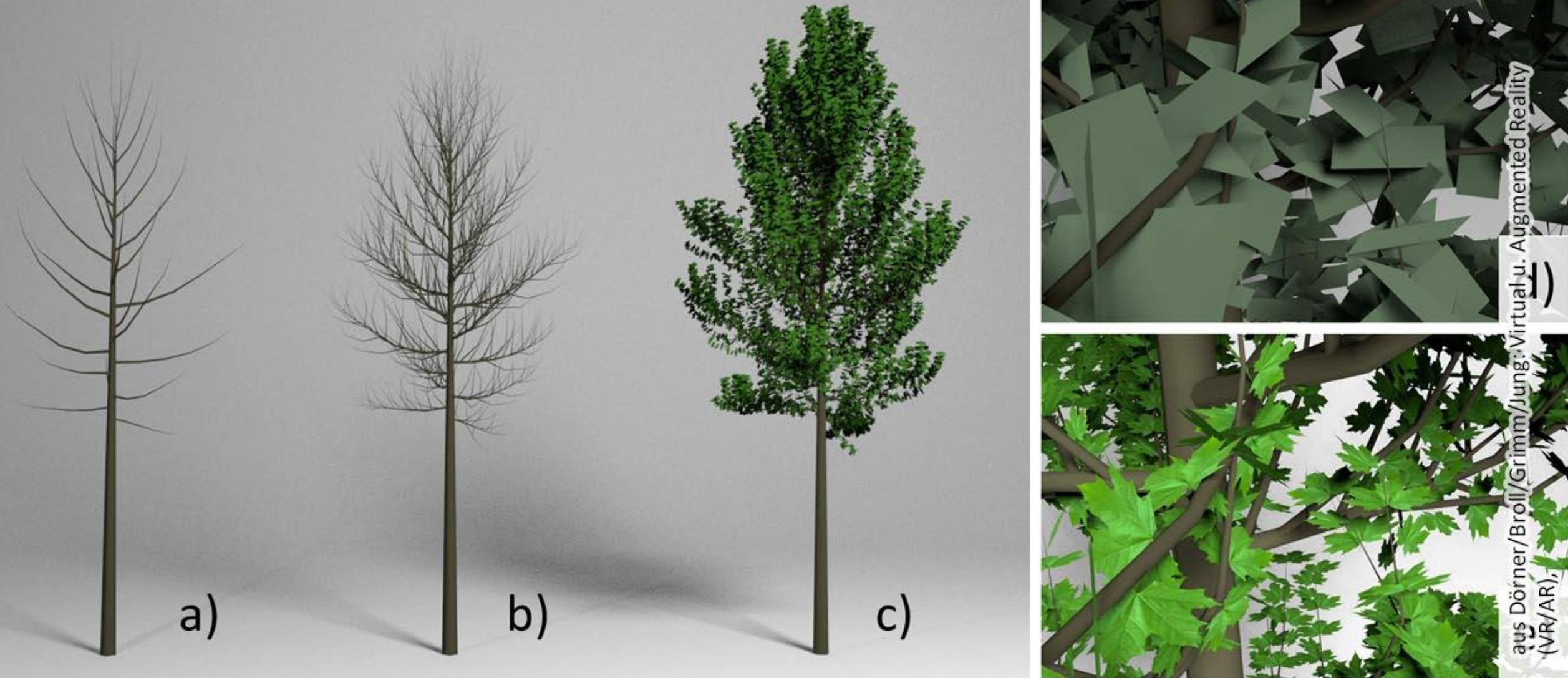
0	0,9	1,7	-	4
0,5	2,1	2,9	-	-
1,2	1,6	3,5	-	4,7
-	-	-	-	.
2	-	3,8	-	6

Rekursion



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung; Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

Abb. 3.16 Prozedurale Generierung von Gelände mit dem Verfahren der Mittelpunktverschiebung

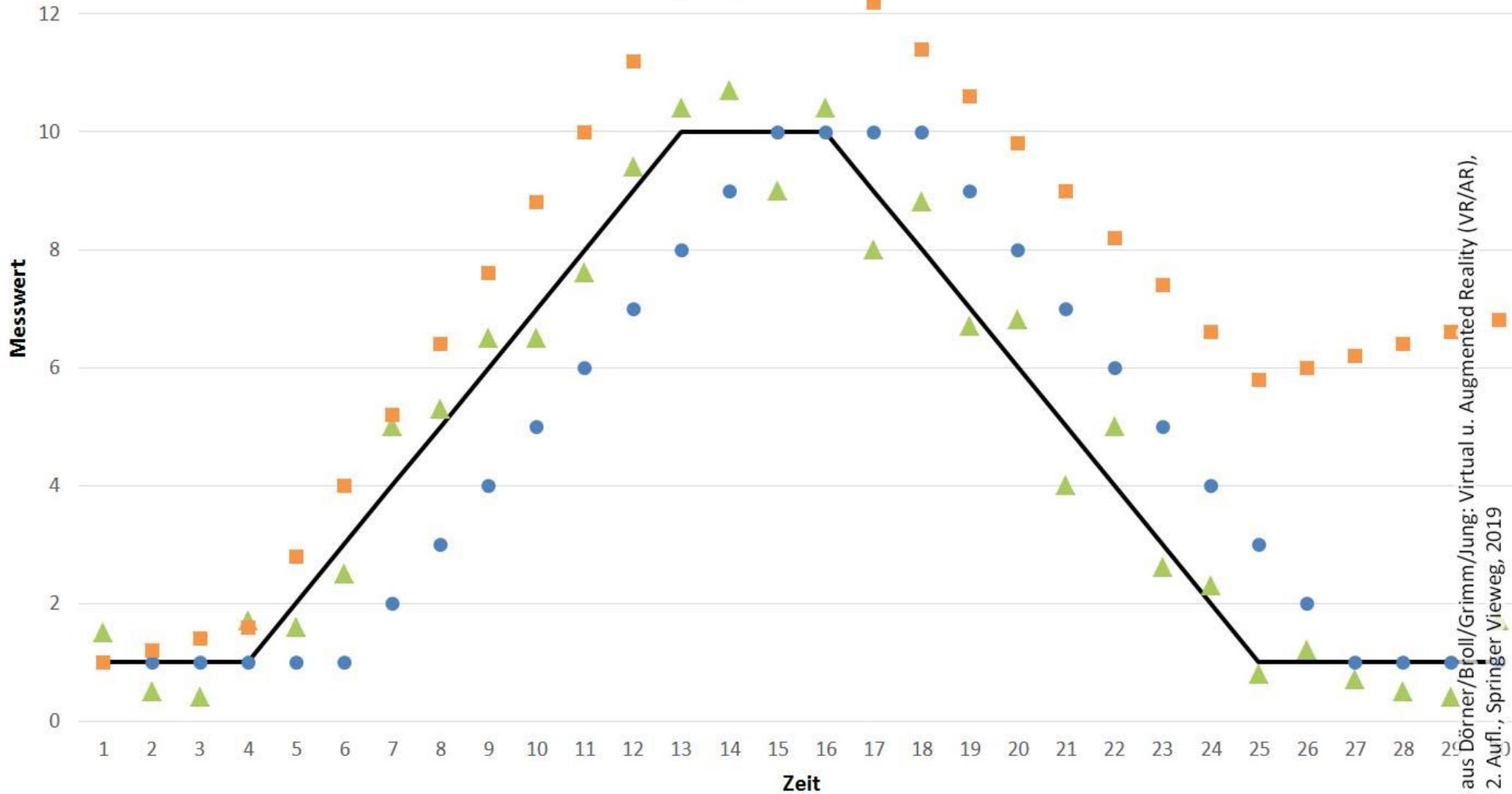


**Abb. 3.17** Prozedurale Generierung von Bäumen. a) Stamm und Äste b) Stamm, Äste und Zweige  
c) mit Blättern d) Blätter sind als Rechtecke modelliert, die e) mit teilweise  
transparenten Texturen versehen werden



**Abb. 4.1** Aufnahme von Körperbewegungen. (© ART 2013, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 4.2** Mögliche Fehler bei der Datenaufnahme der Position eines bewegten Objektes (schwarze Linie): Aufnahme mit Latenz (blau), mit Drift (Orange), mit Rauschen (grün) dargestellt über die Zeit (horizontale Achse)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



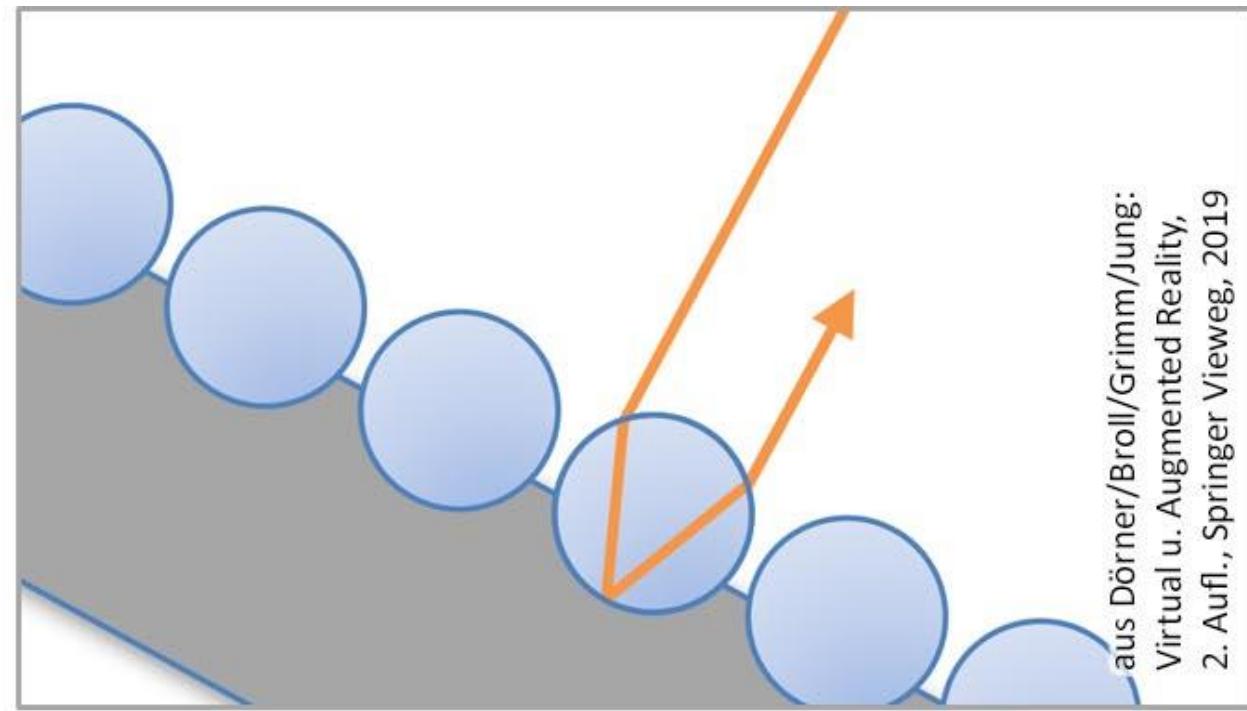
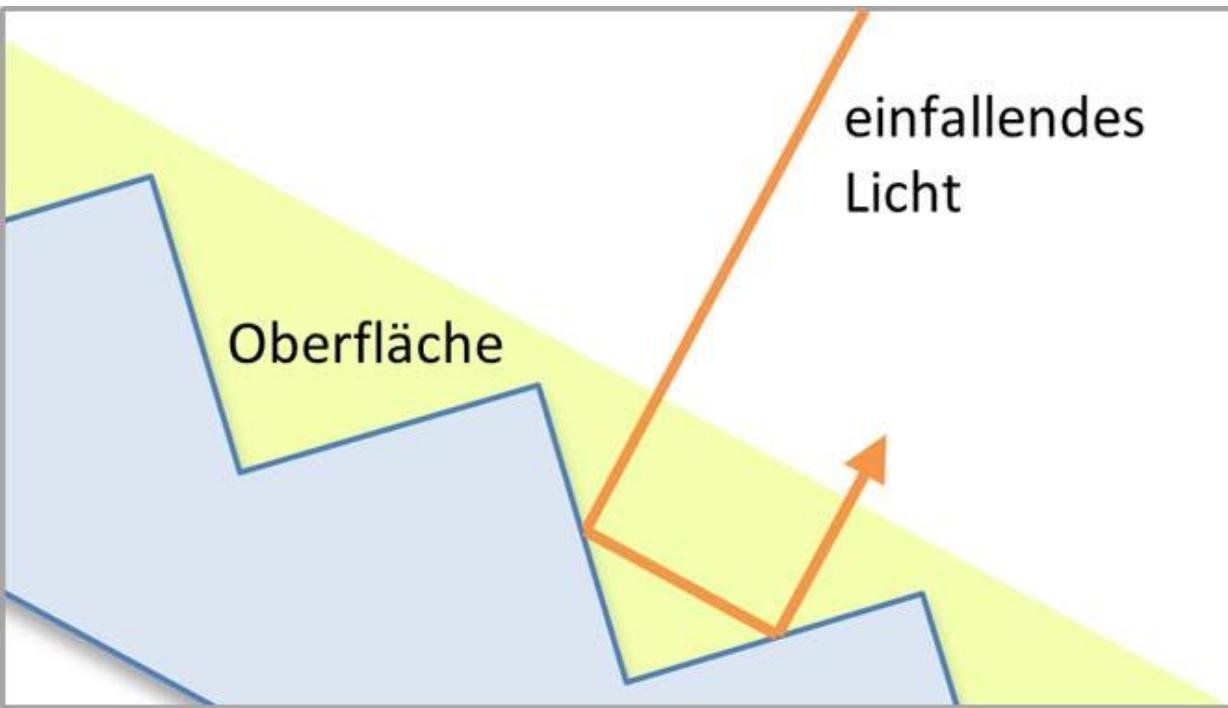
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.3** Eingeschränkter Empfang aufgrund von  
Abschattungen in sog. Urban Canyons



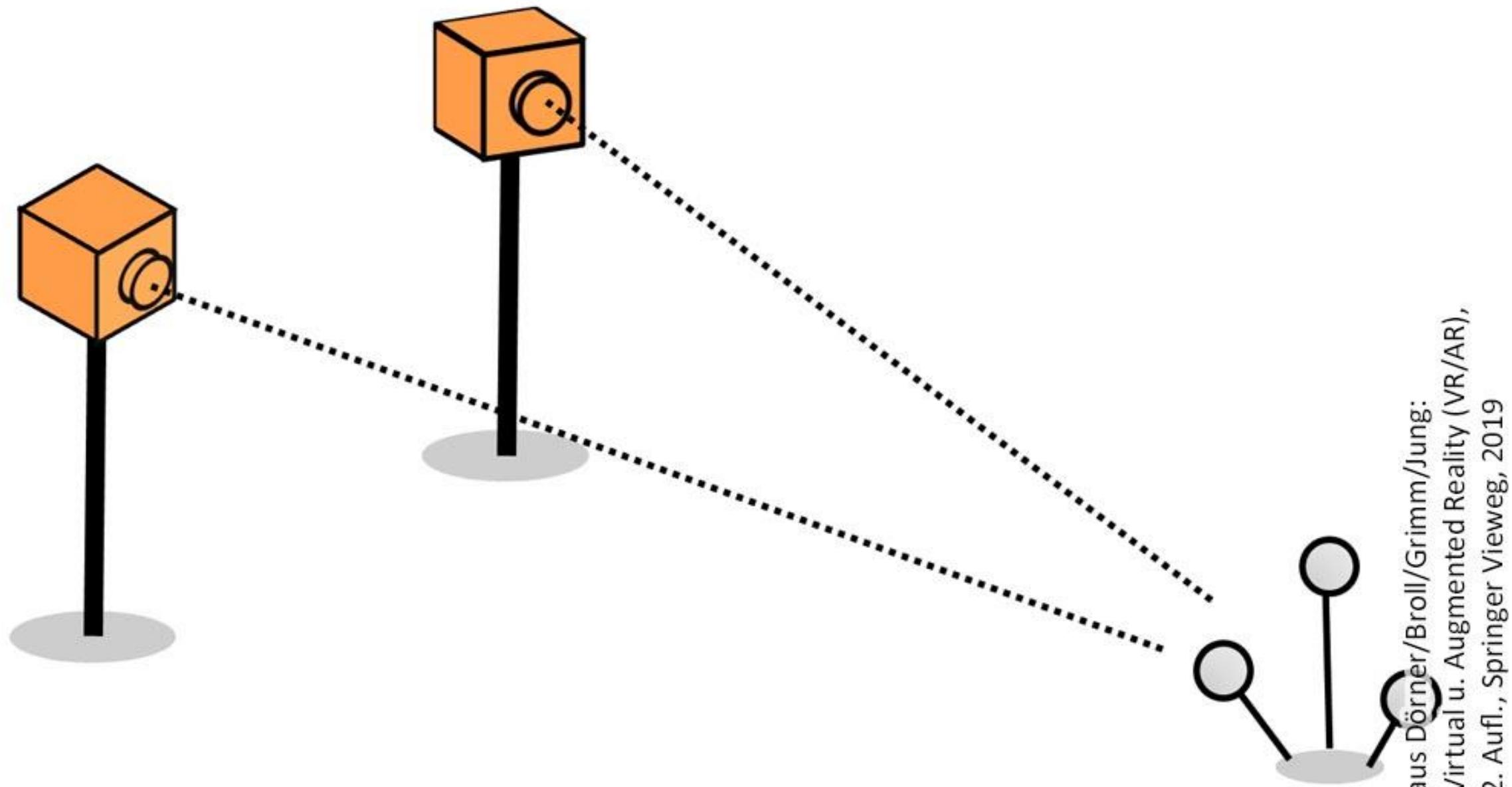
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.4** Kameras mit Infrarot-LEDs zur Beleuchtung sowie Flysticks mit Reflexions-Marken



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.5** Retroreflexion geschützter Tripelspiegeln und von Glaskugeln.  
(© ART 2013, All Rights Reserved)

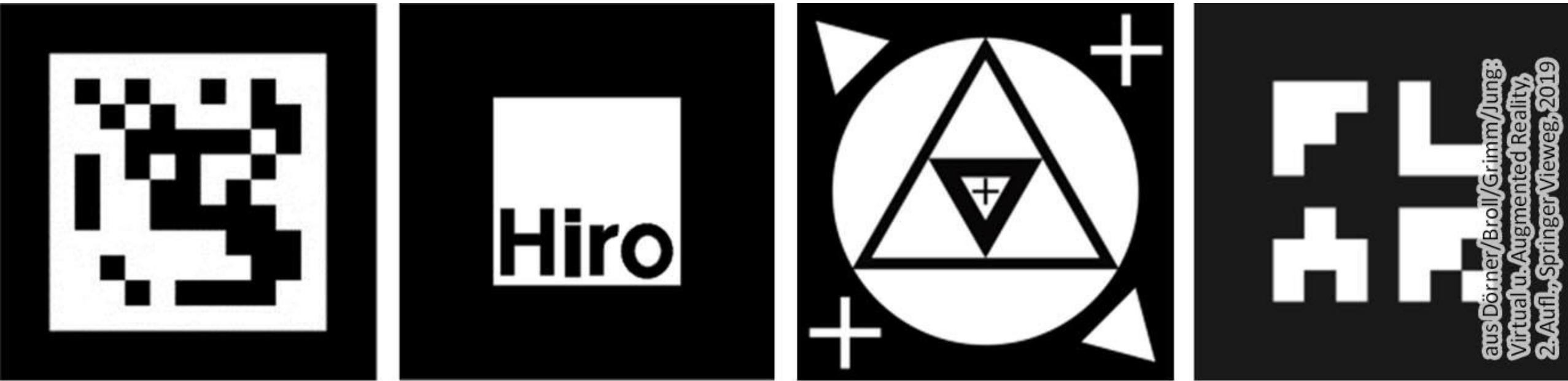


**Abb. 4.6** Tracking eines Targets von zwei Kameras aus

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

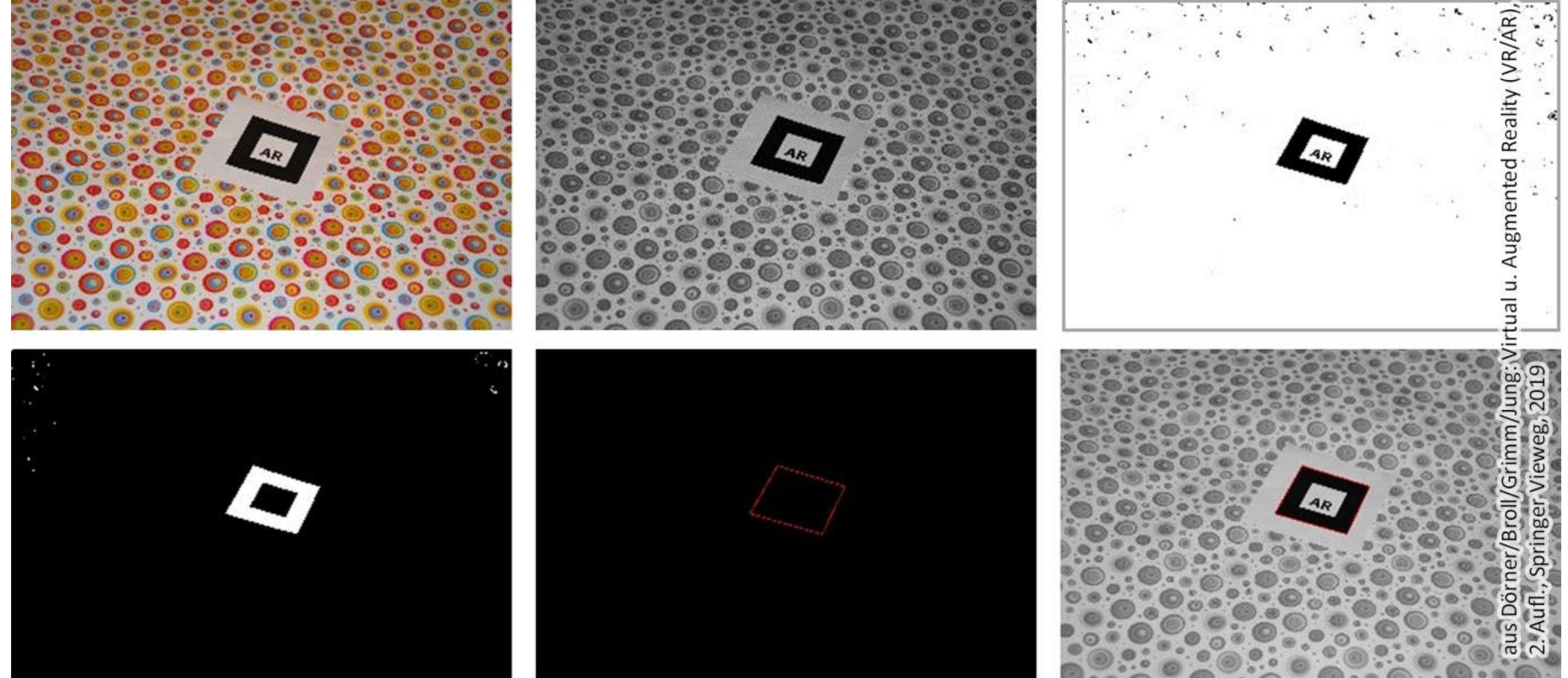


**Abb. 4.7** Optisches Tracking einer Person mit Reflexions-Marken (durch das benutzte Blitzlicht leuchten die Marken scheinbar) und mehreren Infrarotkameras (Infrarot-LEDs erscheinen rot)

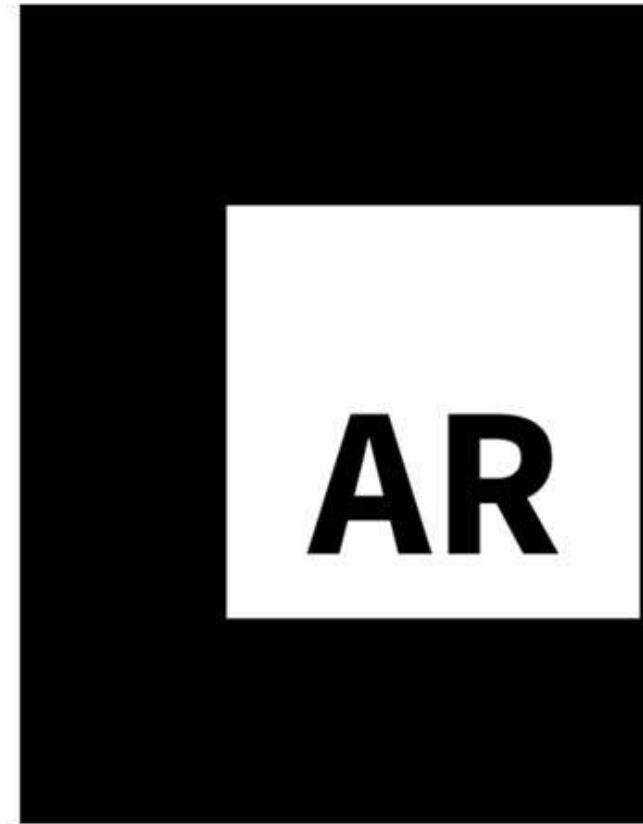
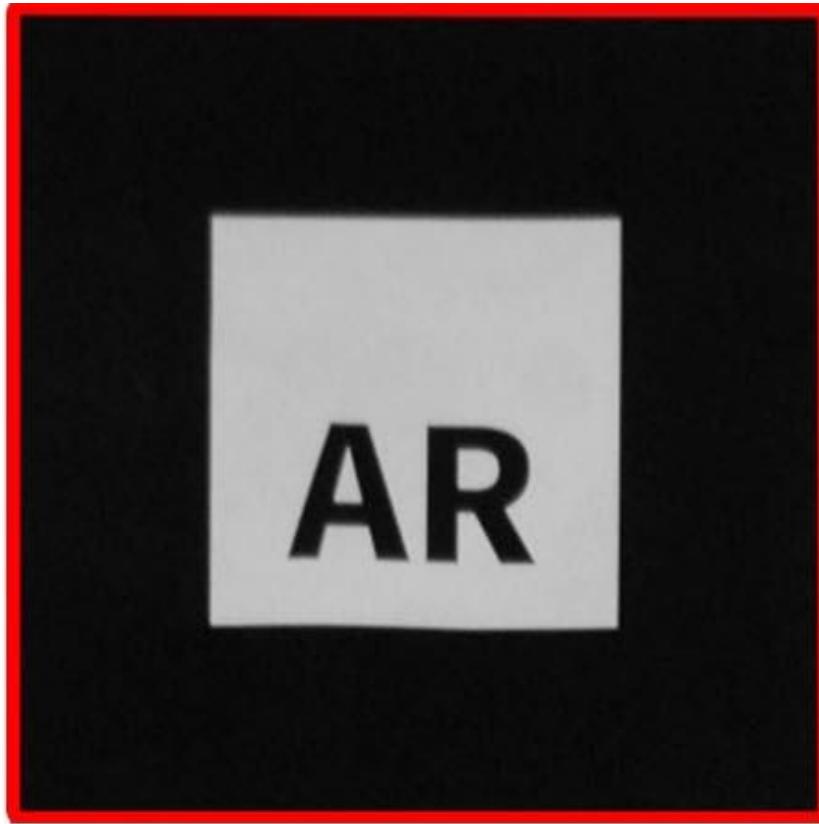
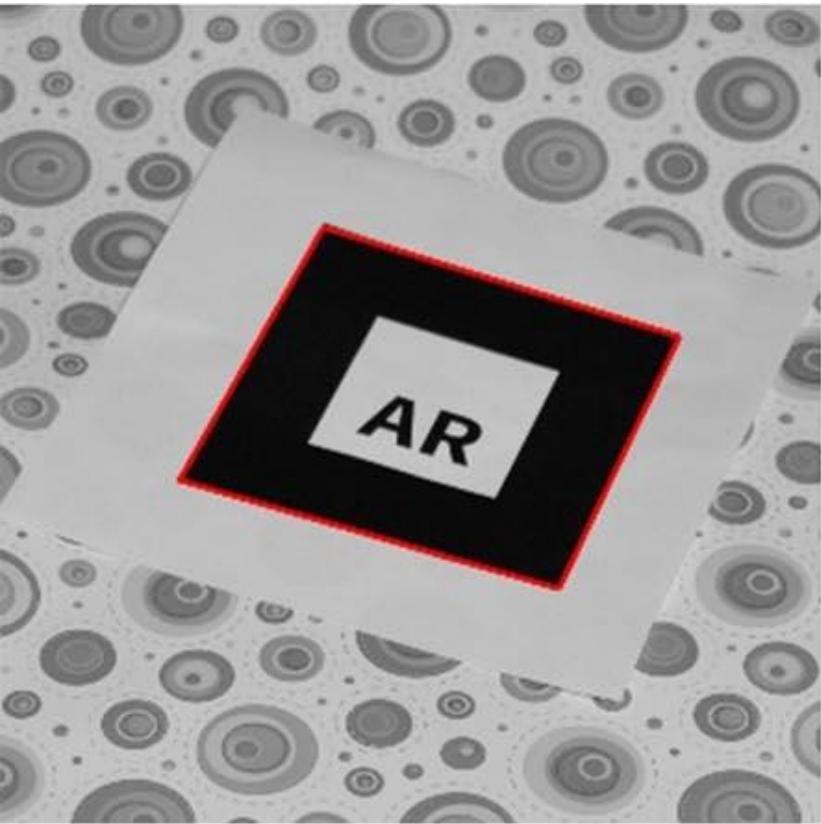


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.8** Typische Marken, wie sie für kamerabasiertes Tracking eingesetzt werden

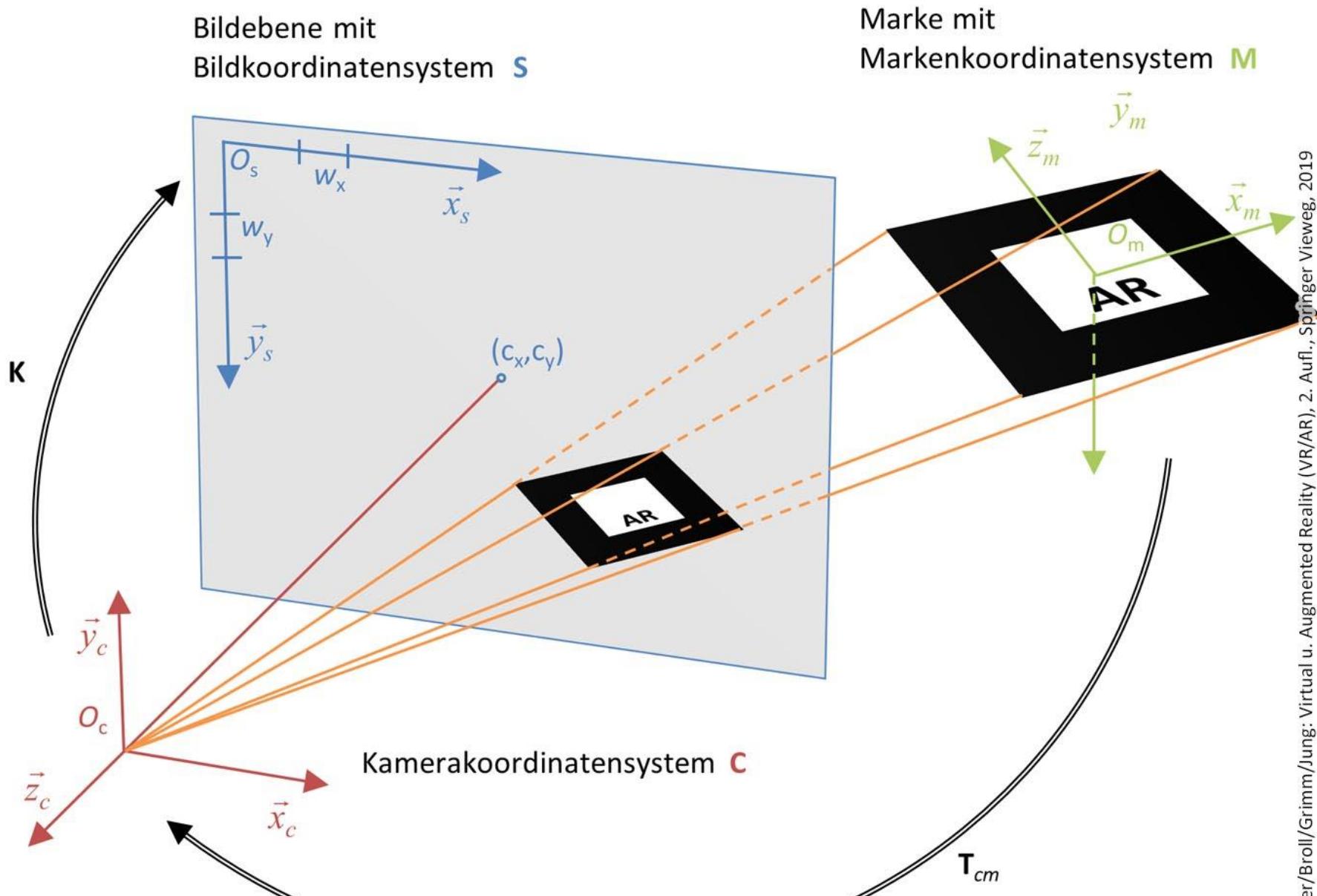


**Abb. 4.9** Einzelschritte bei der Erkennung der Markenbegrenzungen im Kamerabild: Überführung in Grauwertbild, Schwarzweißbild auf Basis eines Schwellwertes, Segmentierung, Identifikation von Linien, Identifikation von Konturen aus vier Linien und Speicherung der Eckpunkte



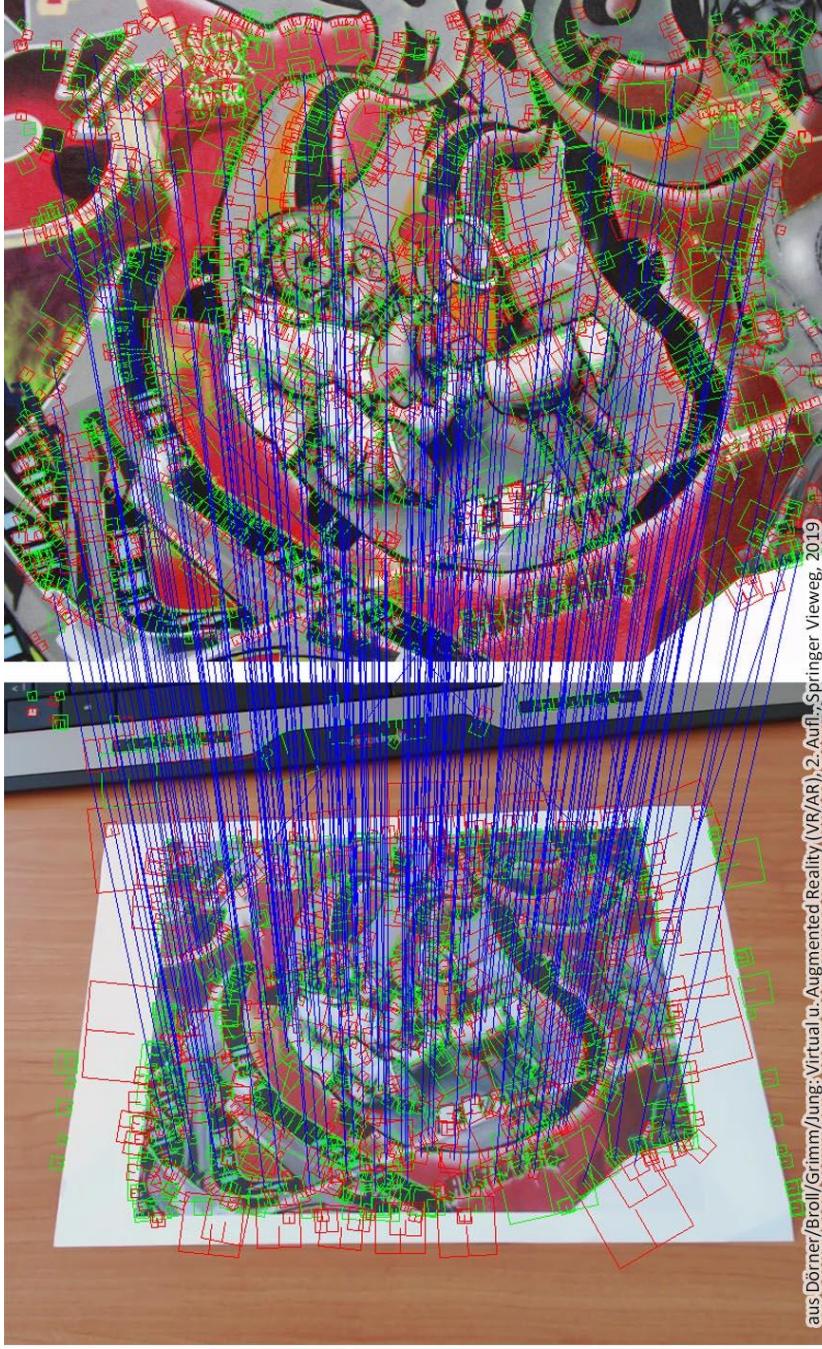
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.10** Gefundene Markenregion, normalisierte Marke, Vergleichsbild



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.11** Kamerakoordinatensystem  $C$ , Bildkoordinatensystem  $S$  und Markenkoordinatensystem  $M$



**Abb. 4.12** Zuordnung von Merkmalspunkten im aktuellen Kamerabild zu denen einer vorhandenen



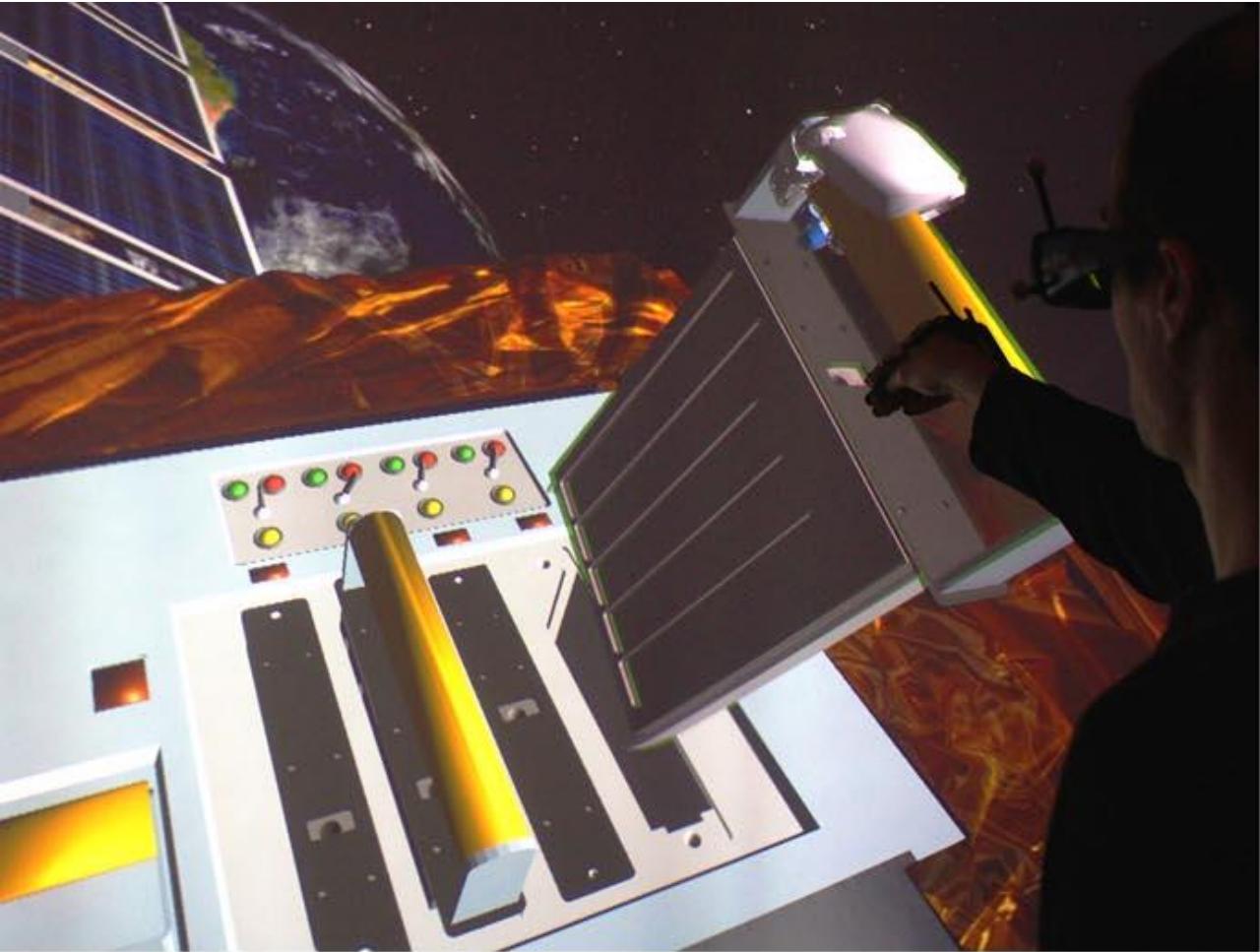
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.13** Tracking basierend auf Merkmalen ist sehr viel robuster gegenüber Störeinflüssen als markenbasiertes Tracking: Trotz zahlreicher Gegenstände, welche das für das Tracking verwendete Bild verdecken, kann das virtuelle Objekt korrekt registriert werden



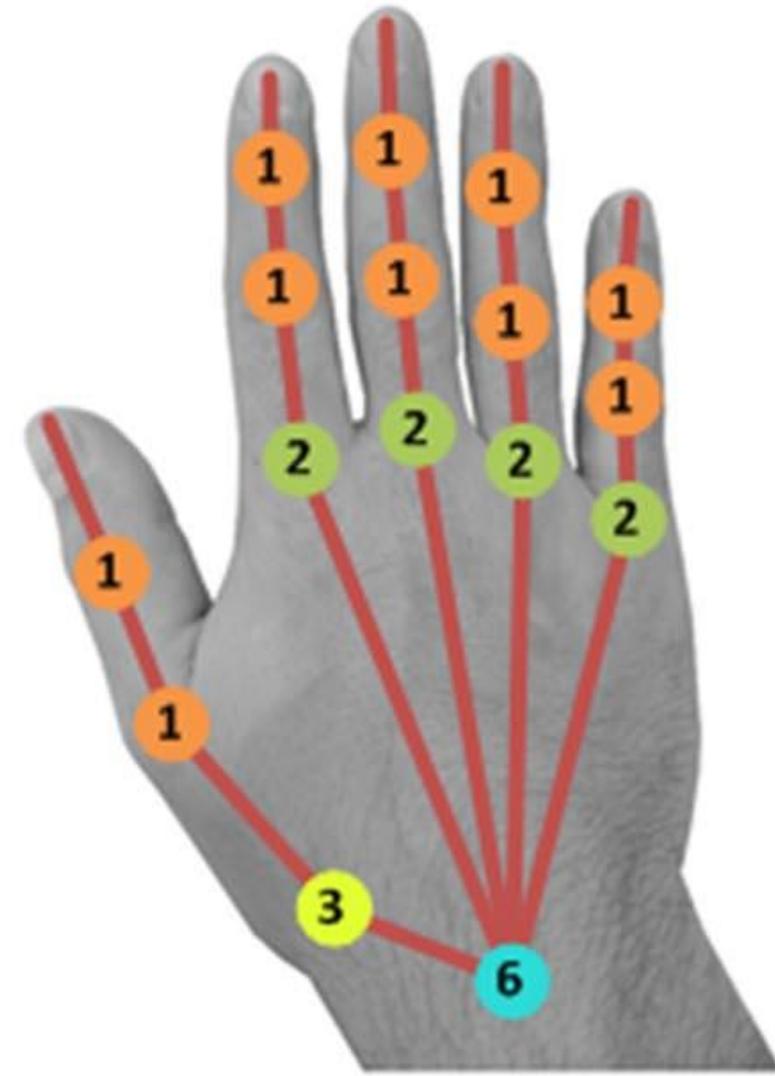
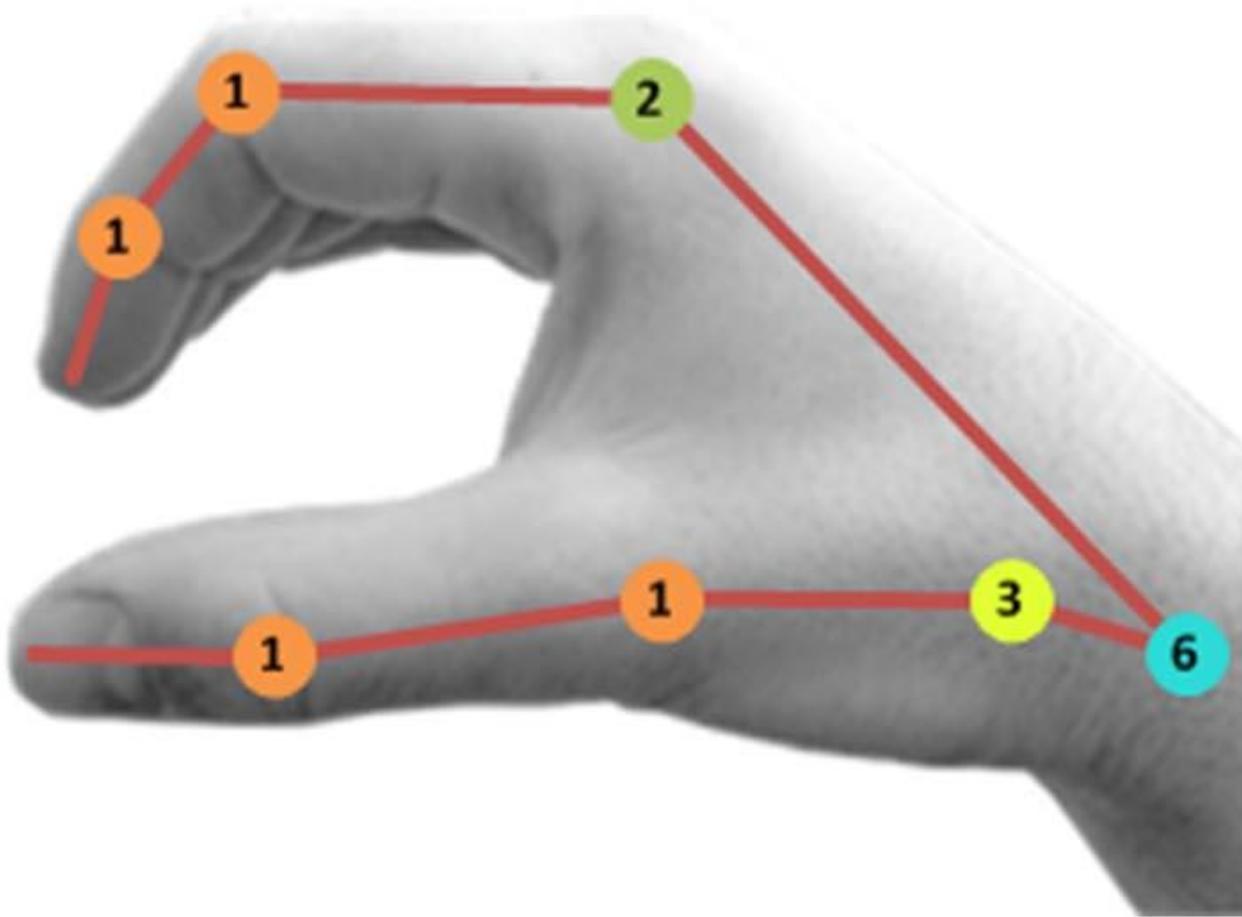
**Abb. 4.14** Projiziertes Infrarotmuster zur Tiefenerkennung einer RGBD-Kamera. (© DLR 2013, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality(VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

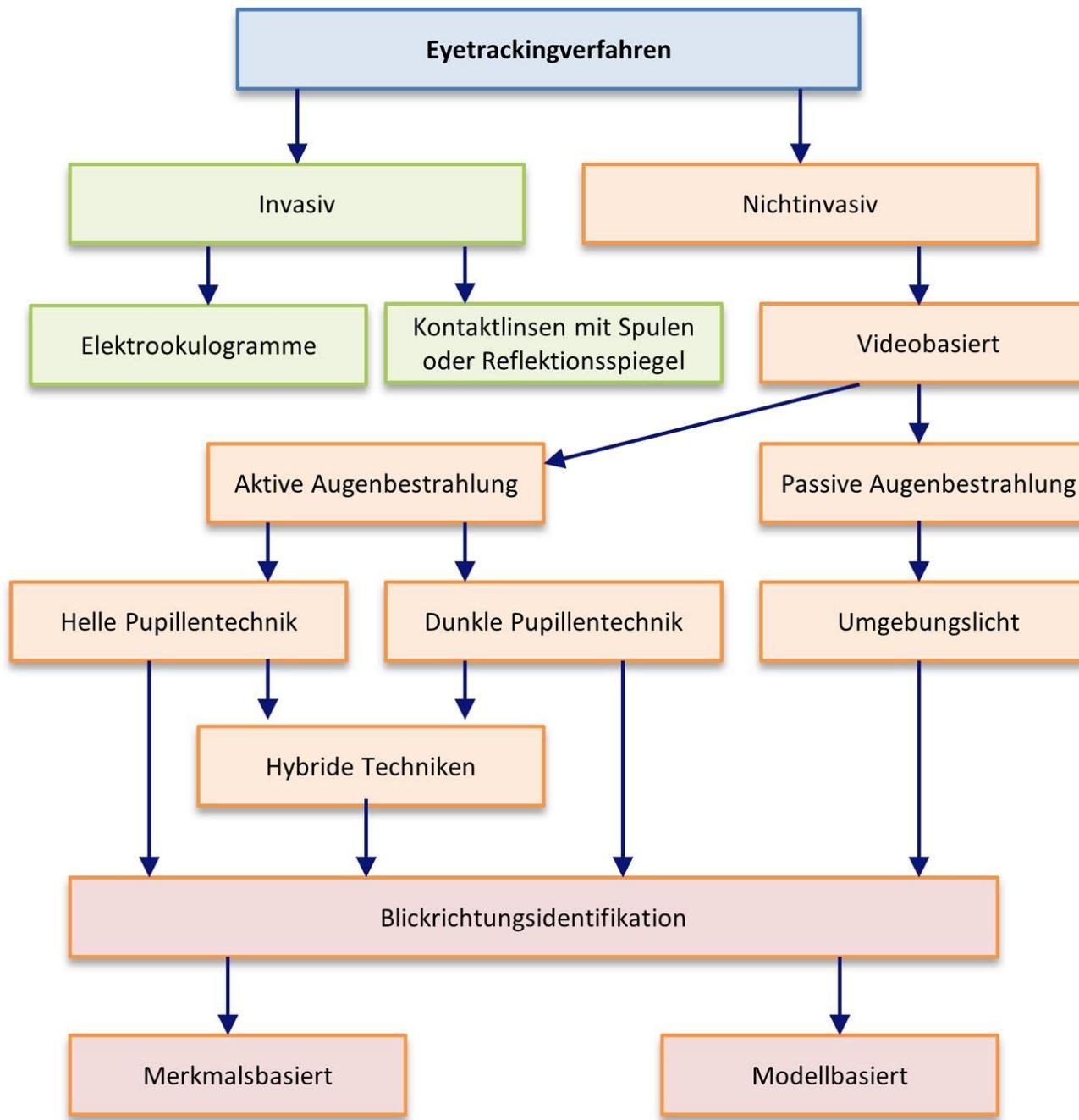


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.15** (links) Nutzer mit getrackter 3D-Brille und Finger-Tracking bei einem Einbautest eines Satellitenmoduls in einer virtuellen Montagesimulation (© DLR 2013, All Rights Reserved) (rechts) Greifen eines virtuellen Apfels mit getrackter Hand (© ART 2013, All Rights Reserved)

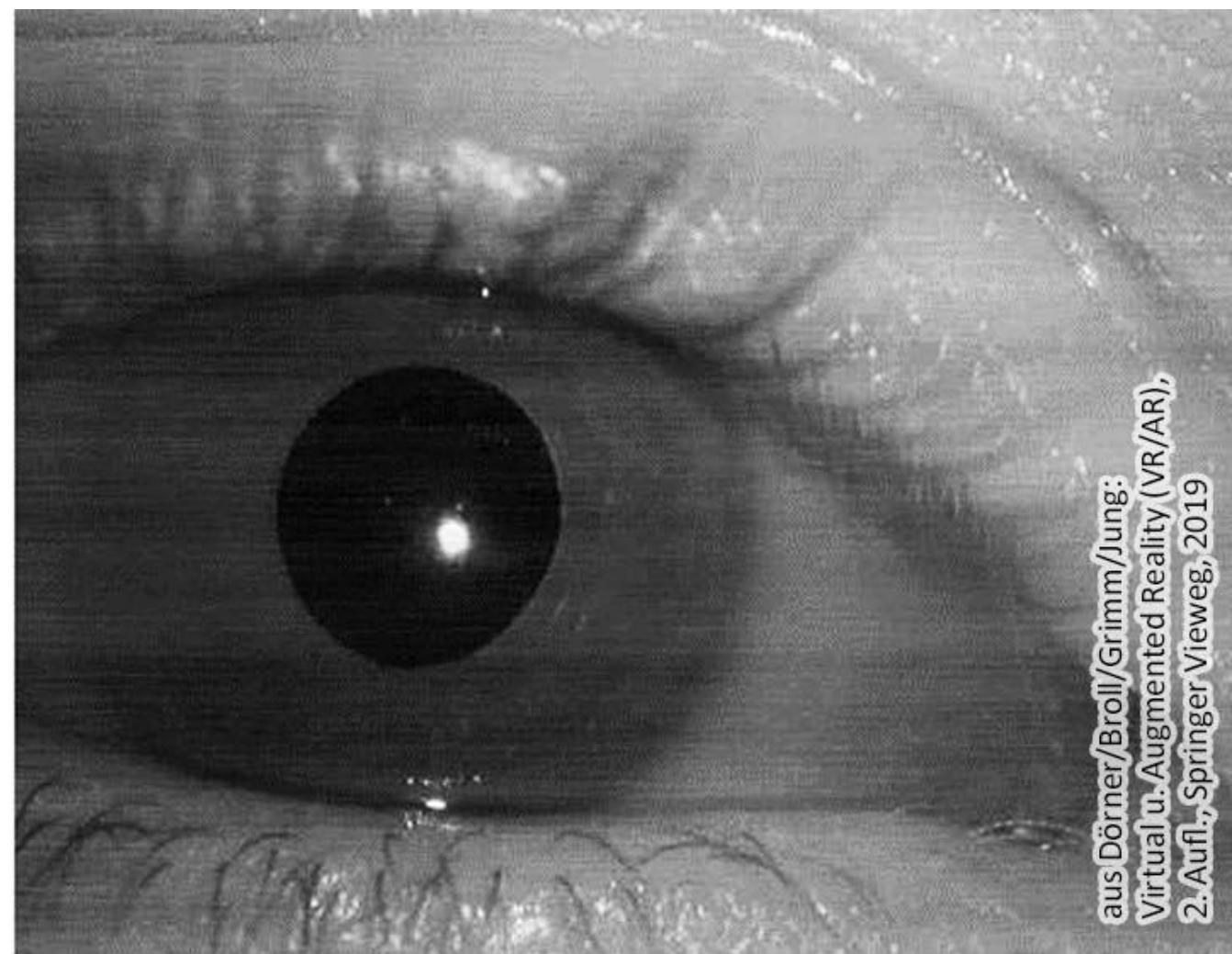
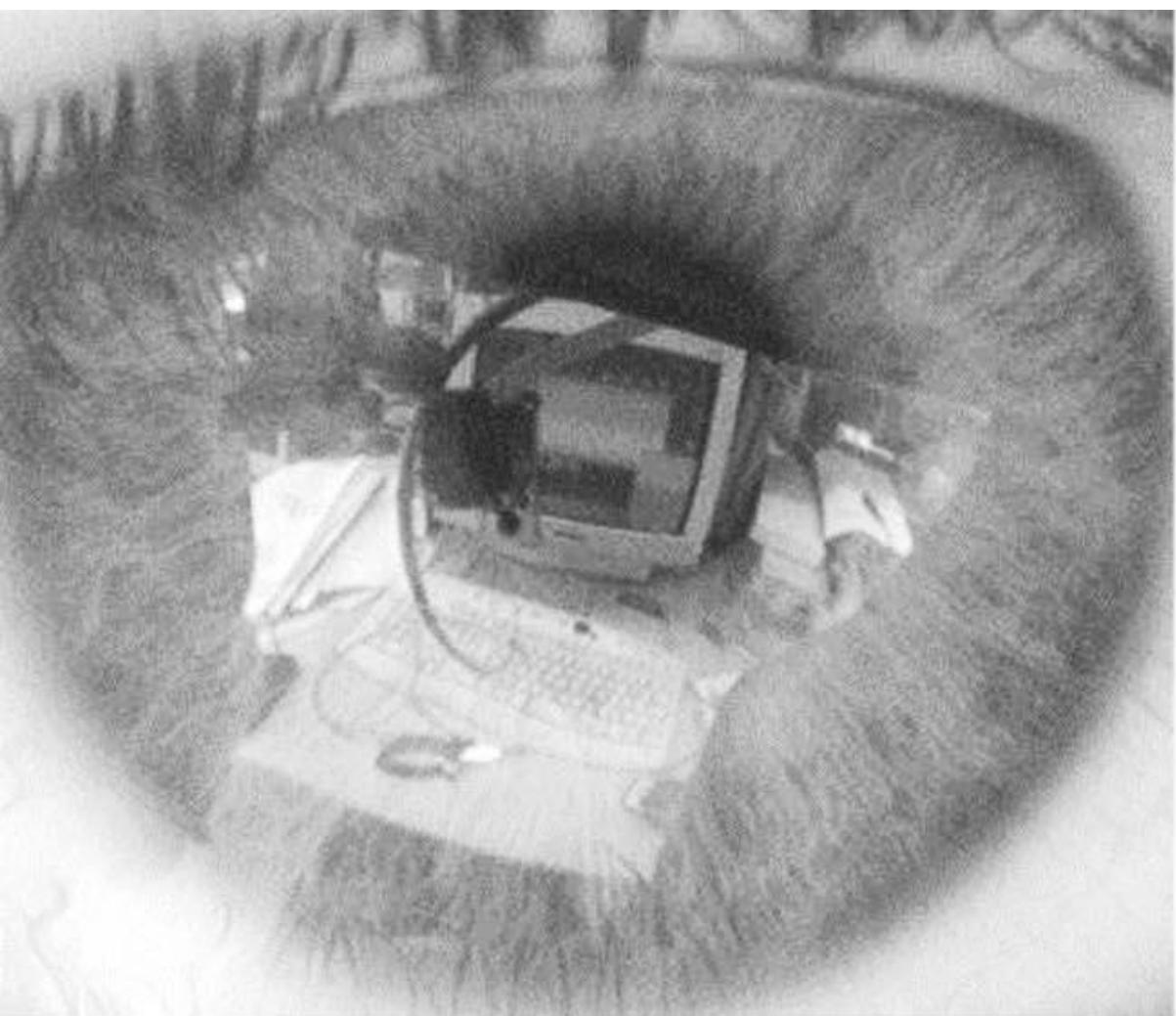


**Abb. 4.16** Datenmodell einer Hand zur Umsetzung des Finger-Trackings (die Kreise symbolisieren die Gelenke der Hand und Finger mit ihren jeweiligen Freiheitsgraden, die Linien stellen das Skelett dar)



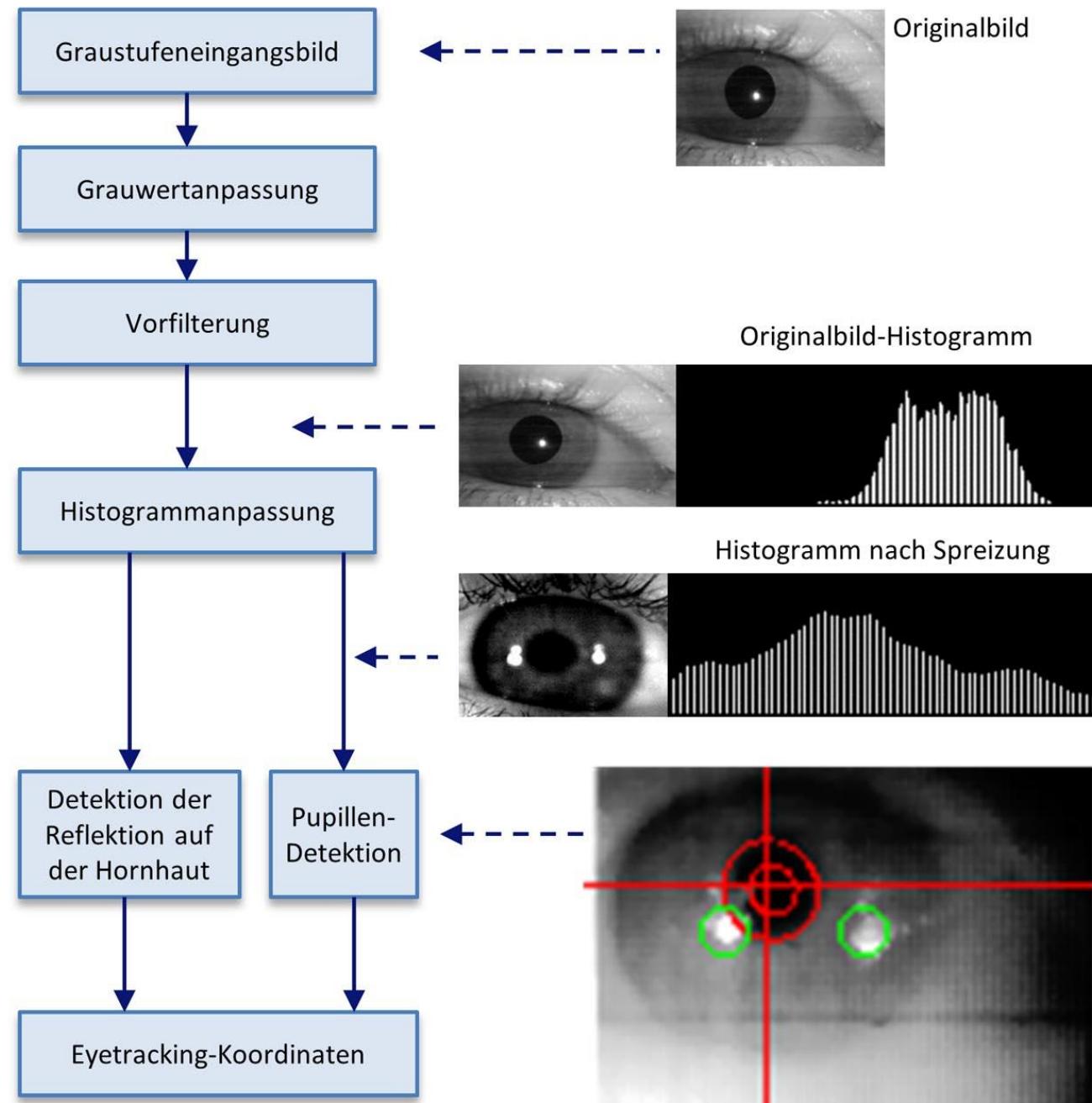
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.17** Übersicht von Verfahren für das Eye-Tracking



**Abb. 4.18** Aufgenommene Augenszene mit passiver und aktiver Bestrahlung

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 4.19** Bildverarbeitungsprozess für das Eye-Tracking

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

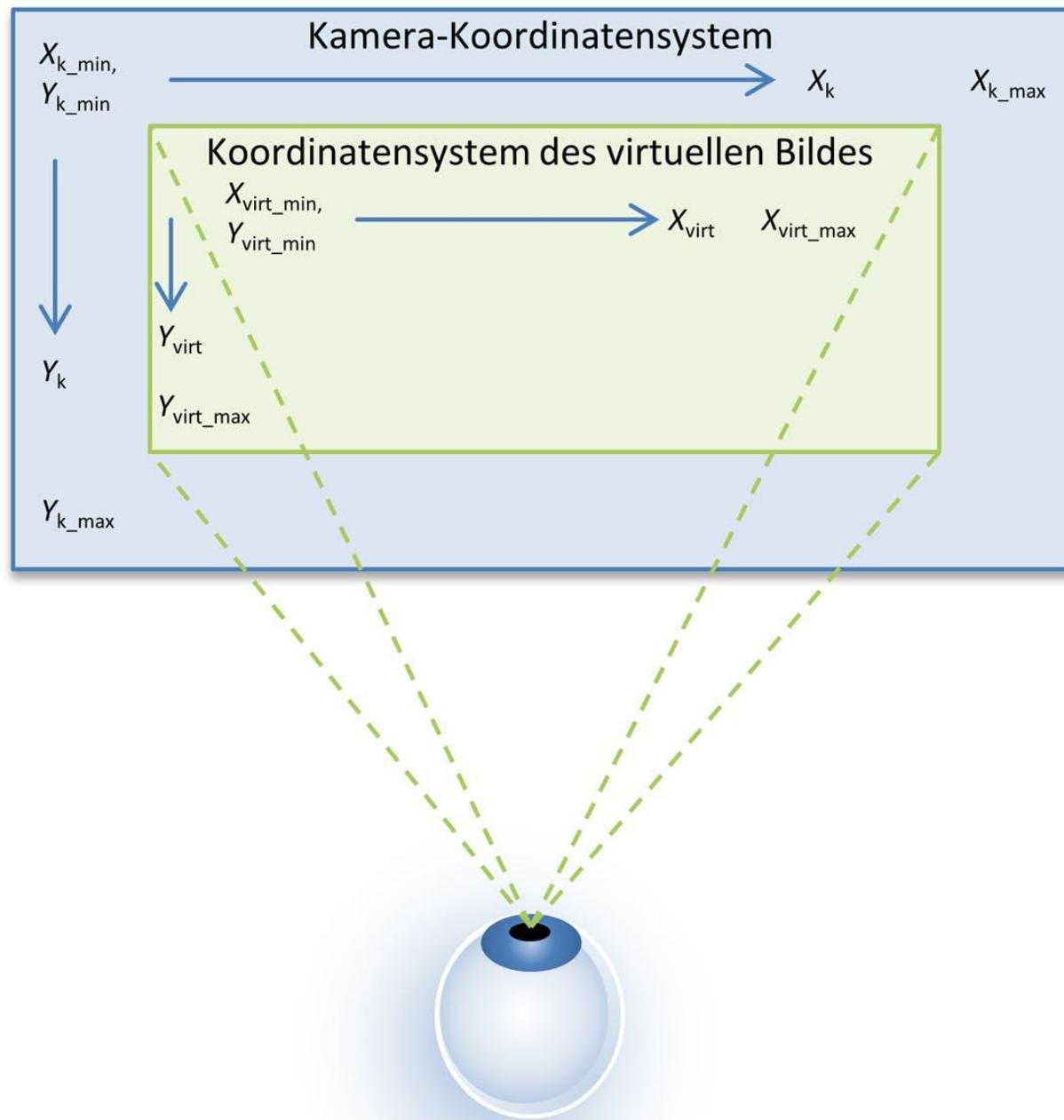
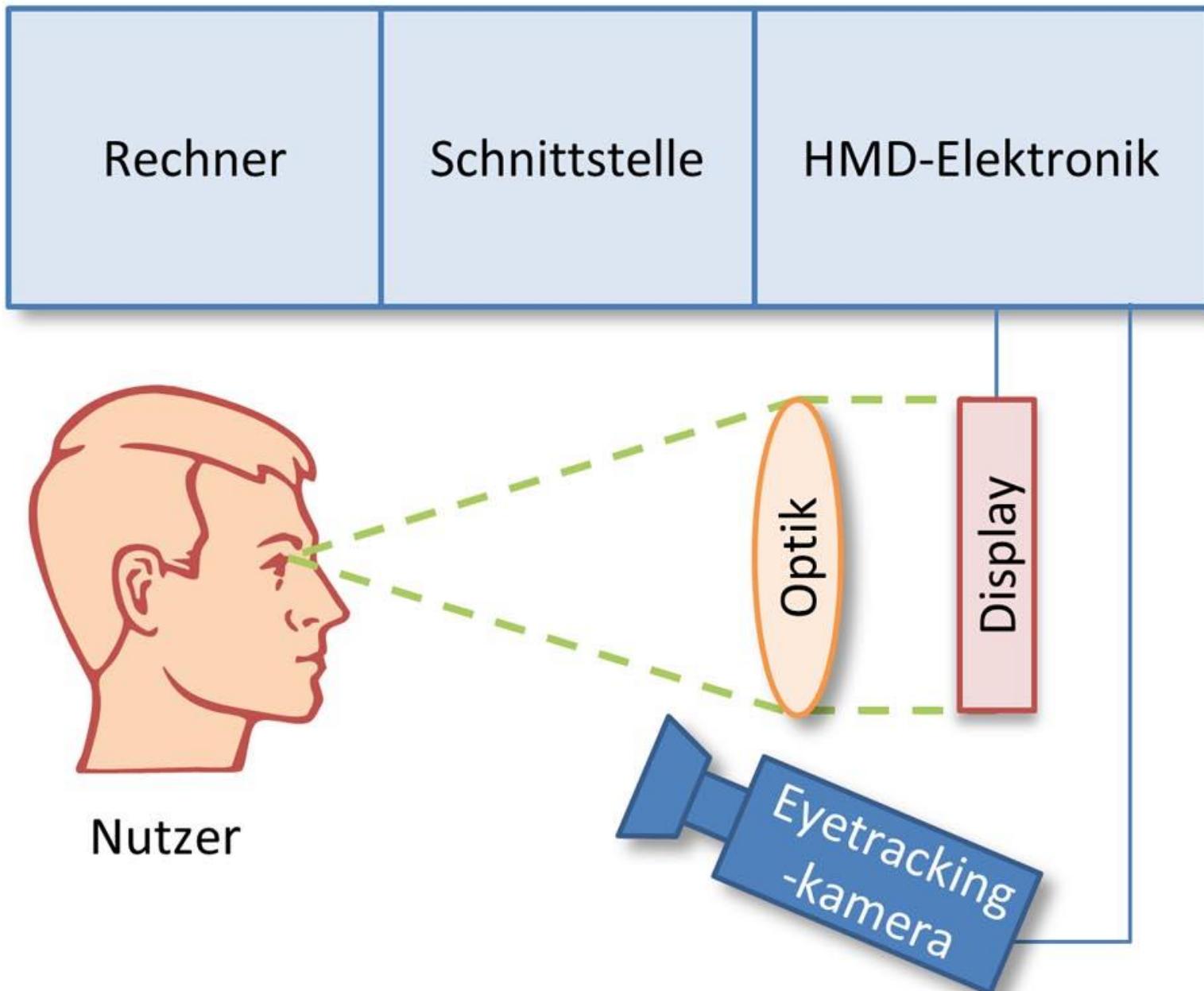


Abb. 4.20 Kamerakoordinatensystem des virtuellen Bildes und der Kamera

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 4.21** Prinzipieller Aufbau eines Eye-Tracking-HMDs

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.22** Unterschiedliche Varianten einer 3D-Mouse



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung; Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 4.23** Mechanisches Eingabegerät in Stiftform mit haptischem Feedback

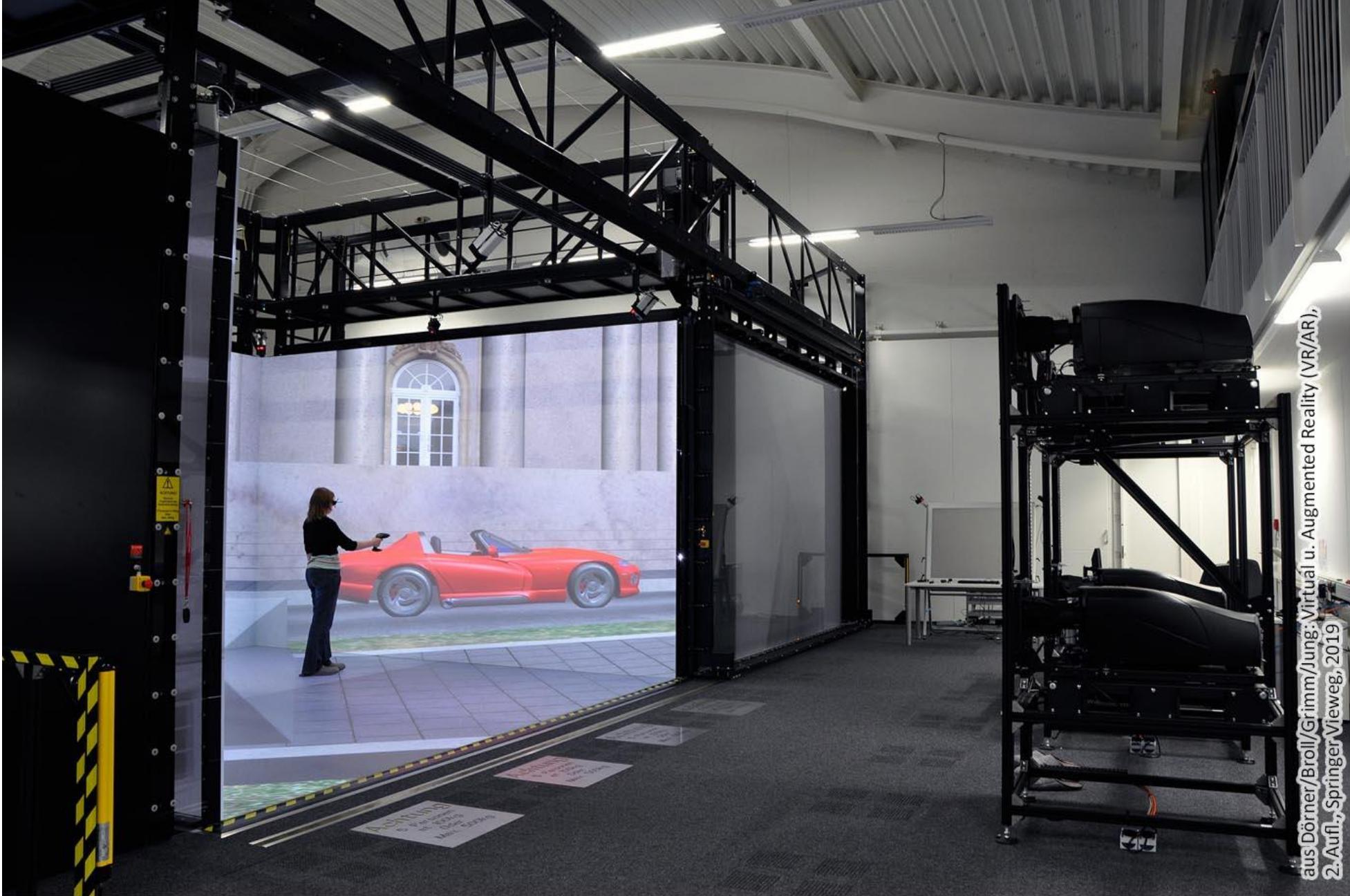


**Abb. 4.24** Nutzer mit VR-Brille auf einer Bewegungsplattform



**Abb. 5.1** Typisches Consumer-HMD mit integriertem Head-Tracking und dazugehörigen Controllern. (© TU Ilmenau 2019, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtuál u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.2** CAVE-artige Mehrseitenprojektion hier zur Visualisierung einer Designstudie.  
(© RWTH Aachen 2013, All Rights Reserved)

Binokulares Gesichtsfeld ca. 214°

Binokulares Deckfeld ca. 120°

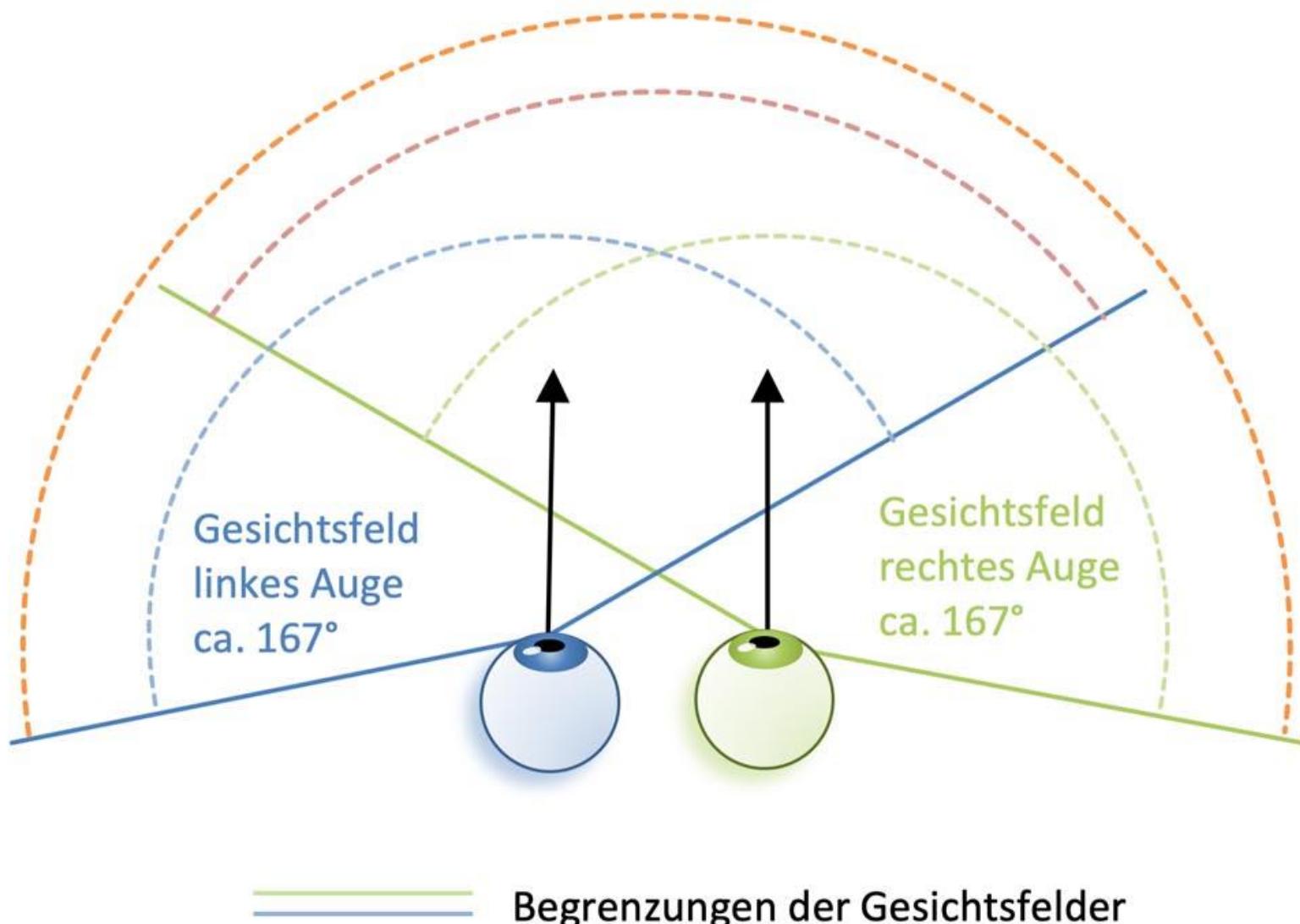
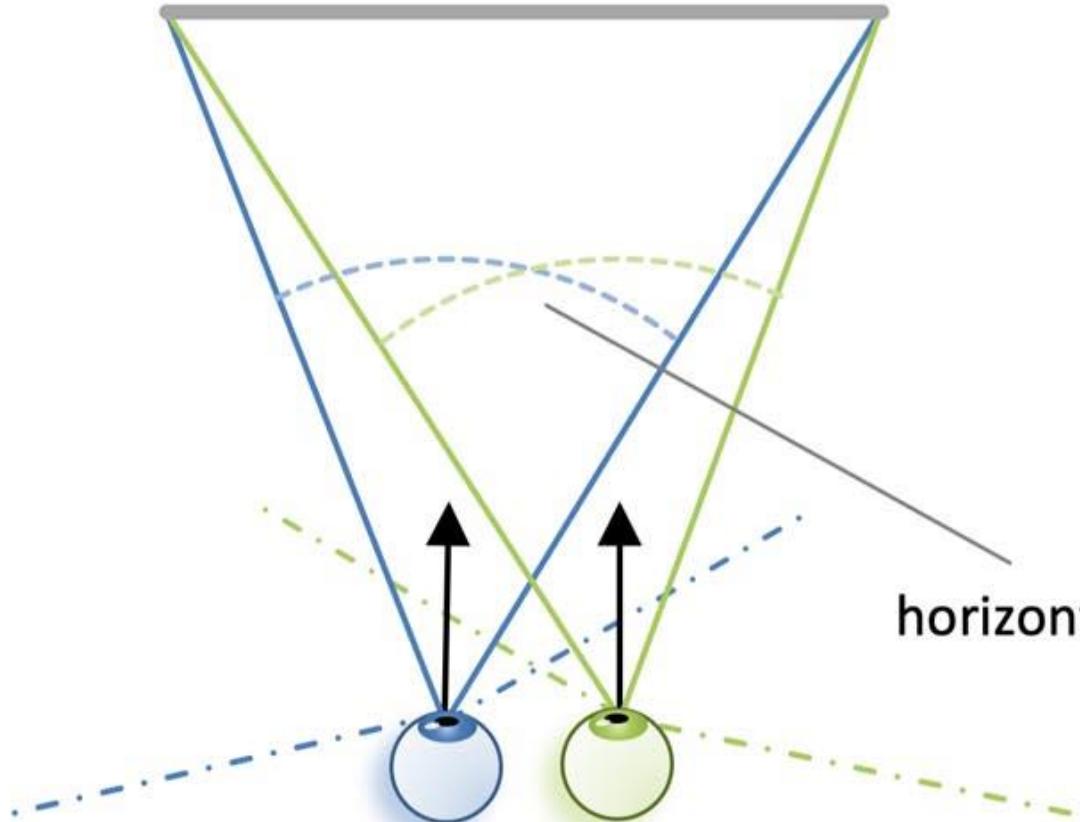
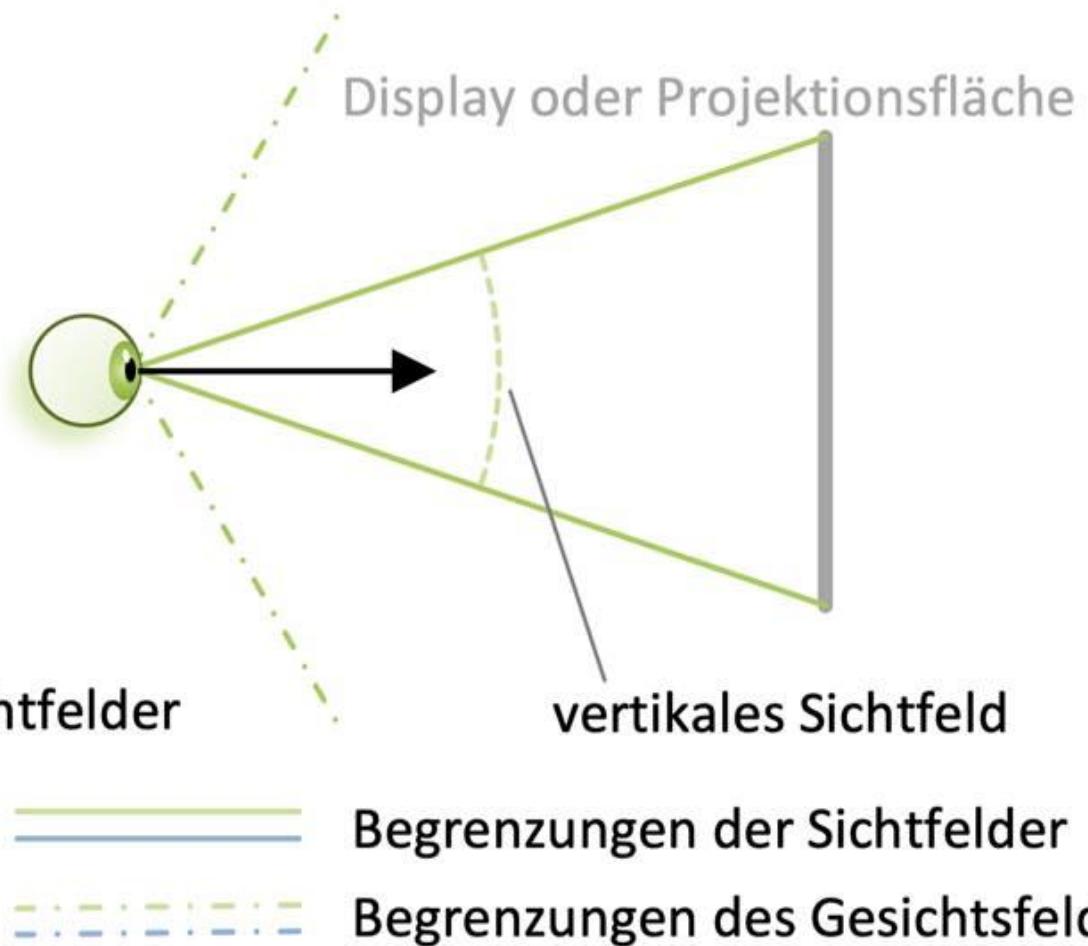


Abb. 5.3 Gesichtsfeld des Menschen

Display oder Projektionsfläche



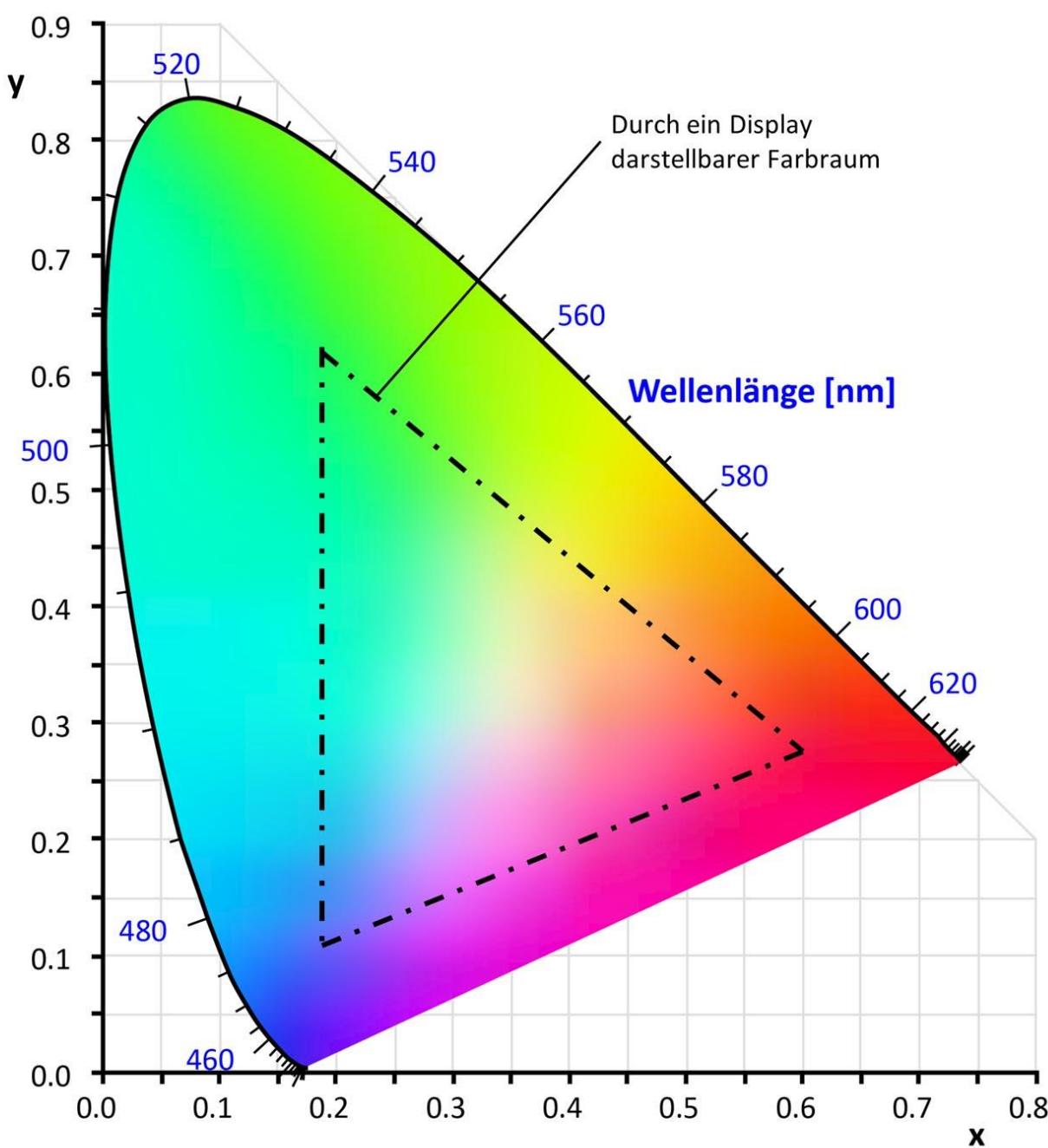
horizontale Sichtfelder



vertikales Sichtfeld

- Begrenzungen der Sichtfelder
- - - Begrenzungen des Gesichtsfeld

Abb. 5.4 Horizontales und vertikales Sichtfeld (Field of View – FoV)



**Abb. 5.5** Das CIE Chromaticity Diagramm der vom Menschen wahrnehmbaren Farben mit eingezeichnetem Farbraum eines Displays (Gamut)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 5.6** HTC Vive als ein typischer Vertreter von Consumer-VR-Brillen.  
(© TU Ilmenau 2019, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

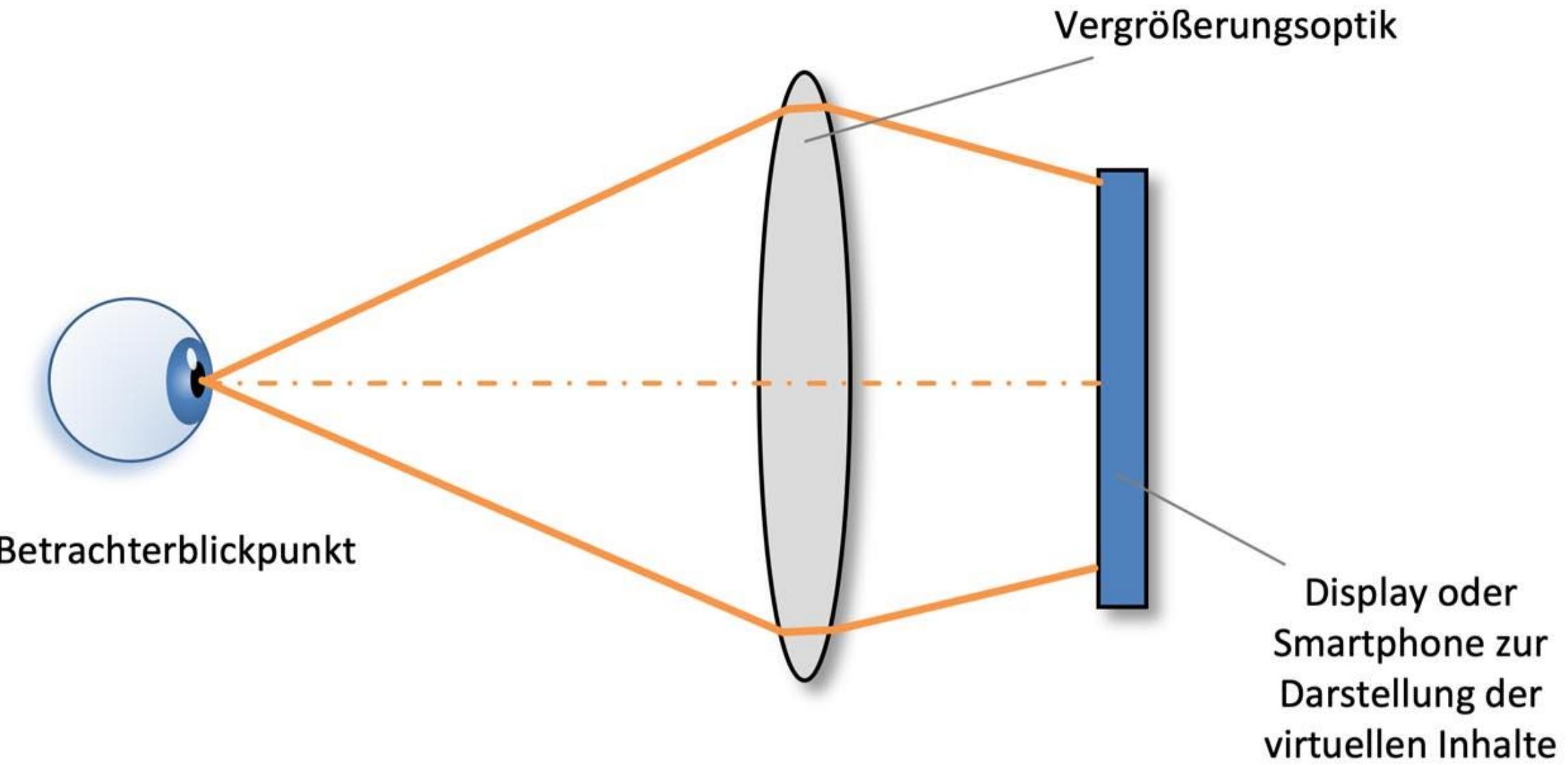
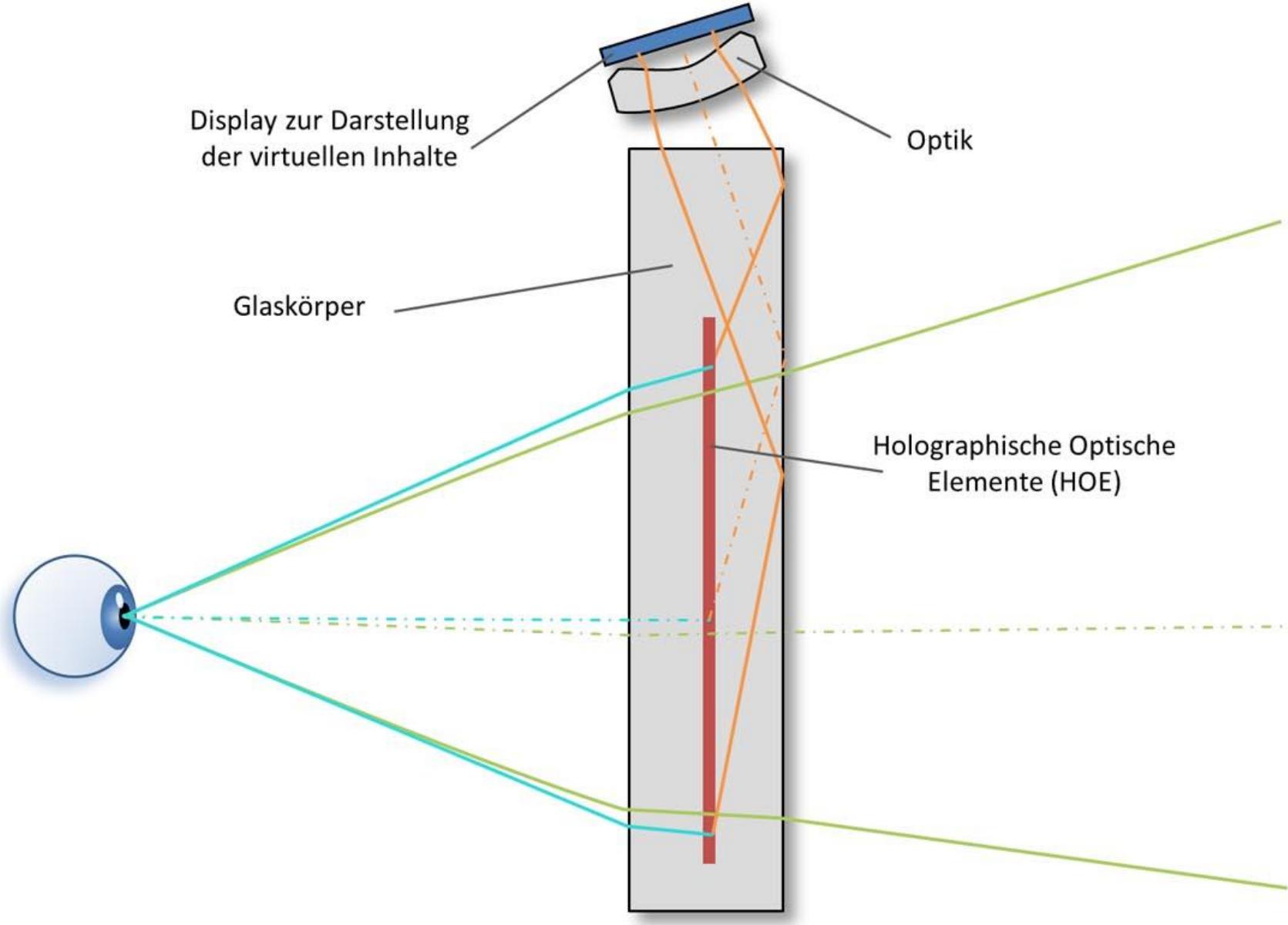


Abb. 5.7 Luppenprinzip als typische Bauform von VR-Brillen



**Abb. 5.8** Einfaches Cardboard-HMD nach dem Lupenprinzip

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



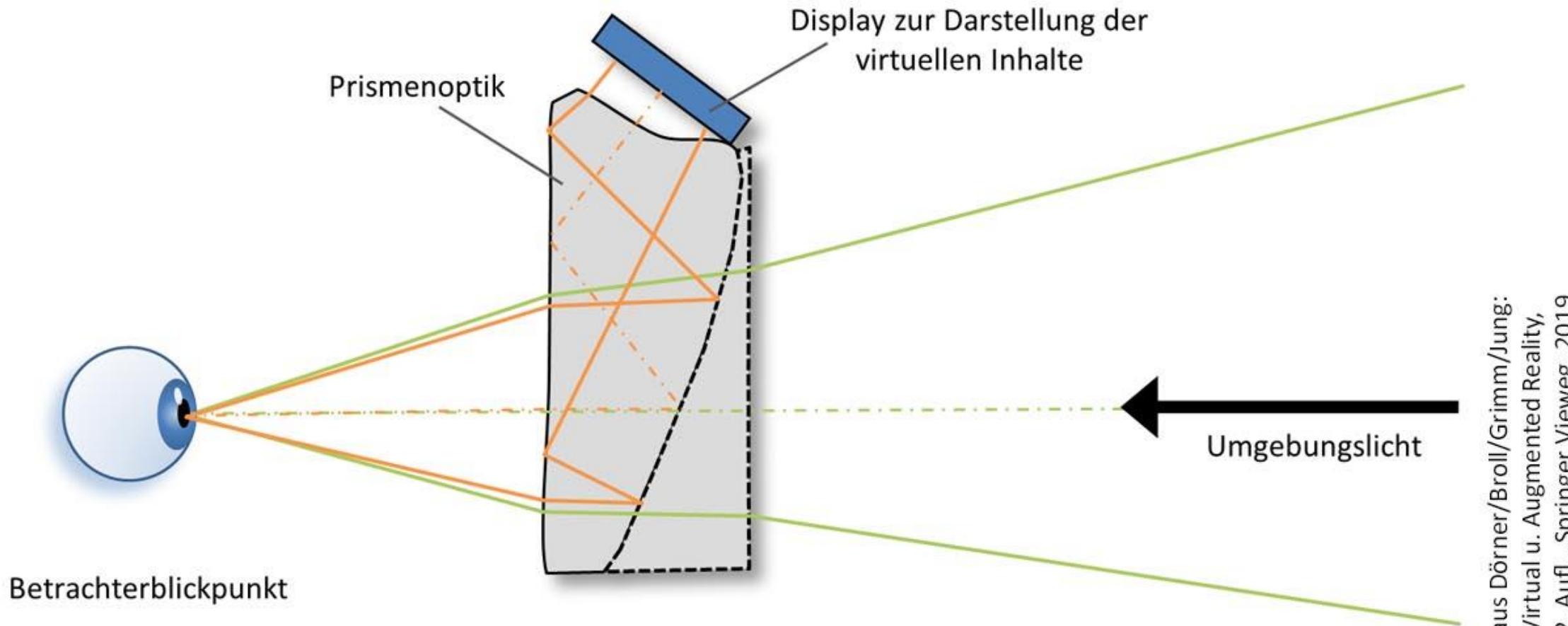
**Abb. 5.9** Schematische Funktionsweise eines OST-Displays basierend auf Lichtleitern  
(hier auf Basis holographischer optischer Elemente)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 5.10** Hololens mit deutlich sichtbaren Lichtleitern für die einzelnen Farbkanäle.  
(© TU Ilmenau 2019, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



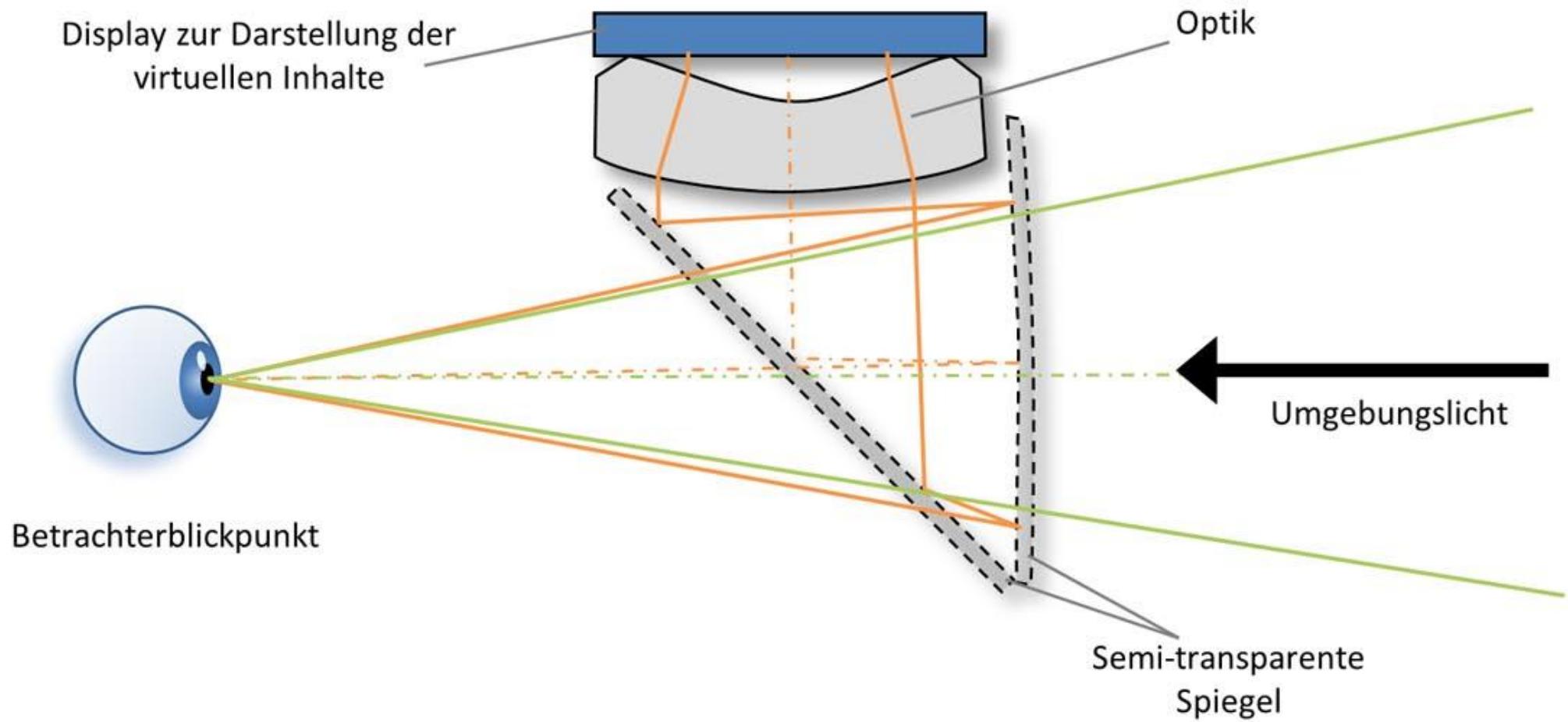
**Abb. 5.11** Schematischer Aufbau eines prismenbasierten OST-Displays, welches aus zwei Glaskörpern besteht. Die Vervollständigung ist gestrichelt dargestellt

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



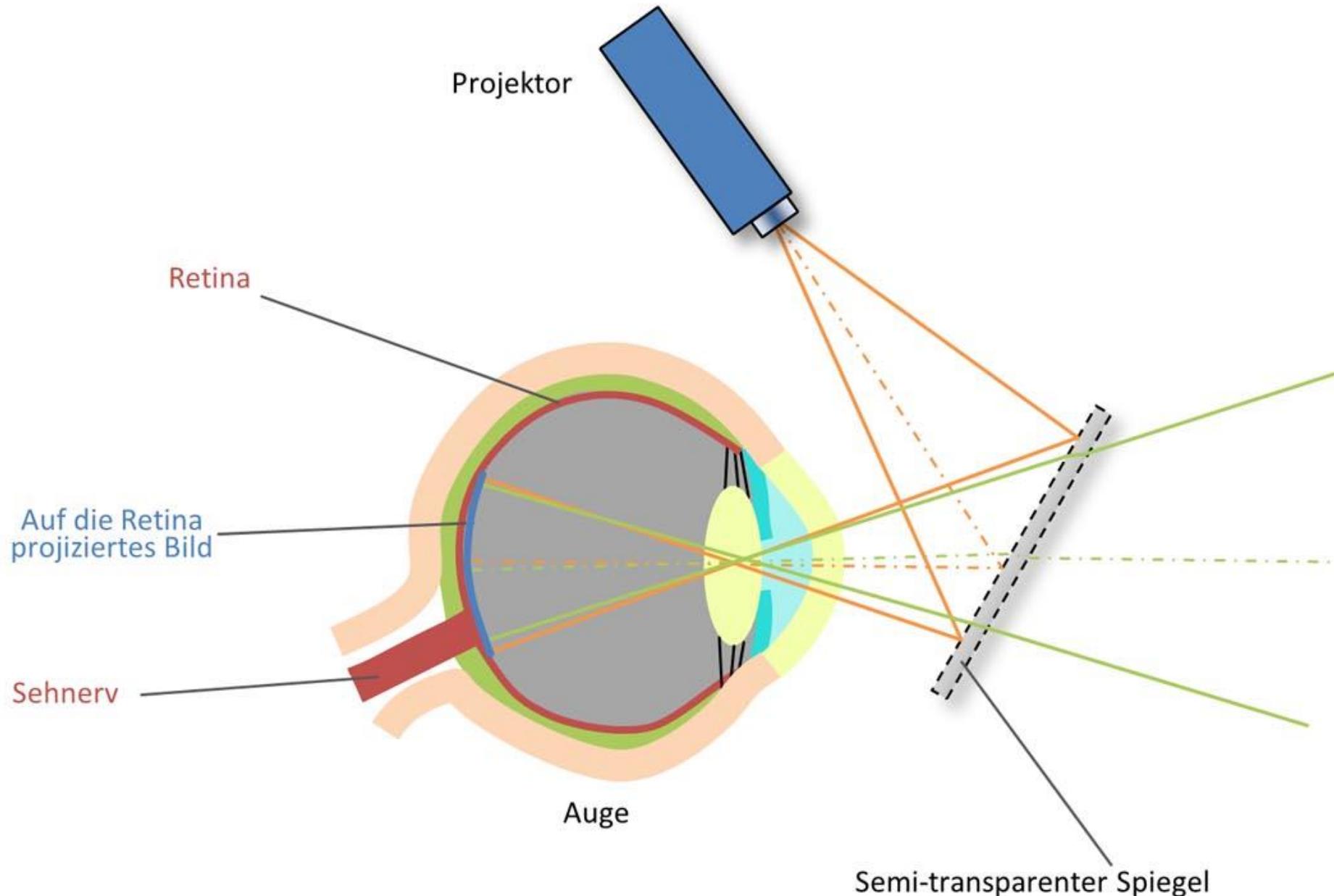
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.12** Beispiele eines spiegel- und eines prismausbasierten OST-Displays für AR.  
(© Lisa Blum, Fraunhofer FIT 2019, All Rights Reserved)

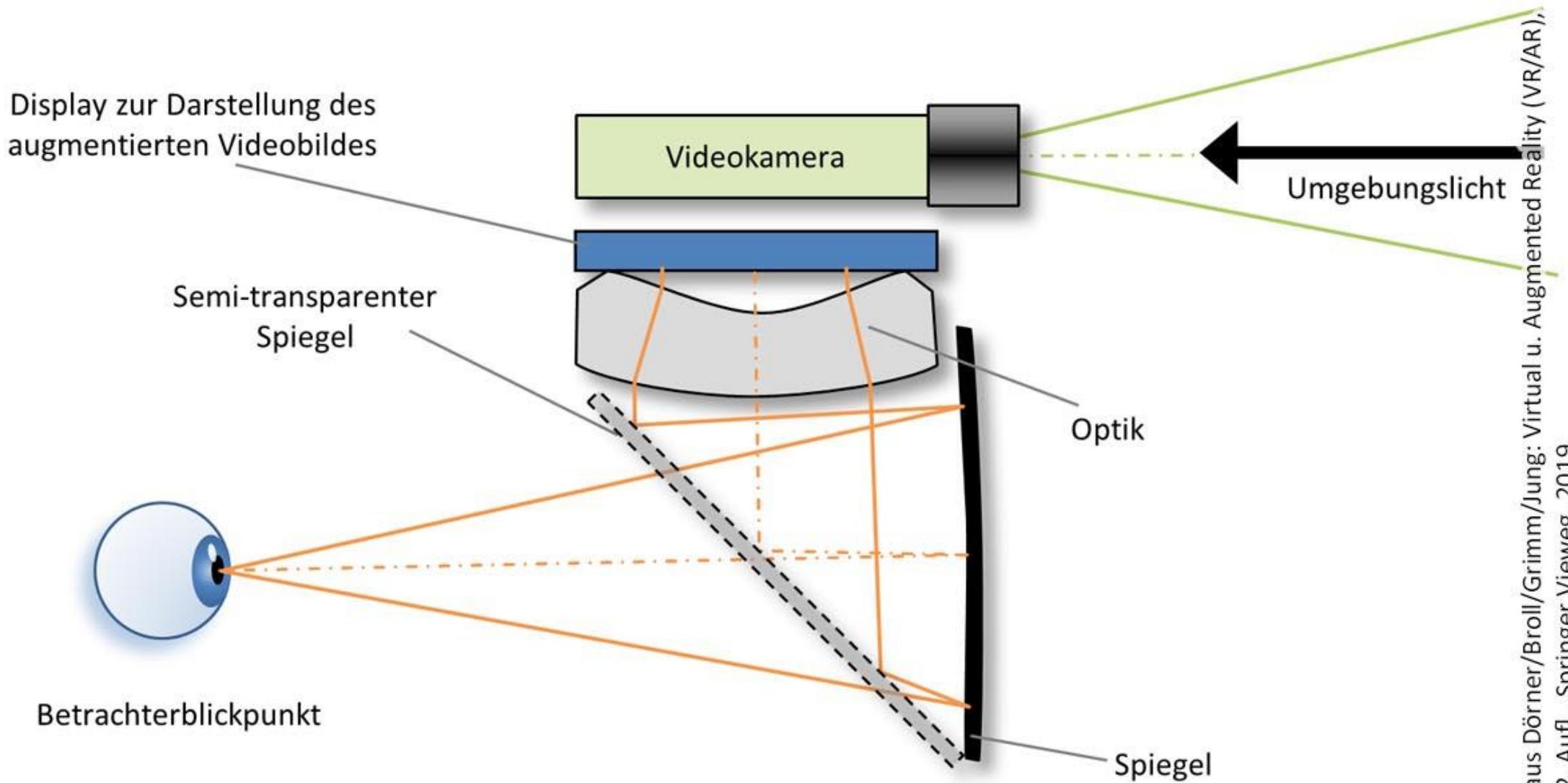


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

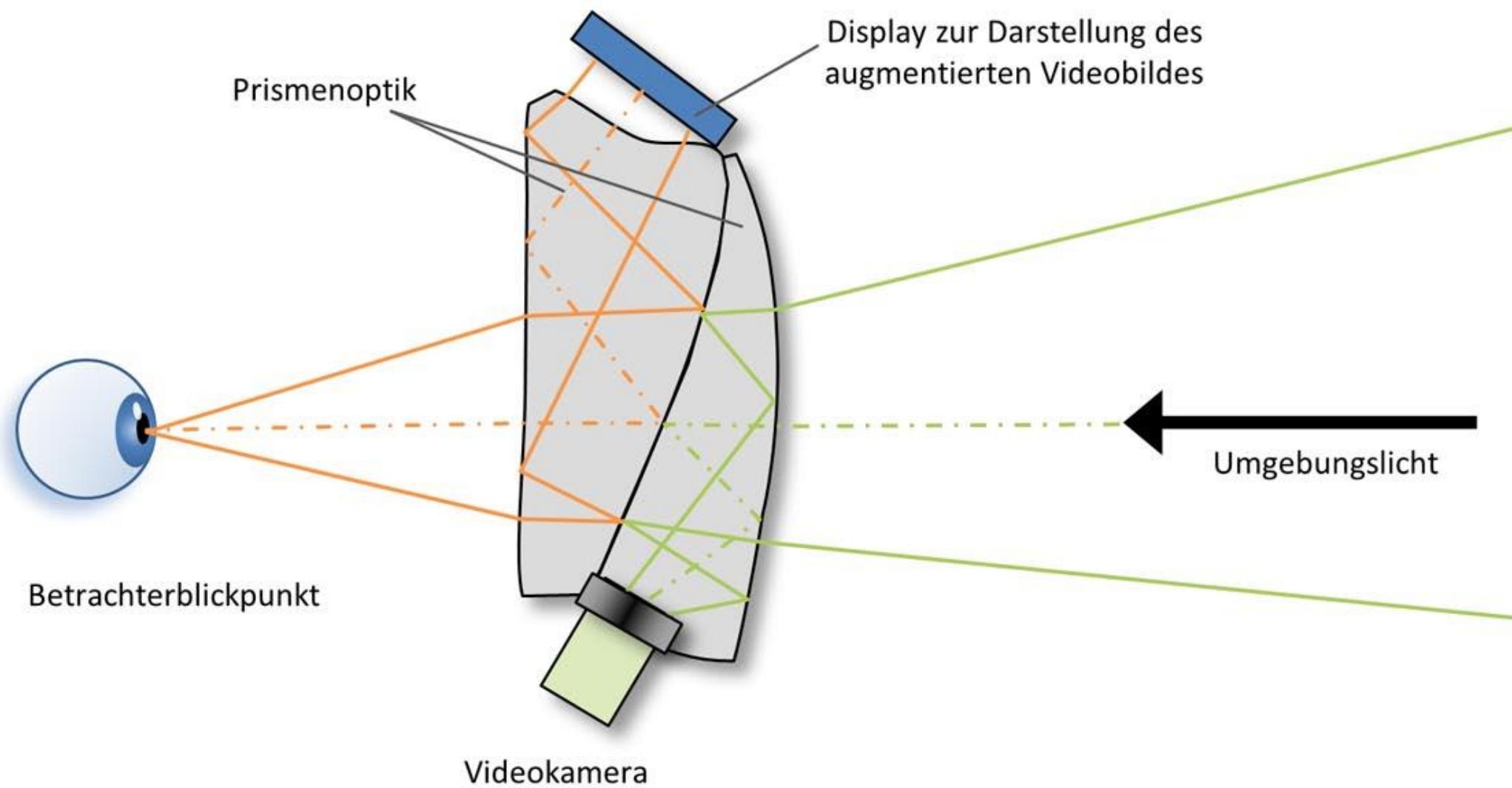
**Abb. 5.13** Schematischer Aufbau eines spiegelbasierten OST-Displays



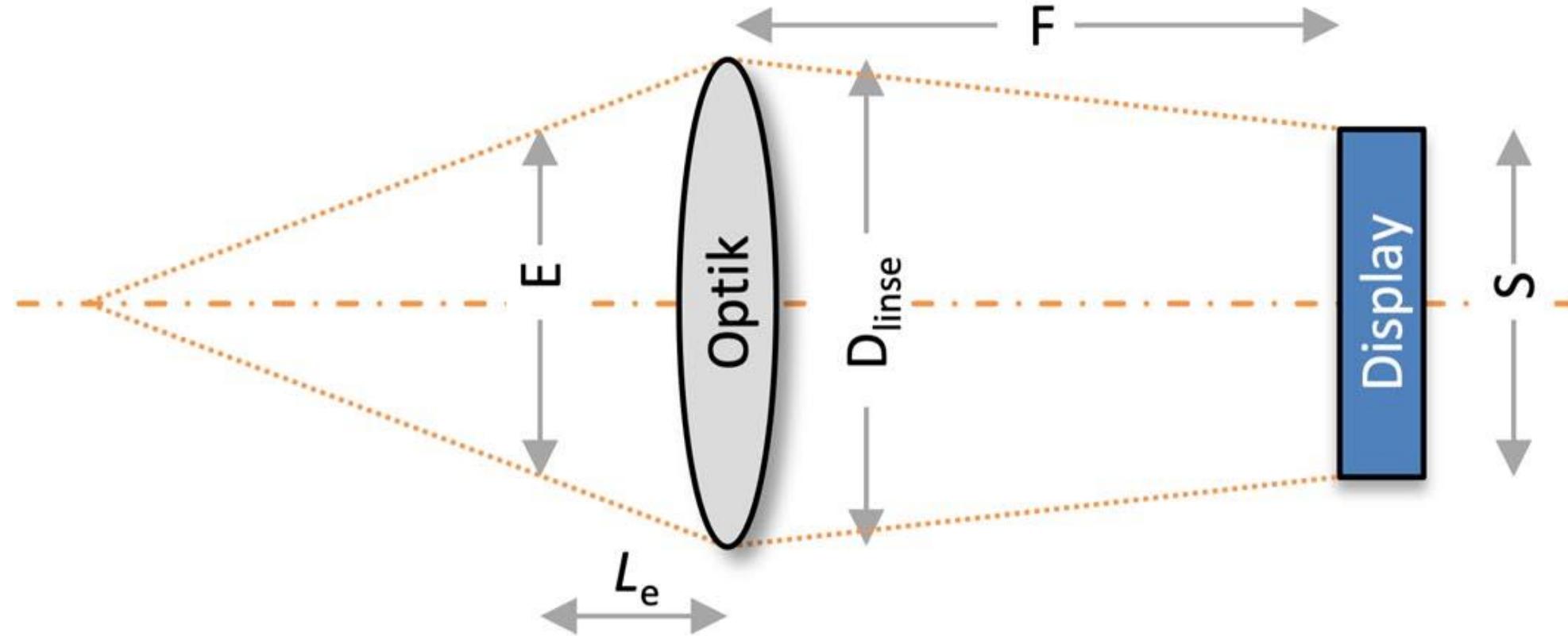
**Abb. 5.14** Funktionsweise eines retinalen virtuellen OST-Display (hier mit Spiegel)



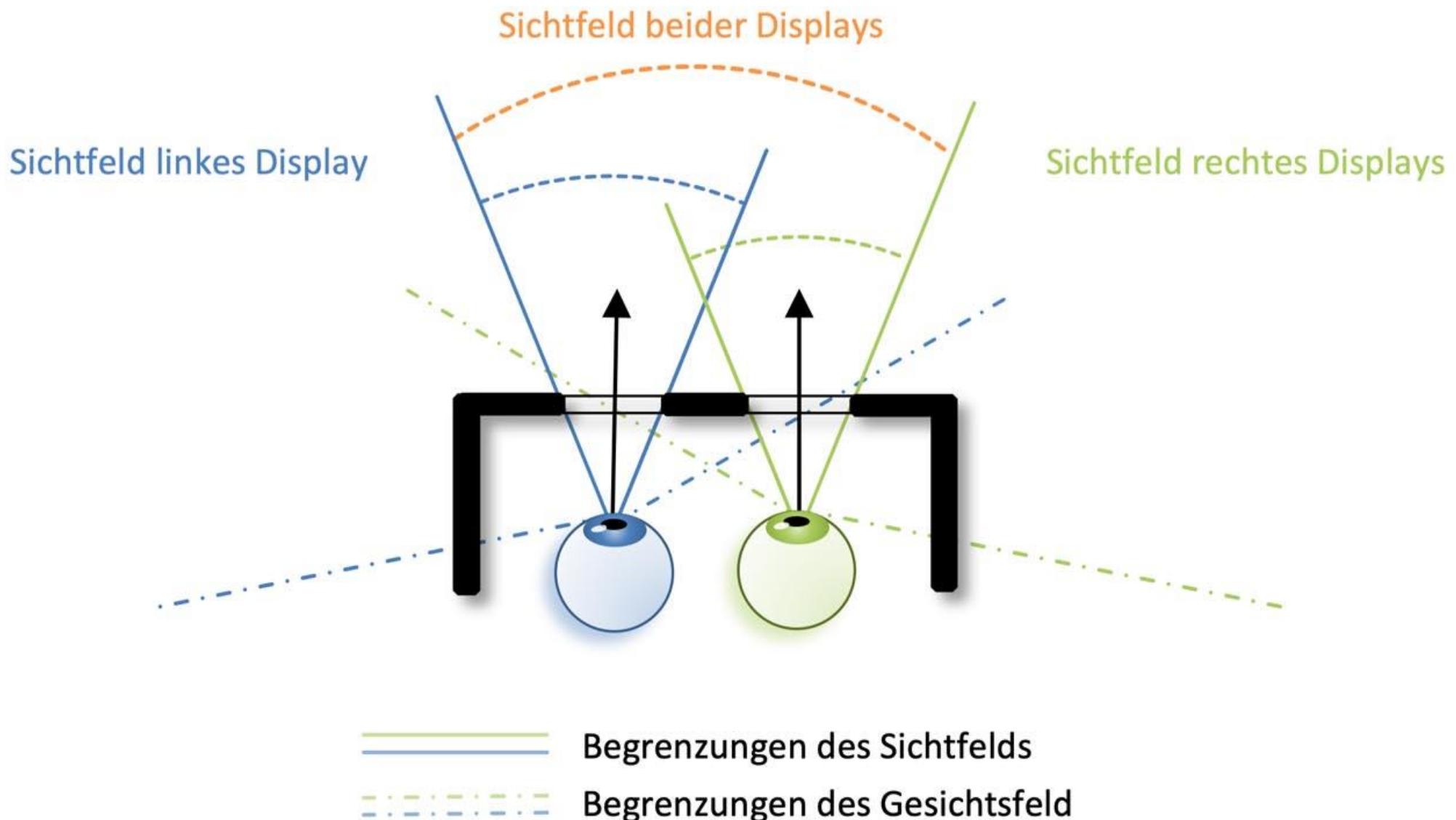
**Abb. 5.15** Schematischer Aufbau eines spiegelbasierten Video-See-Through-Displays



**Abb. 5.16** Schematischer Aufbau eines prismenbasierten Video-See-Through-Displays mit Kameras zur Aufnahme in Blickrichtung



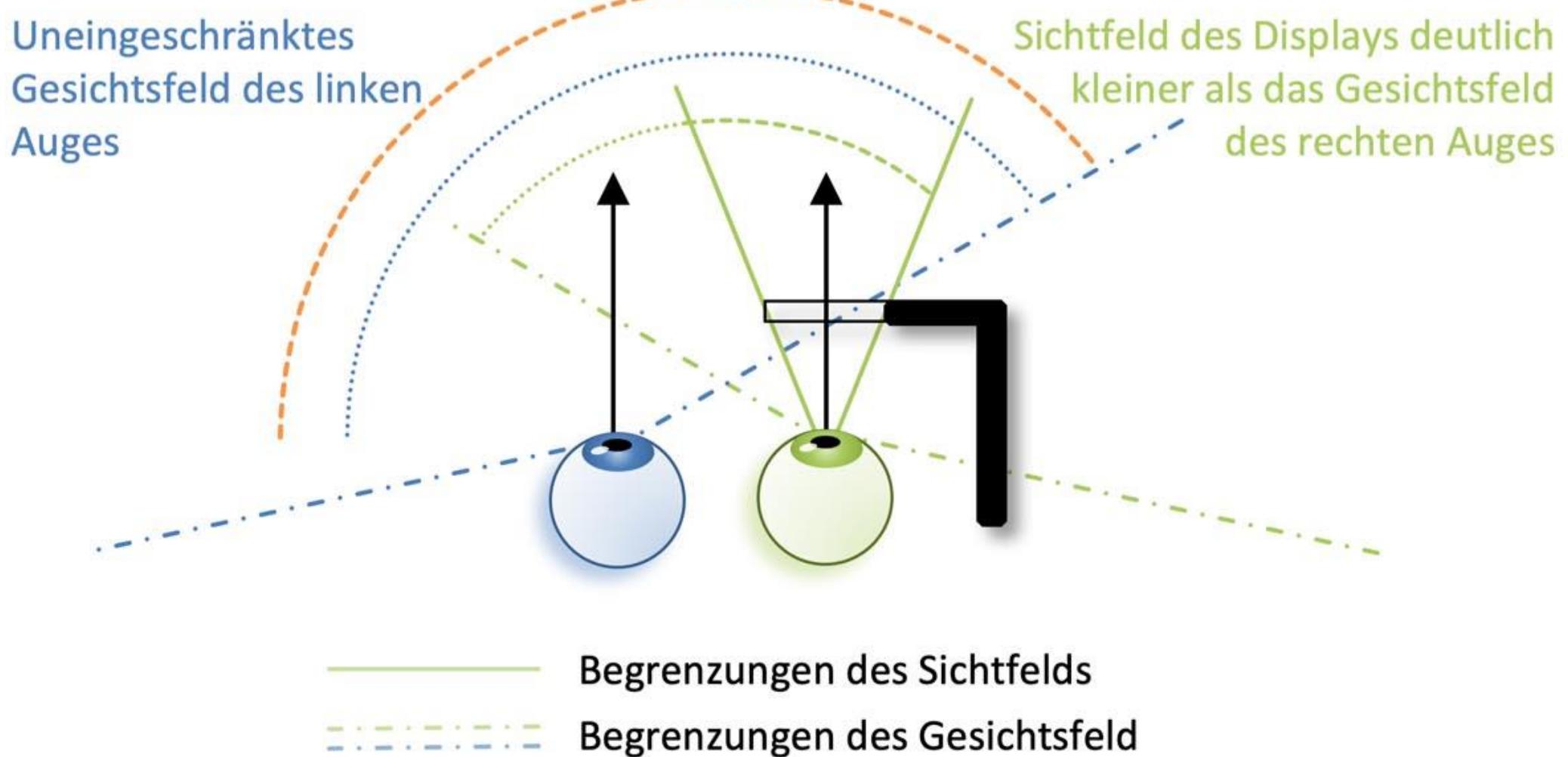
**Abb. 5.17** Optische Konzeption einer VR-Brille. (Nach Melzer und Moffitt 1997)



**Abb. 5.18** Sichtfeld eines HMD im Vergleich zum Gesichtsfeld des Nutzers am Beispiel einer binokularen AR-Brille in geschlossener Bauweise

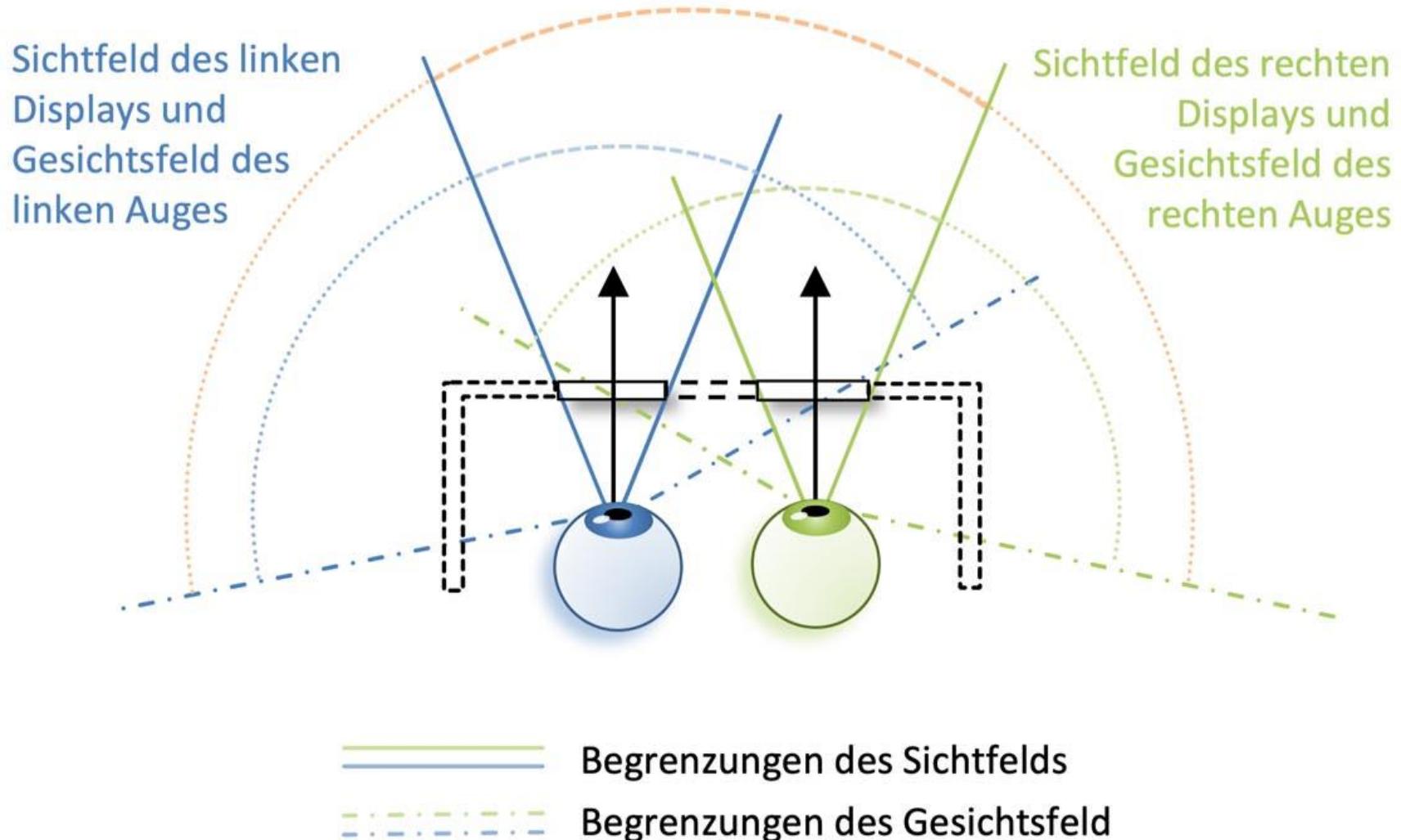
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

## Gemeinsames Gesichtsfeld beider Augen



**Abb. 5.19** Sichtfeld eines monokularen Display (rechts) bei geschlossener Bauweise

Gemeinsames Sichtfeld beider Displays und uneingeschränktes (reales)  
Gesichtsfeld aufgrund der offenen Bauweise



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

Abb. 5.20 Sichtfelder eines binokularen HMDs bei offener Bauweise



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.21** Problematik der Darstellung virtueller Objekte im Randbereich des Sichtfelds bei offener Bauart

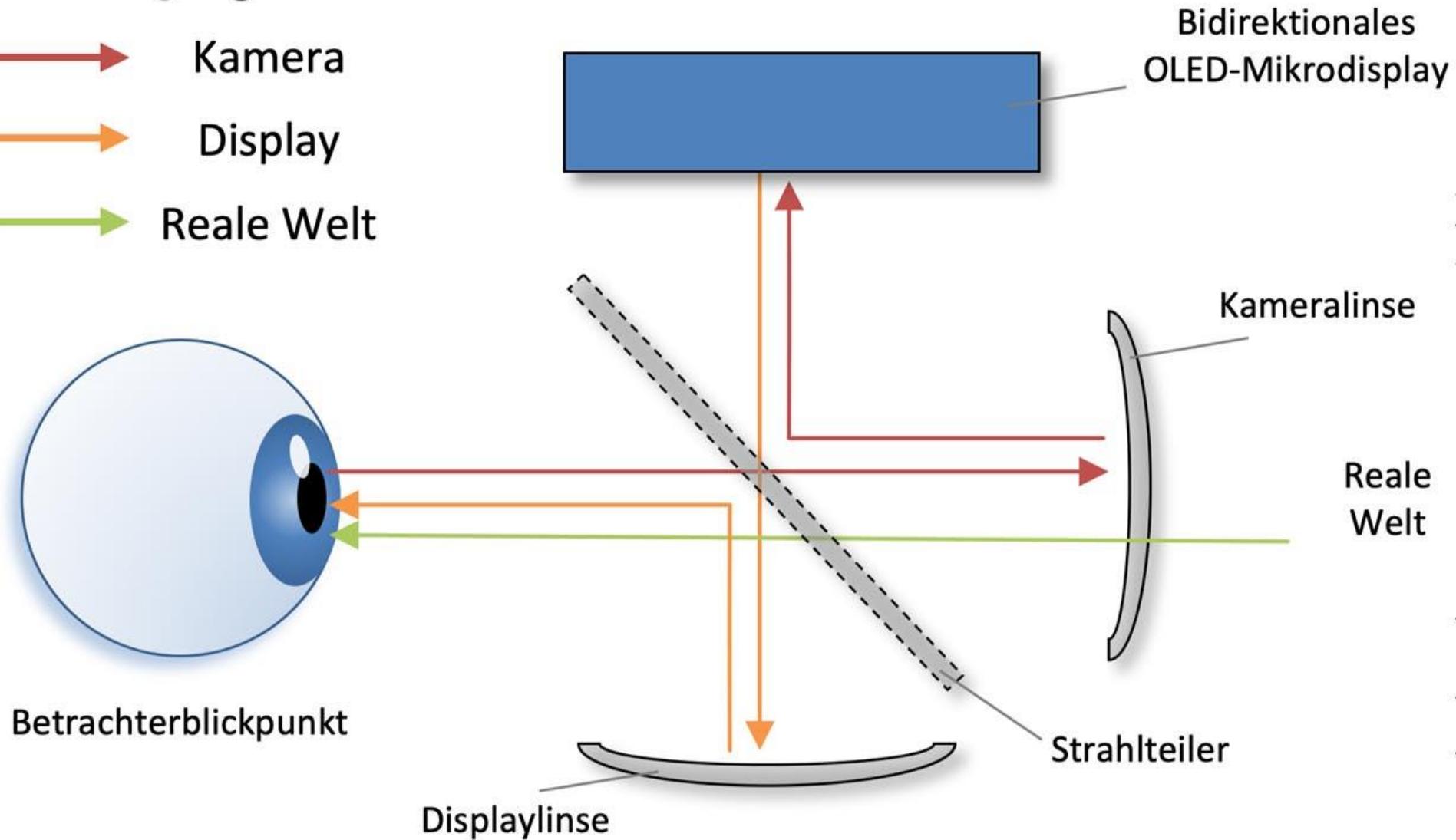


**Abb. 5.22** Magic Leap One AR-Brille mit integriertem Eye-Tracking. (© TU Ilmenau 2019, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

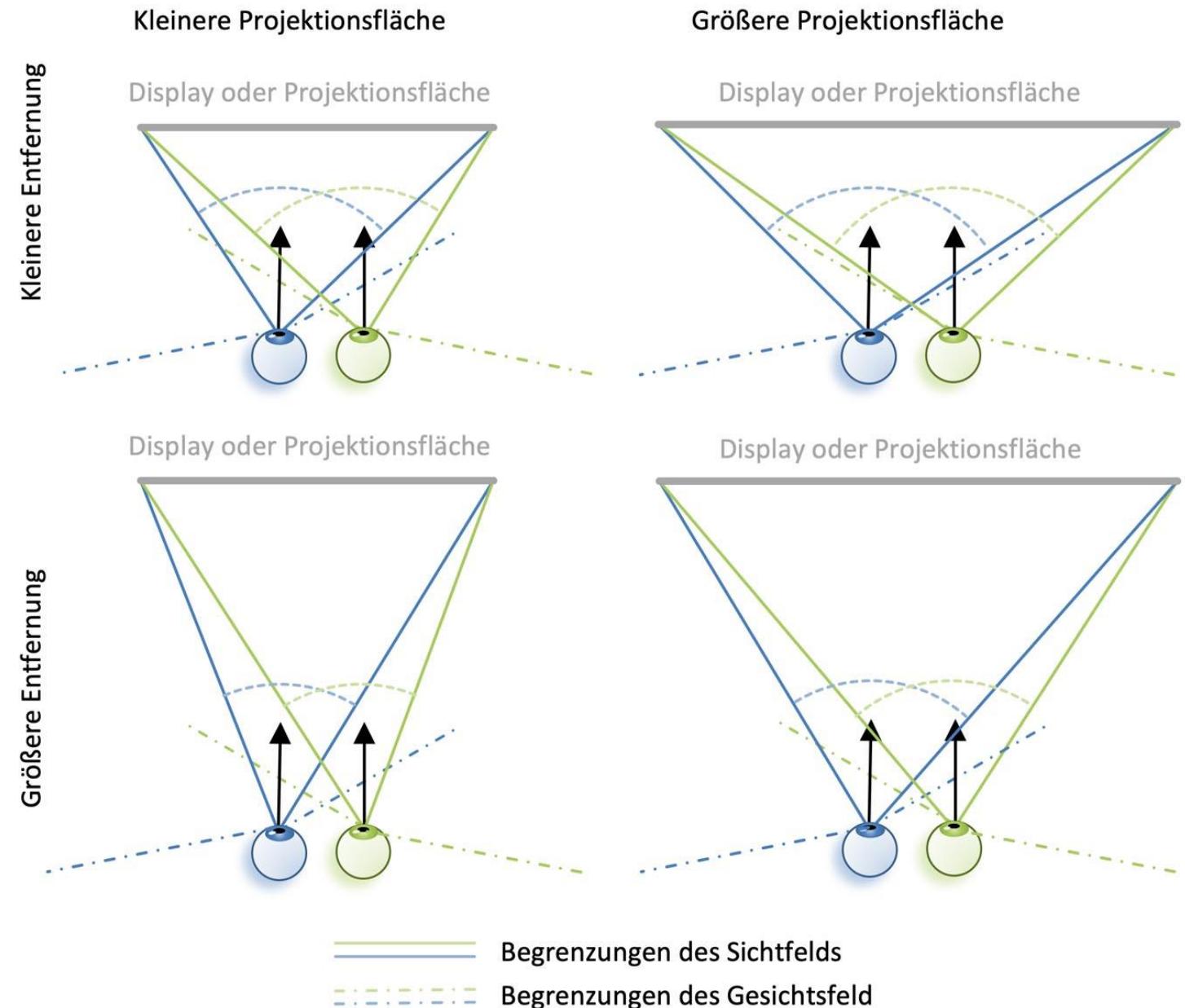
## Strahlengänge

- Kamera
- Display
- Reale Welt



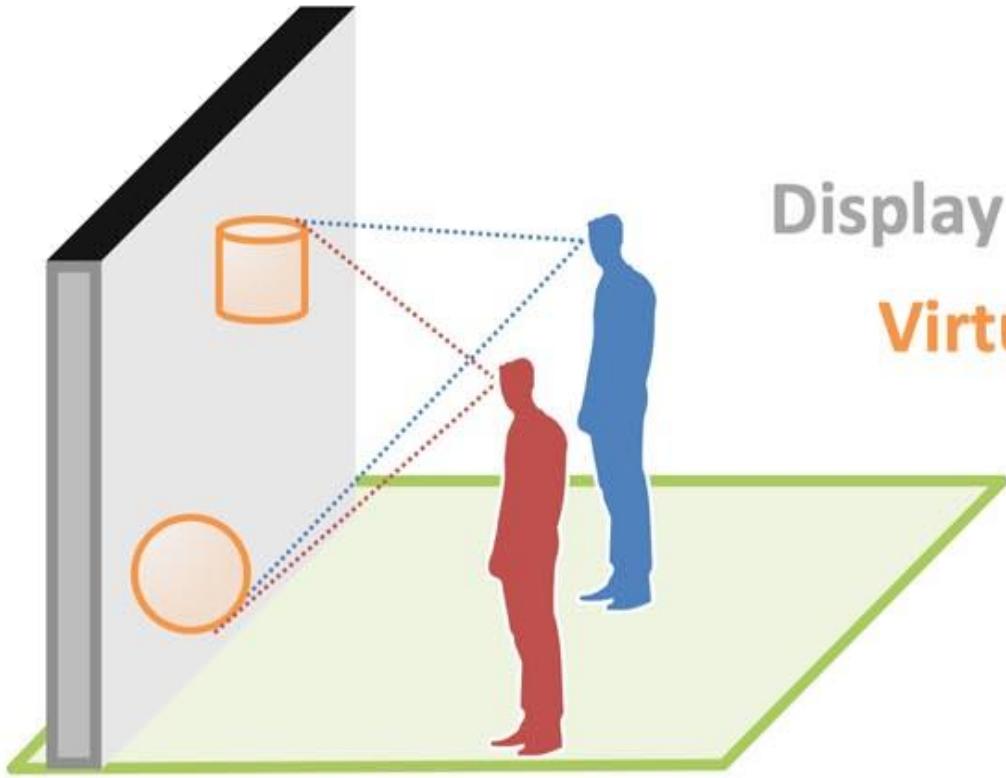
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.23** Optische Konzeption eines Eye-Tracking-HMDs mit bidirektionalem OLED-Mikrodisplay.  
(Nach Herold 2011)

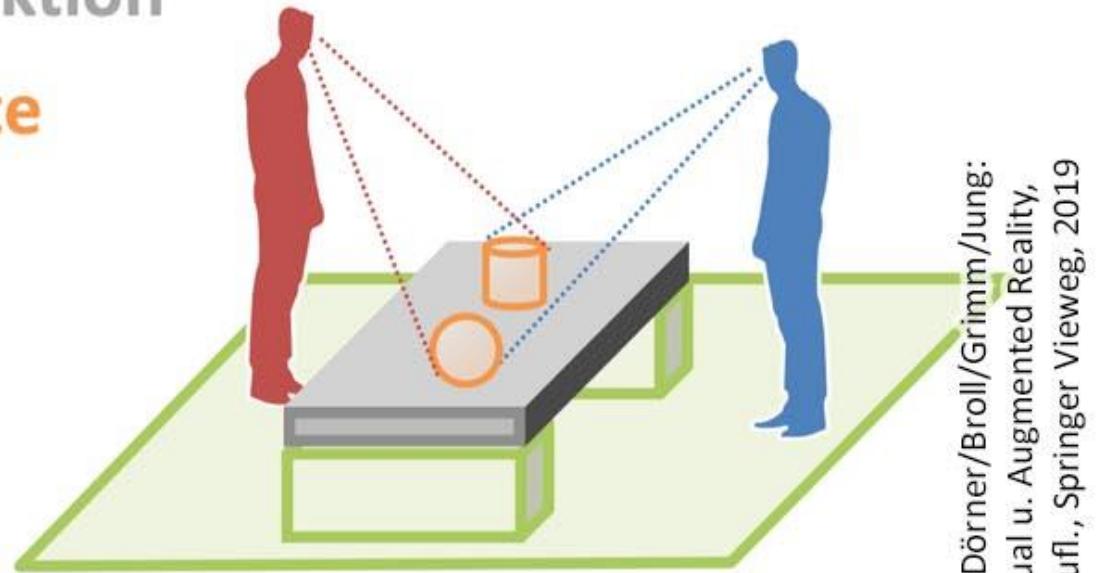


**Abb. 5.24** Abhängigkeit des Sichtfelds von der Größe und Entfernung des Displays bzw. der Projektionsfläche

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

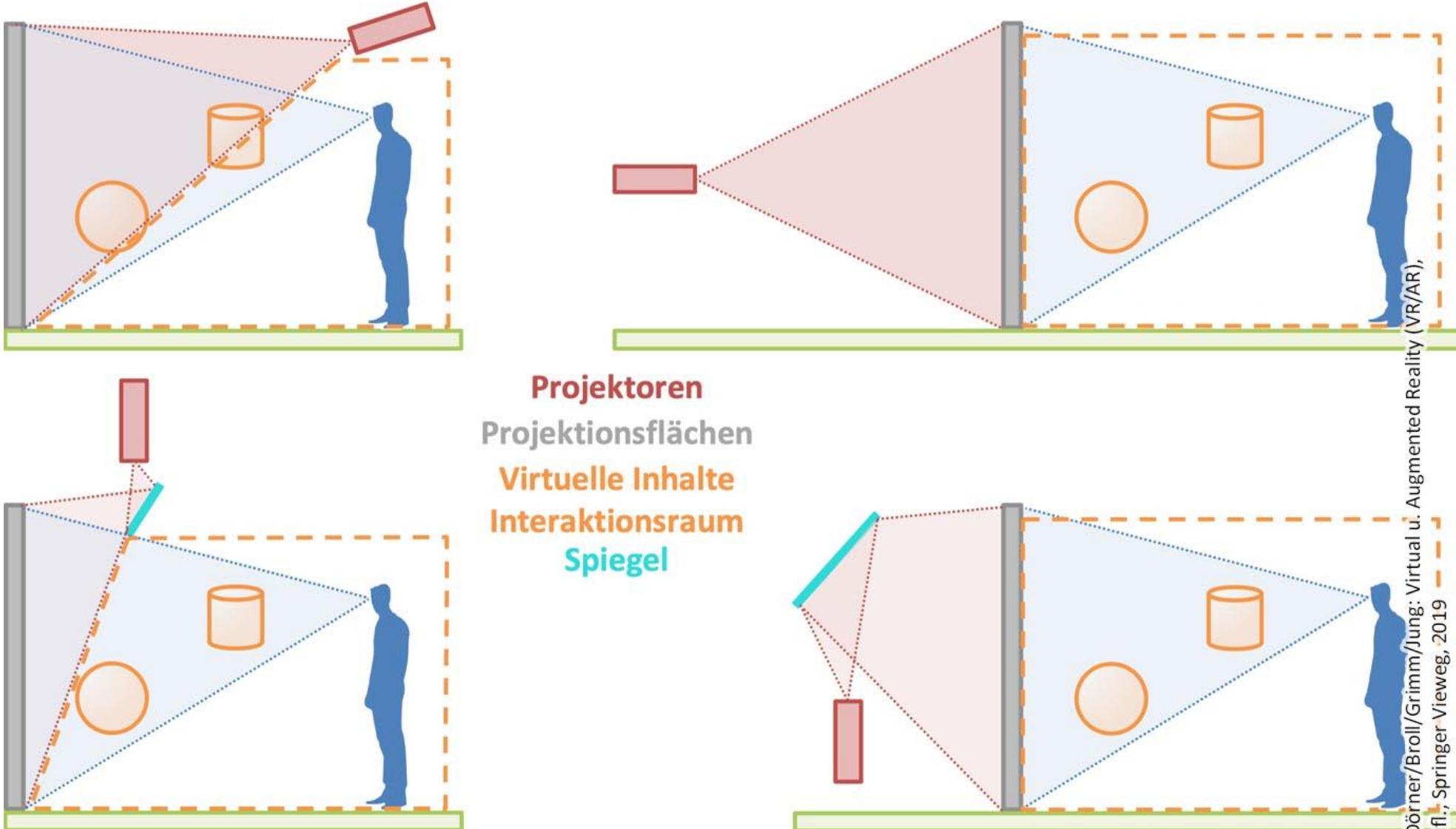


Display oder Projektion  
Virtuelle Inhalte

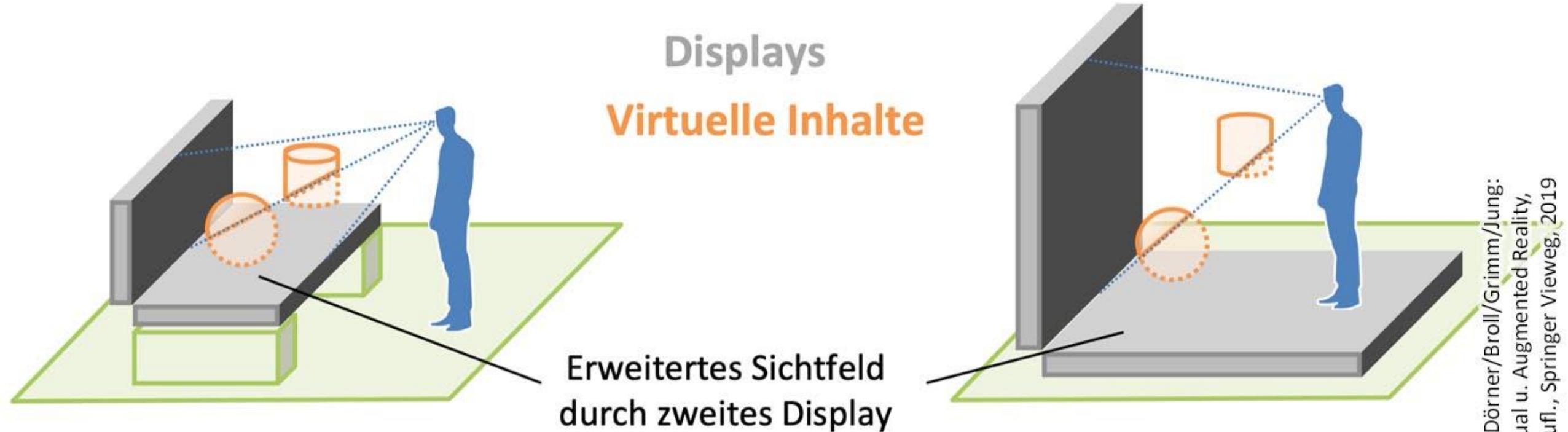


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

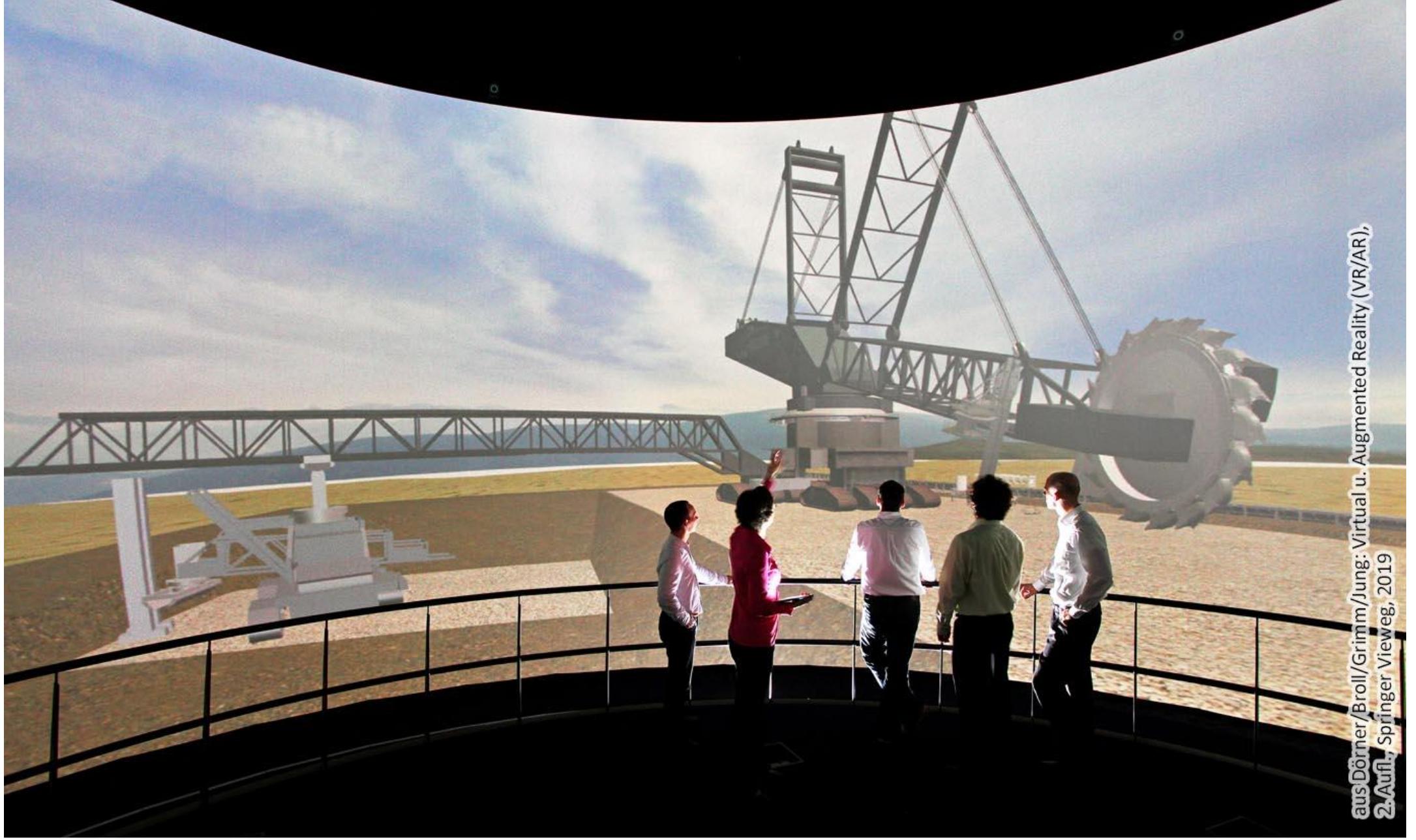
**Abb. 5.25** Vertikal und horizontal angeordnete einseitige Displays und Projektionen



**Abb. 5.26** Während bei der Aufprojektion der Interaktionsraum des Nutzers eingeschränkt wird, haben Rückprojektionen einen deutlich größeren Platzbedarf

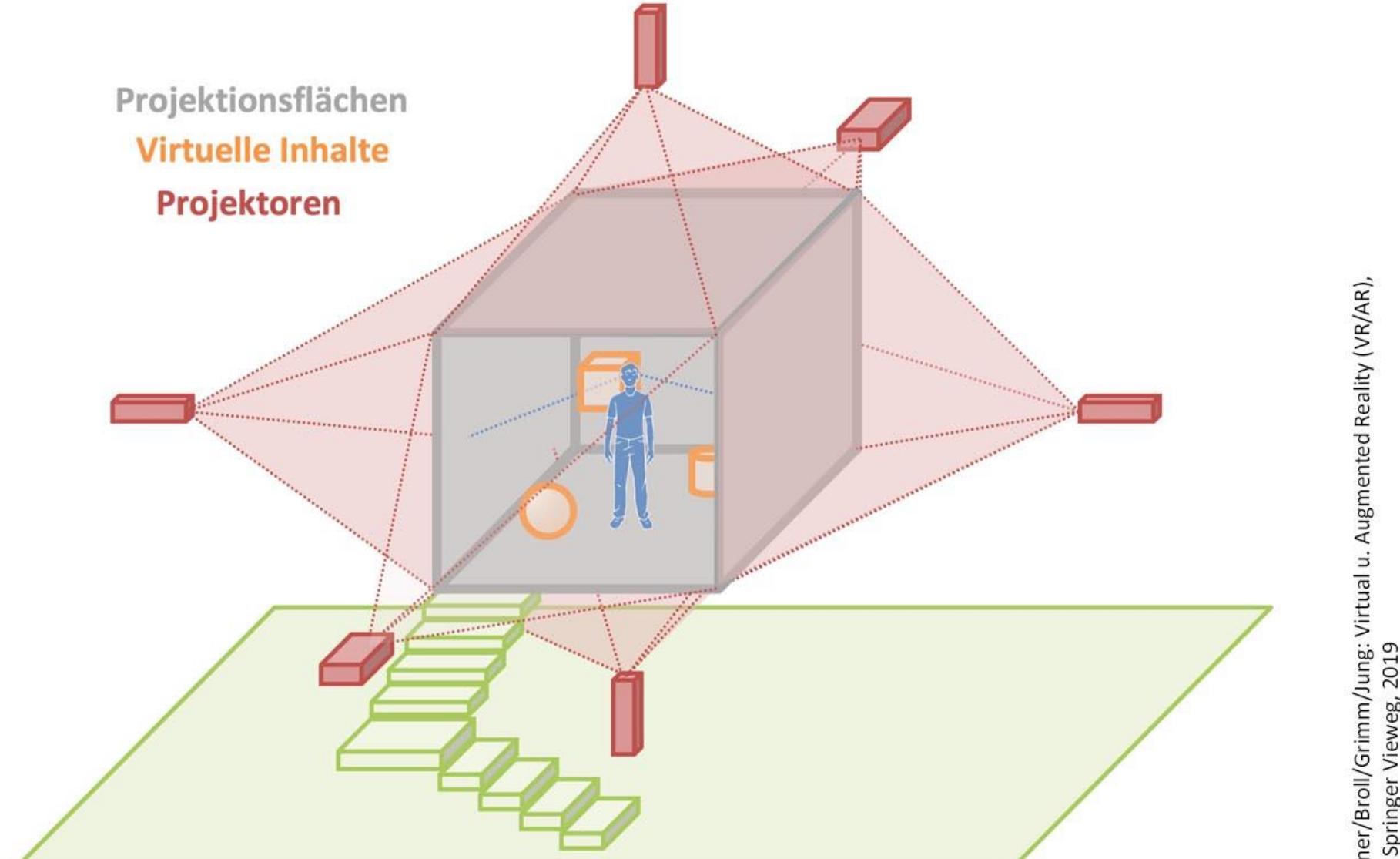


**Abb. 5.27** L-Shapes erweitern den für Stereosehen verfügbaren Arbeitsraum und reduzieren Frame Cancellation



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.28** Beispiel einer Curved-Screen-Projektion. (© Fraunhofer IFF 2013. All Rights Reserved)



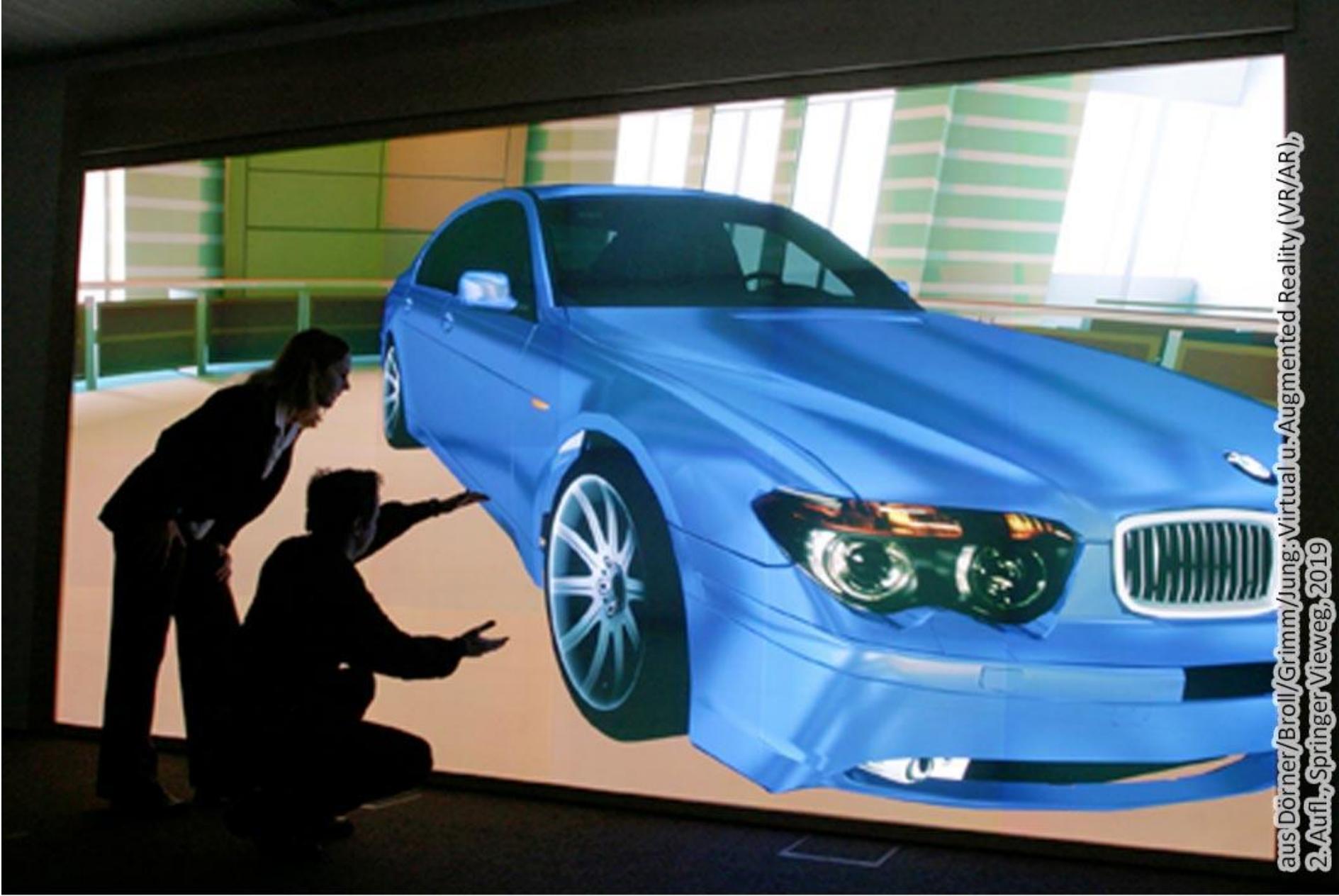
**Abb. 5.29** Schema einer Sechsseiten-CAVE



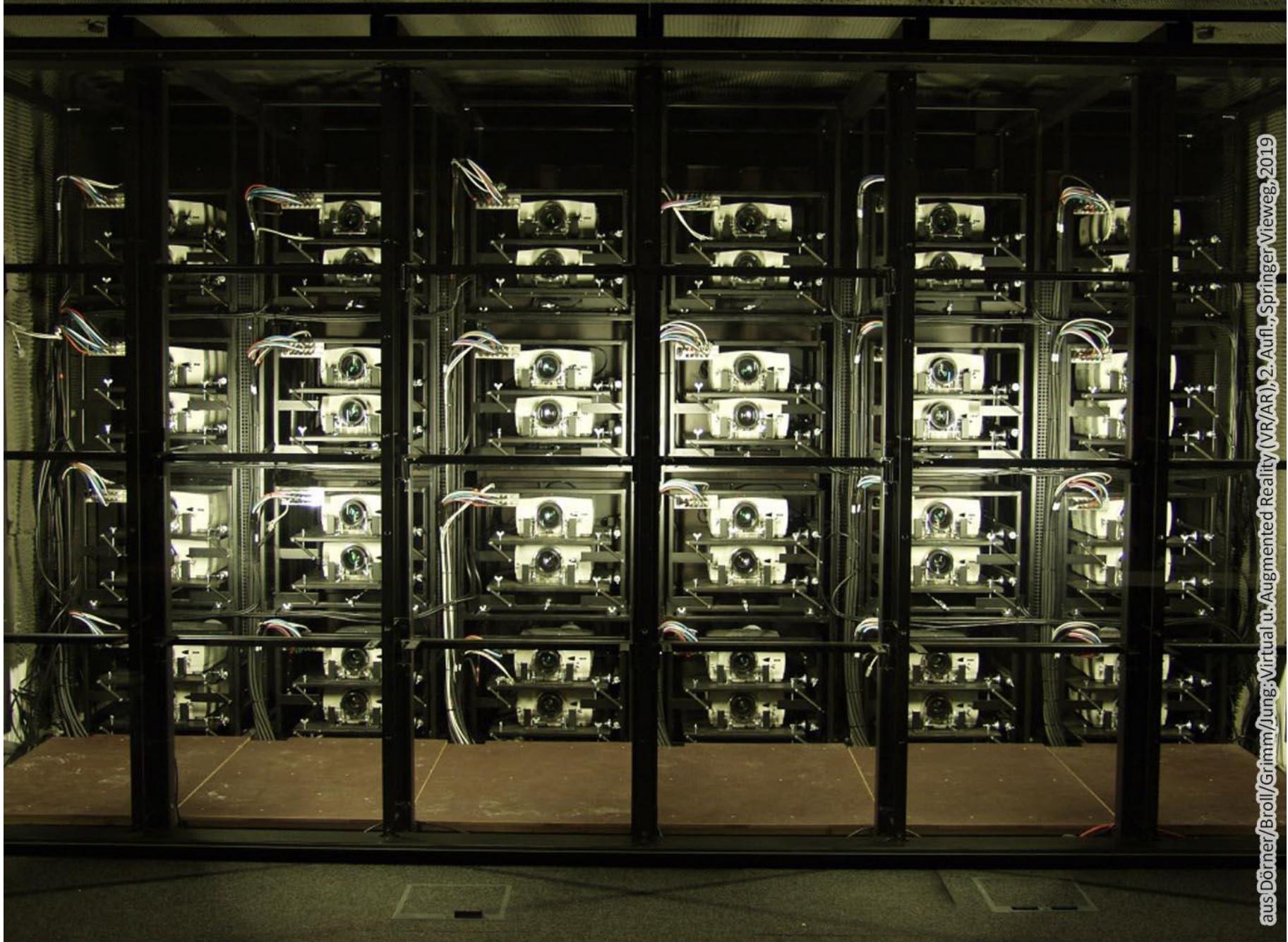
**Abb. 5.30** CAVE C6 an der Iowa State University

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung; Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung; Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 5.31** Tiled Wall am Beispiel der HEyeWall mit 48 Projektoren.  
(© Fraunhofer IGD 2013, All Rights Reserved)



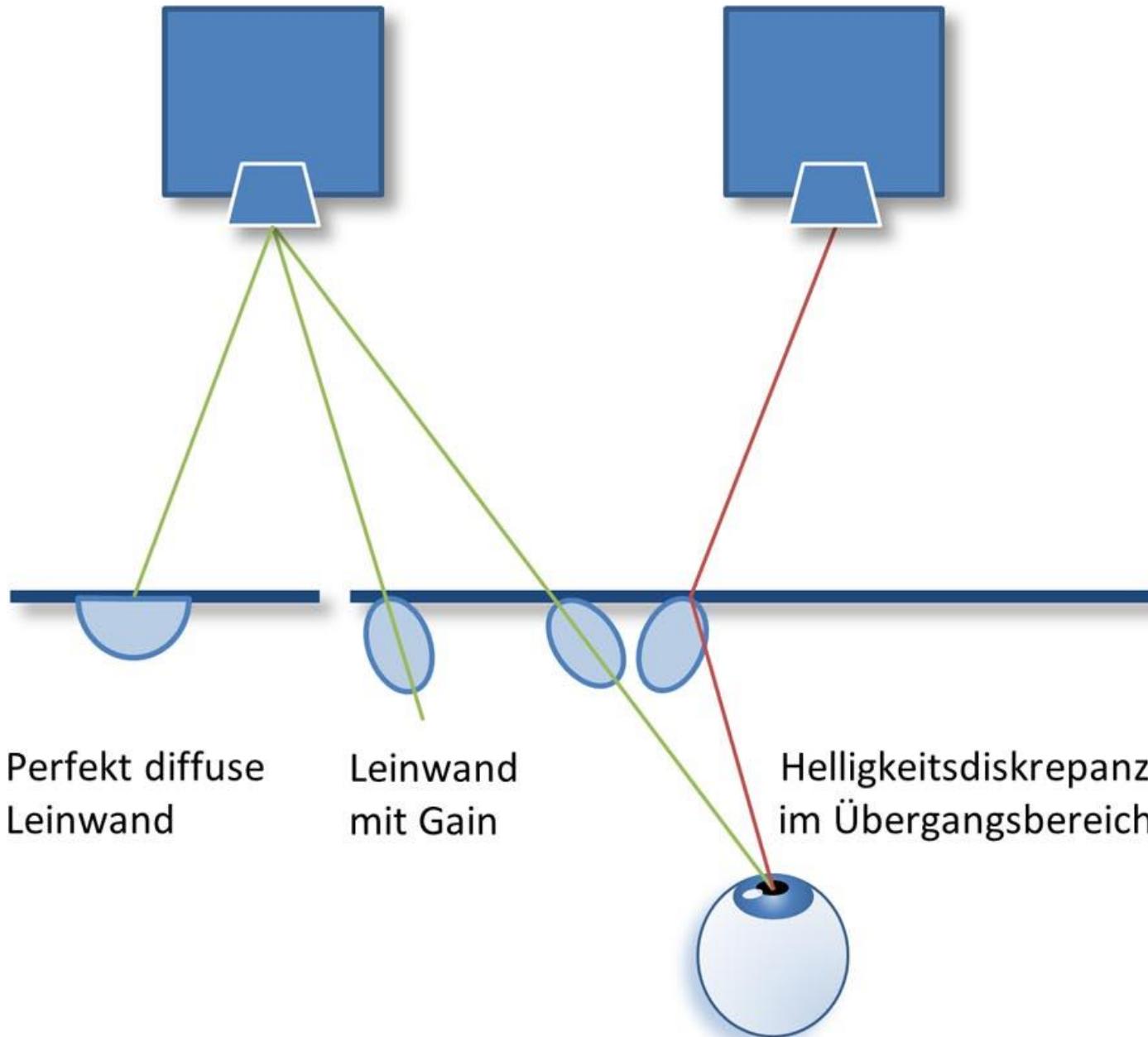
**Abb. 5.32** HEyeWall Aufbau. (© Fraunhofer IGD 2013, All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung, Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



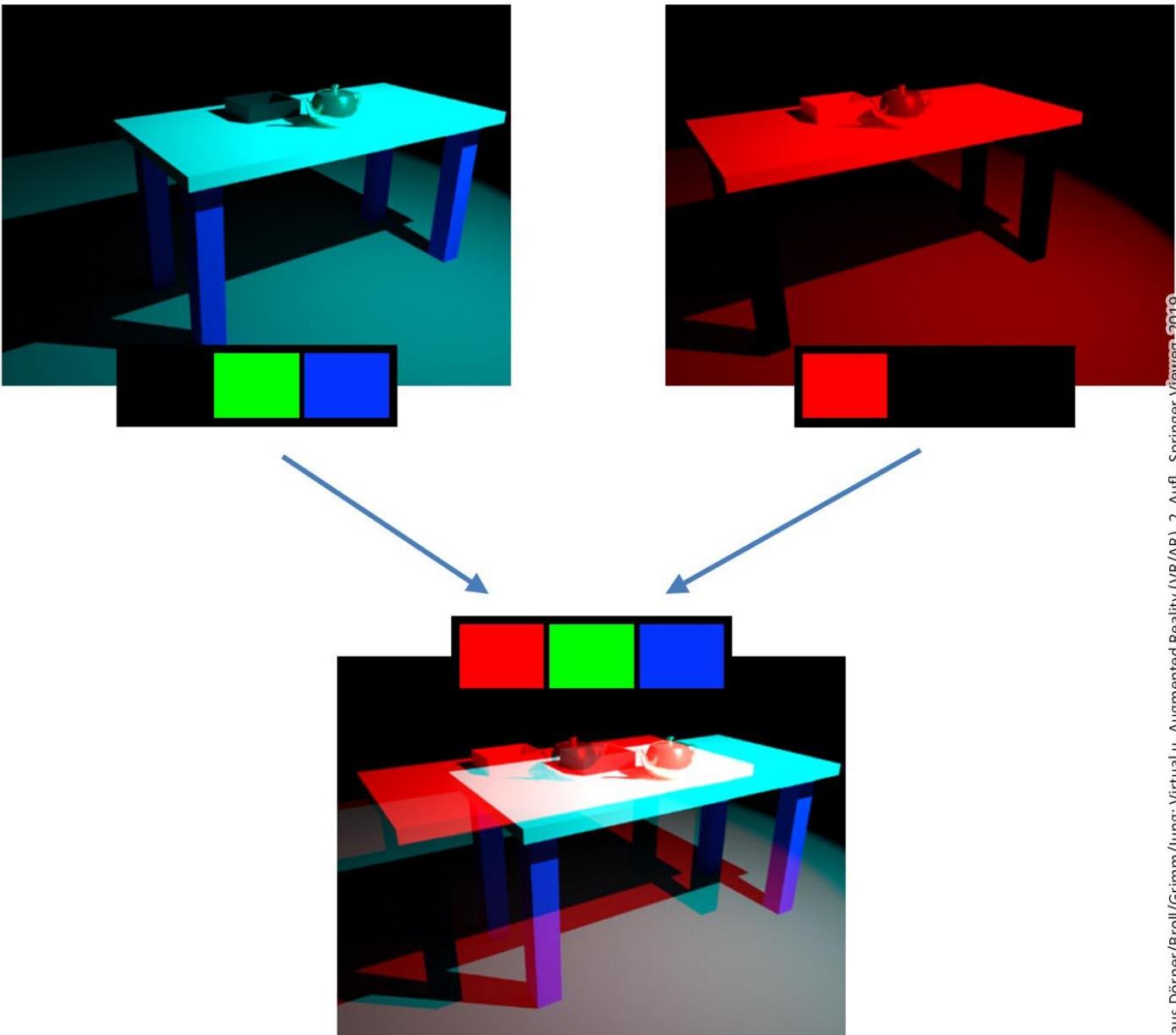
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.33** Tiled Wall aus Monitoren am Beispiel des Reality Decks der Stony Brook University



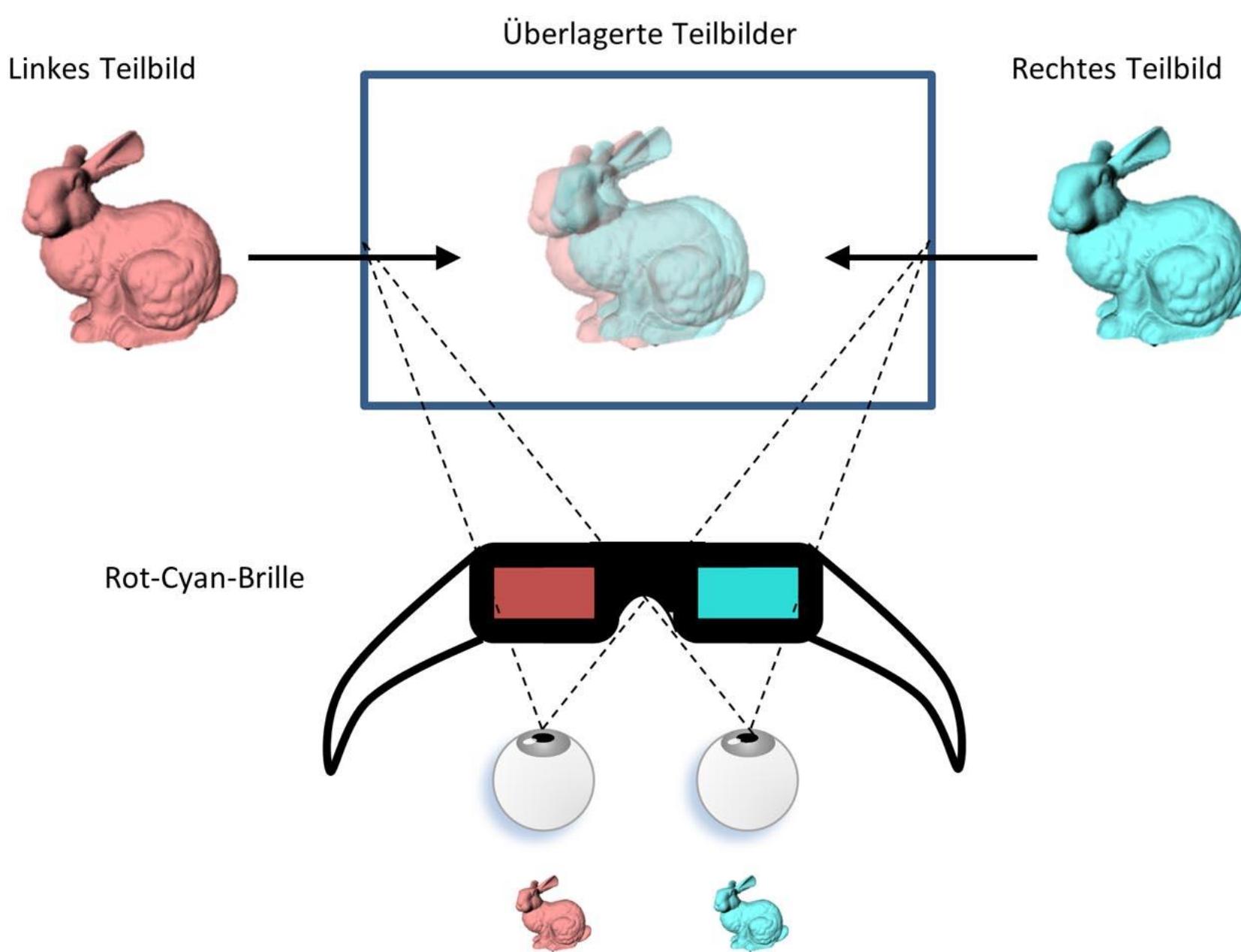
**Abb. 5.34** Helligkeitsdiskrepanz durch nicht-diffuse Leinwand

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

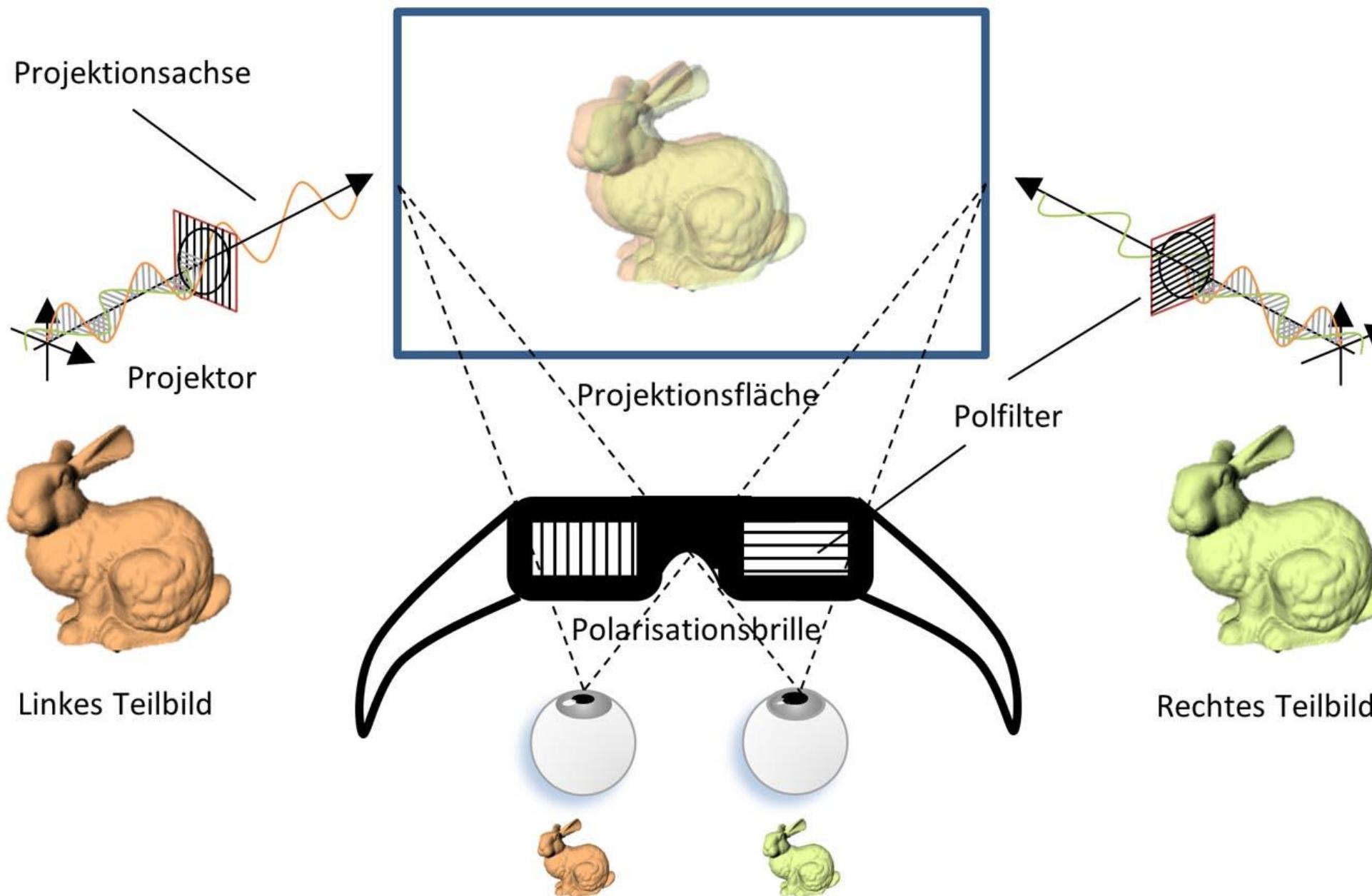
**Abb. 5.35** Aufteilung der Pixel entlang der RGB-Subpixel (links) und Farbanaglyphendarstellung einer 3D-Szene mit Rot-Cyan-Kanaltrennung. Die Problematik des Ansatzes ist an den dunkelblauen Tischbeinen zu erkennen, welche lediglich im linken Teilbild vorhanden sind. (© Rolf Kruse, FH Erfurt 2019, All Rights Reserved)



**Abb. 5.36** Überlagerung der Teilbilder und Kanaltrennung mittels Farbfiltern beim Anaglyphenverfahren

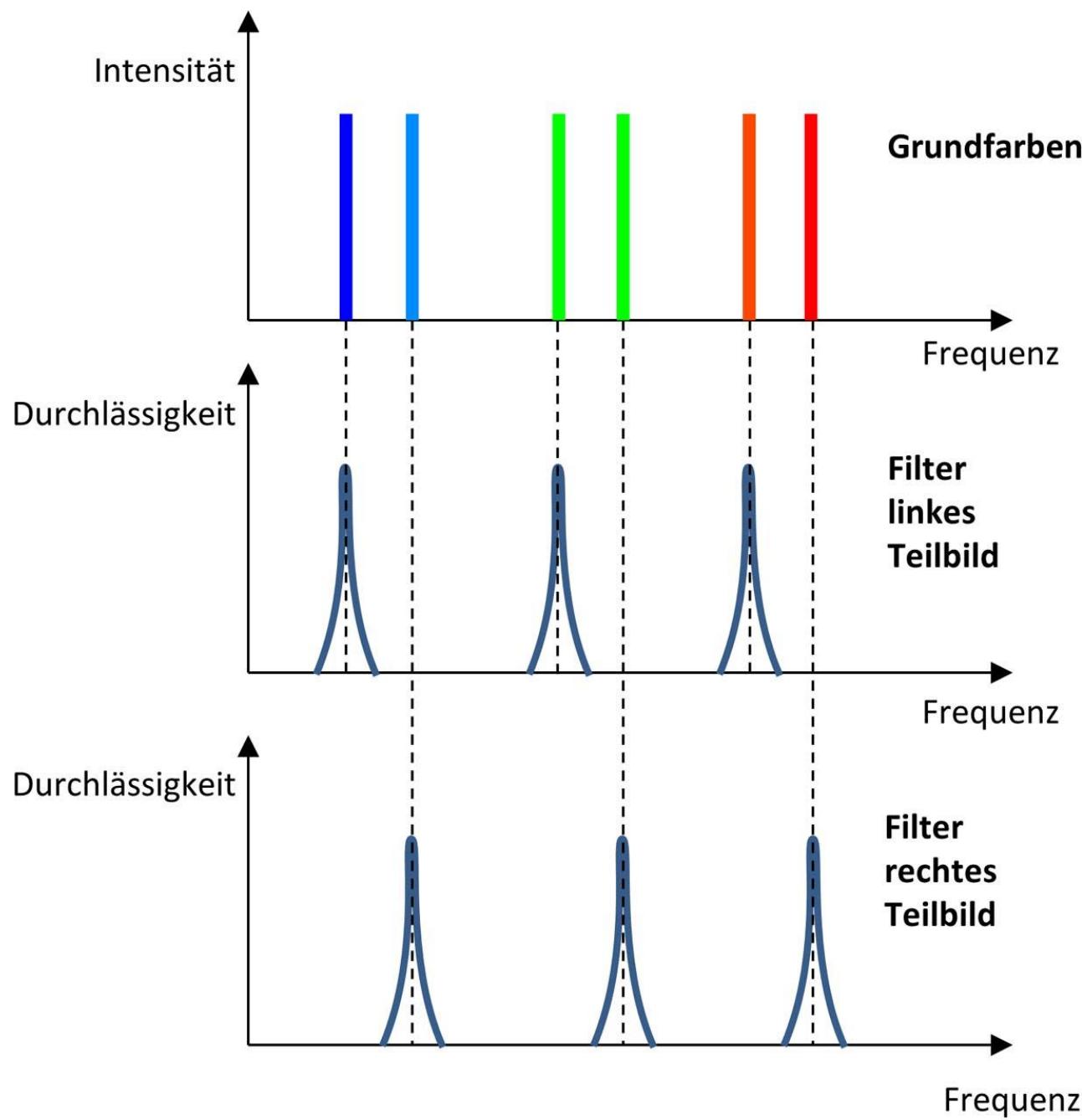
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

## Überlagerte Teilbilder



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

Abb. 5.37 Überlagerung der Teilbilder und Kanaltrennung mittels linearer Polarisationsfilter



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.38** Zusammensetzung der beiden Teilbilder aus jeweils drei unterschiedlichen Grundfarben

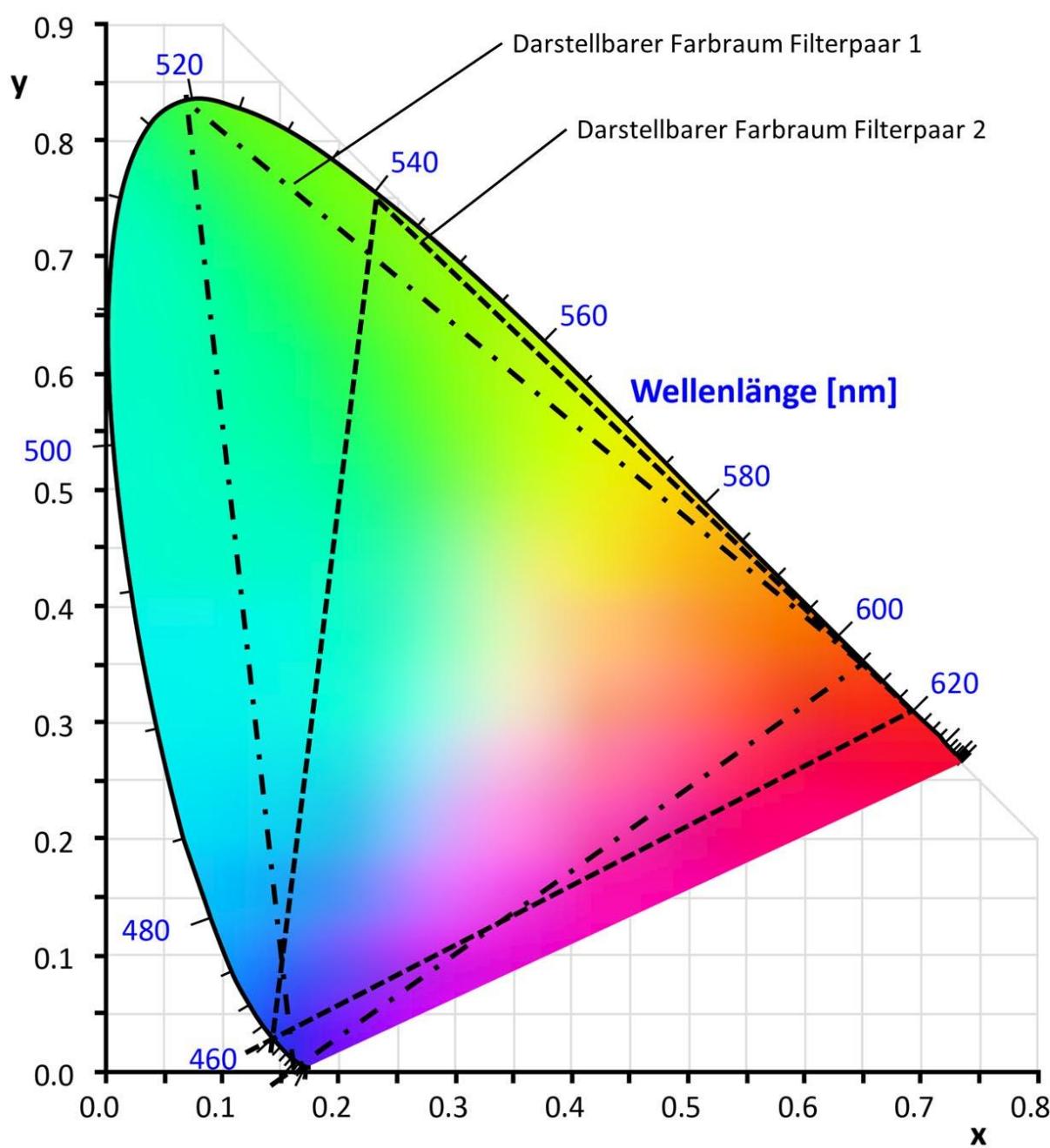
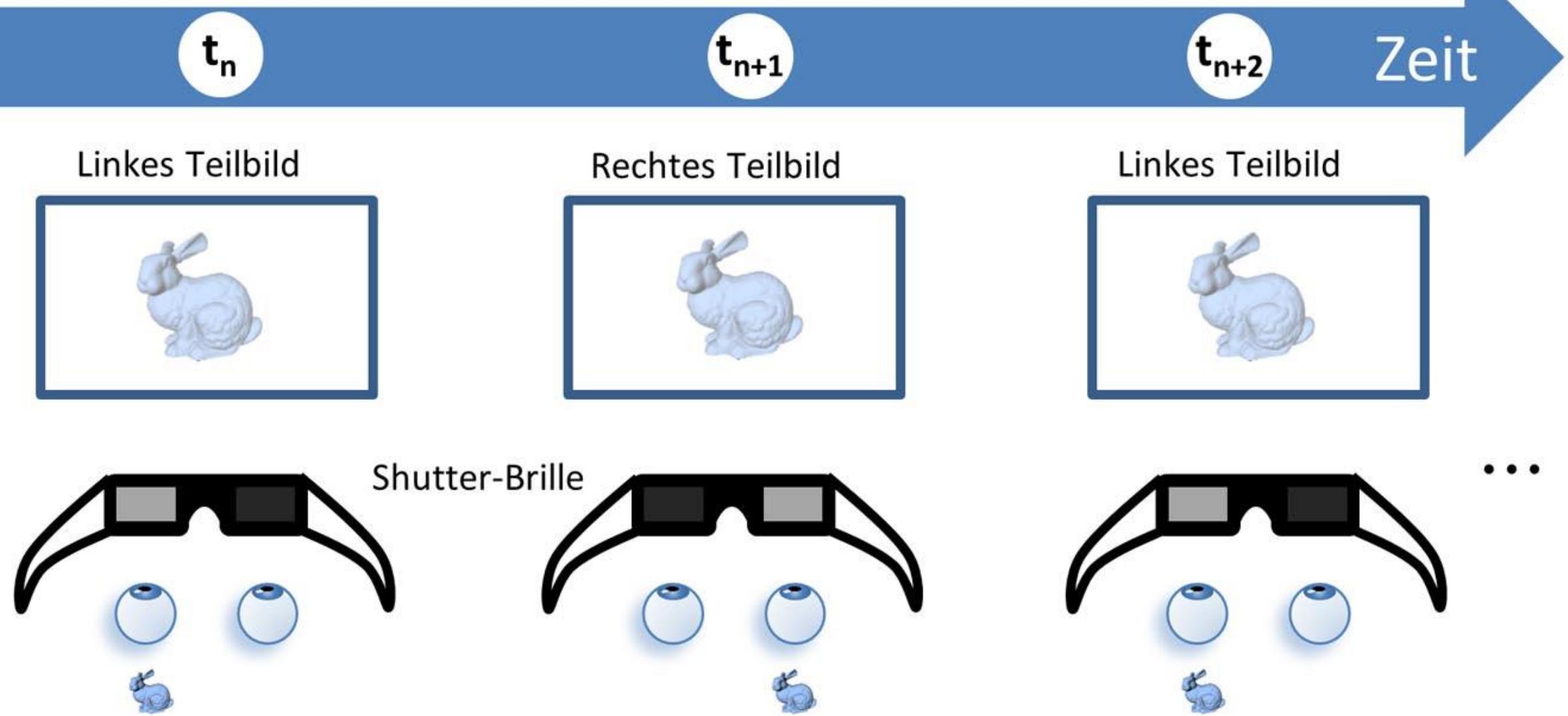
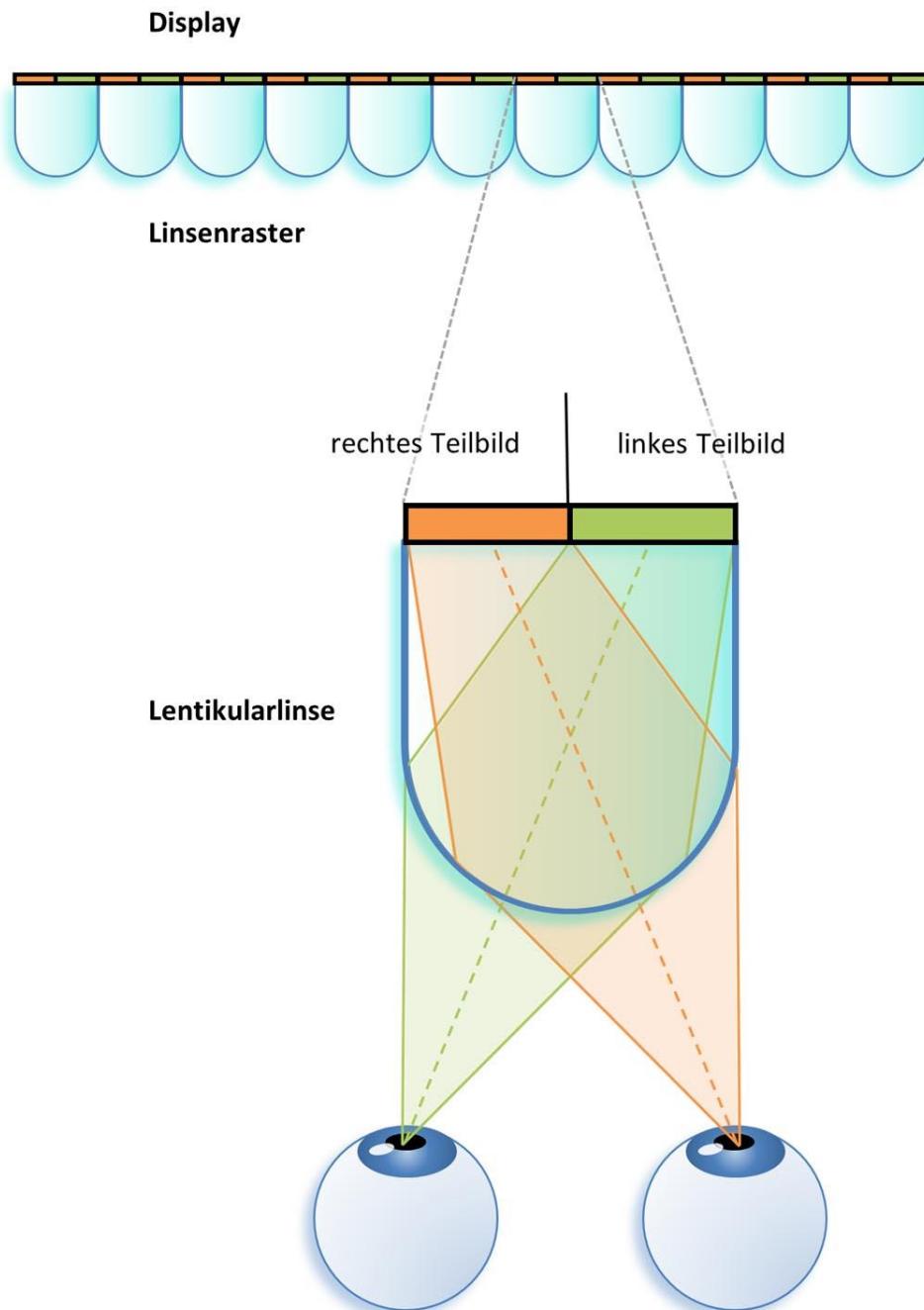


Abb. 5.39 CIE-Normvalenzsystem mit den Grundfarben zweier Filter beim Wellenlängenmultiplexverfahren

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

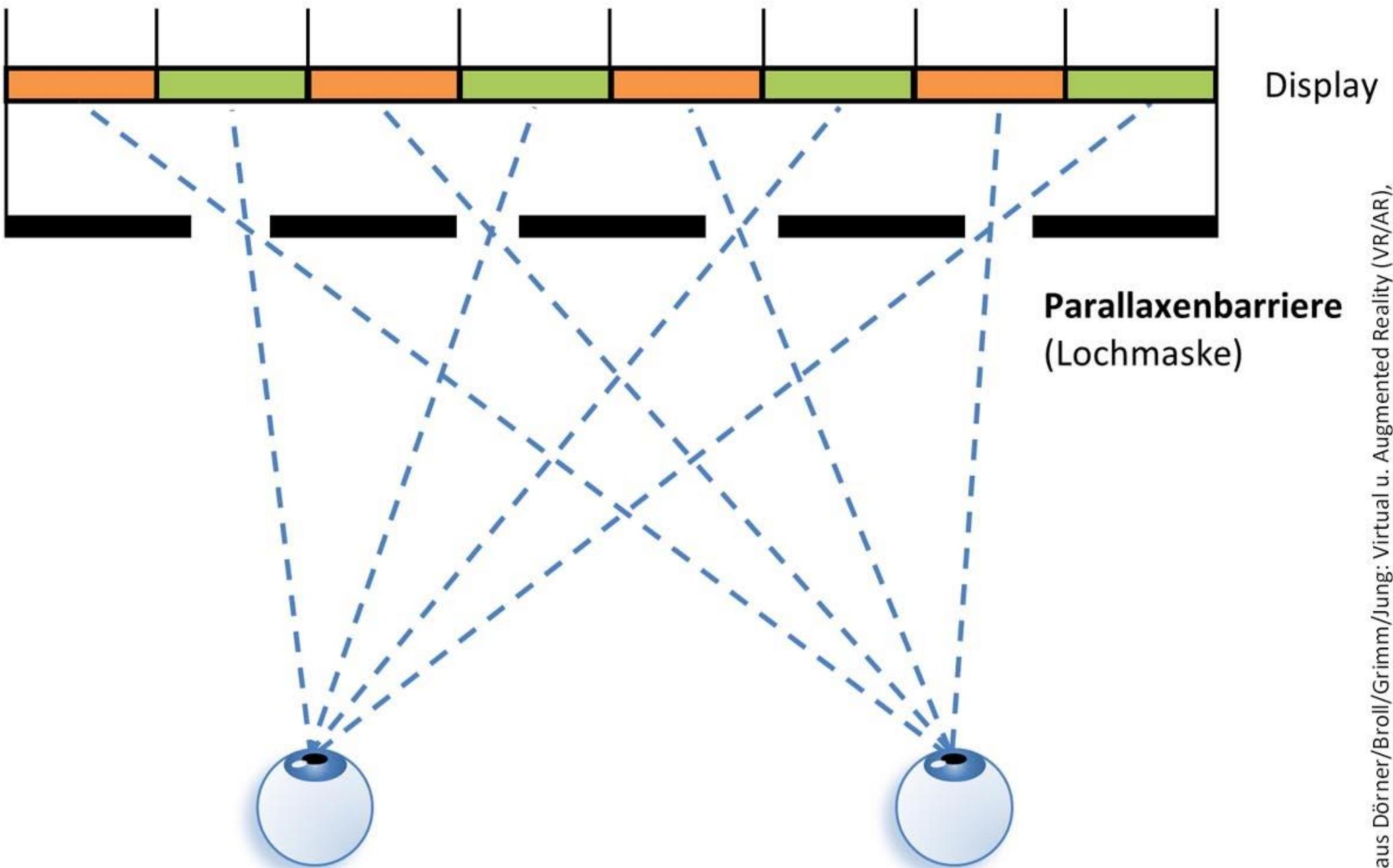


**Abb. 5.40** Zeitsequenzielle Darstellung des linken und rechten Teilbildes synchron zur alternierenden Öffnung bzw. Schließung des Shutter-LCD vor dem linken bzw. rechten Auge, sodass von jedem Auge nur das jeweils dafür bestimmte Teilbild wahrgenommen wird



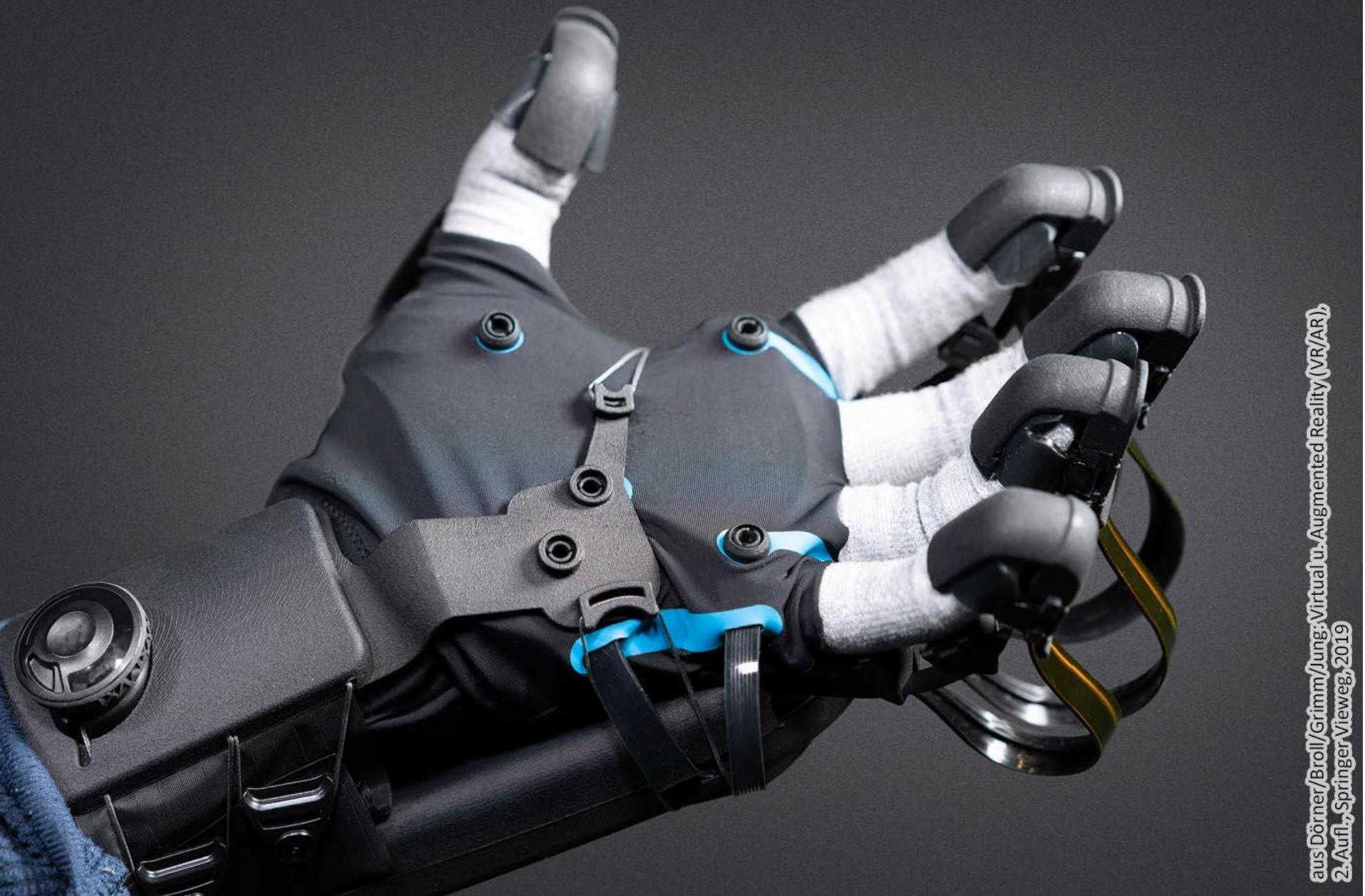
**Abb. 5.41** Prismenraster aus Lentikularlinsen mit Ausschnittsvergrößerung einer Lentikularlinse zur Kanaltrennung

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



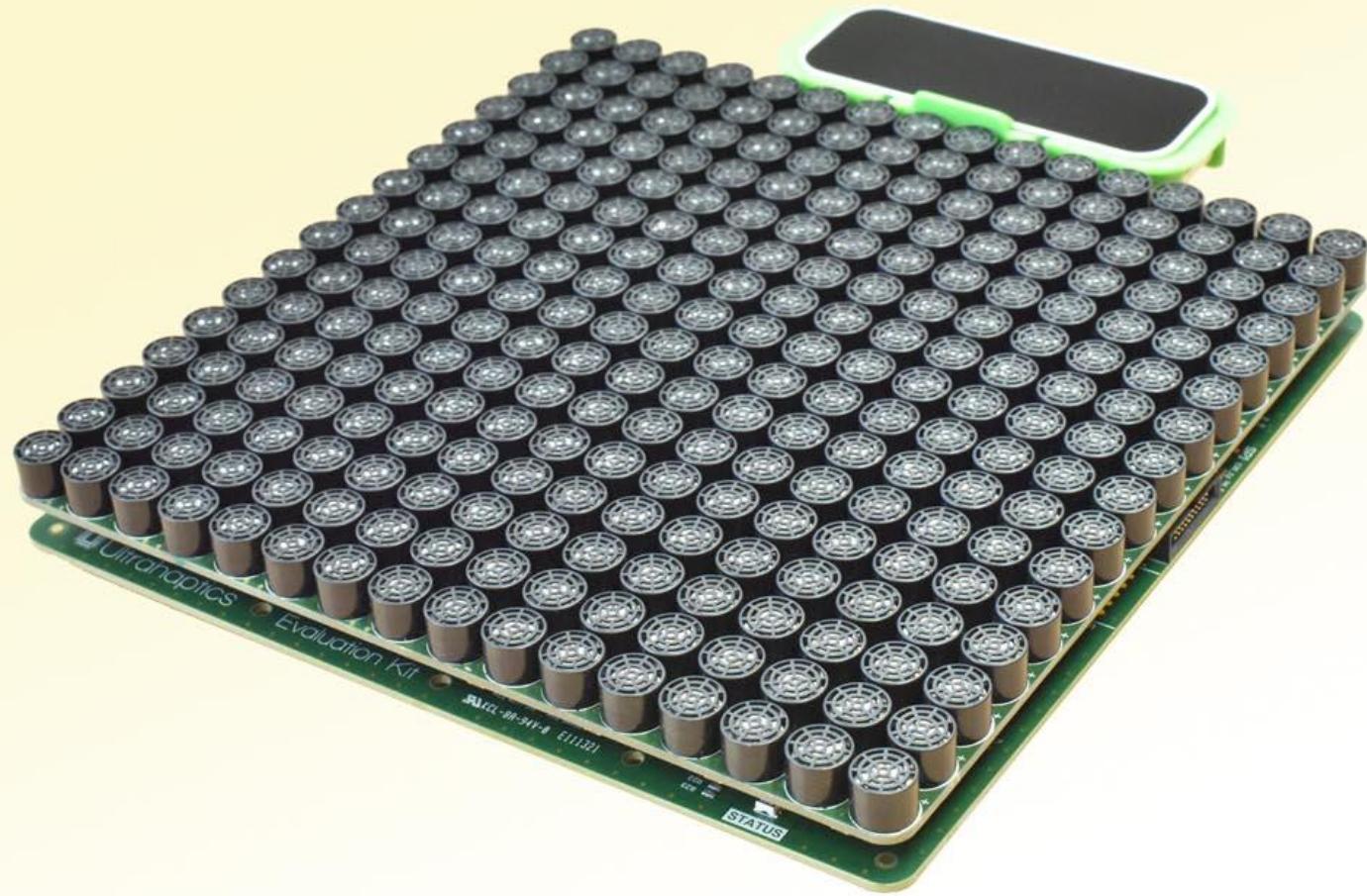
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.42** Parallaxenbarriere zur Kanaltrennung



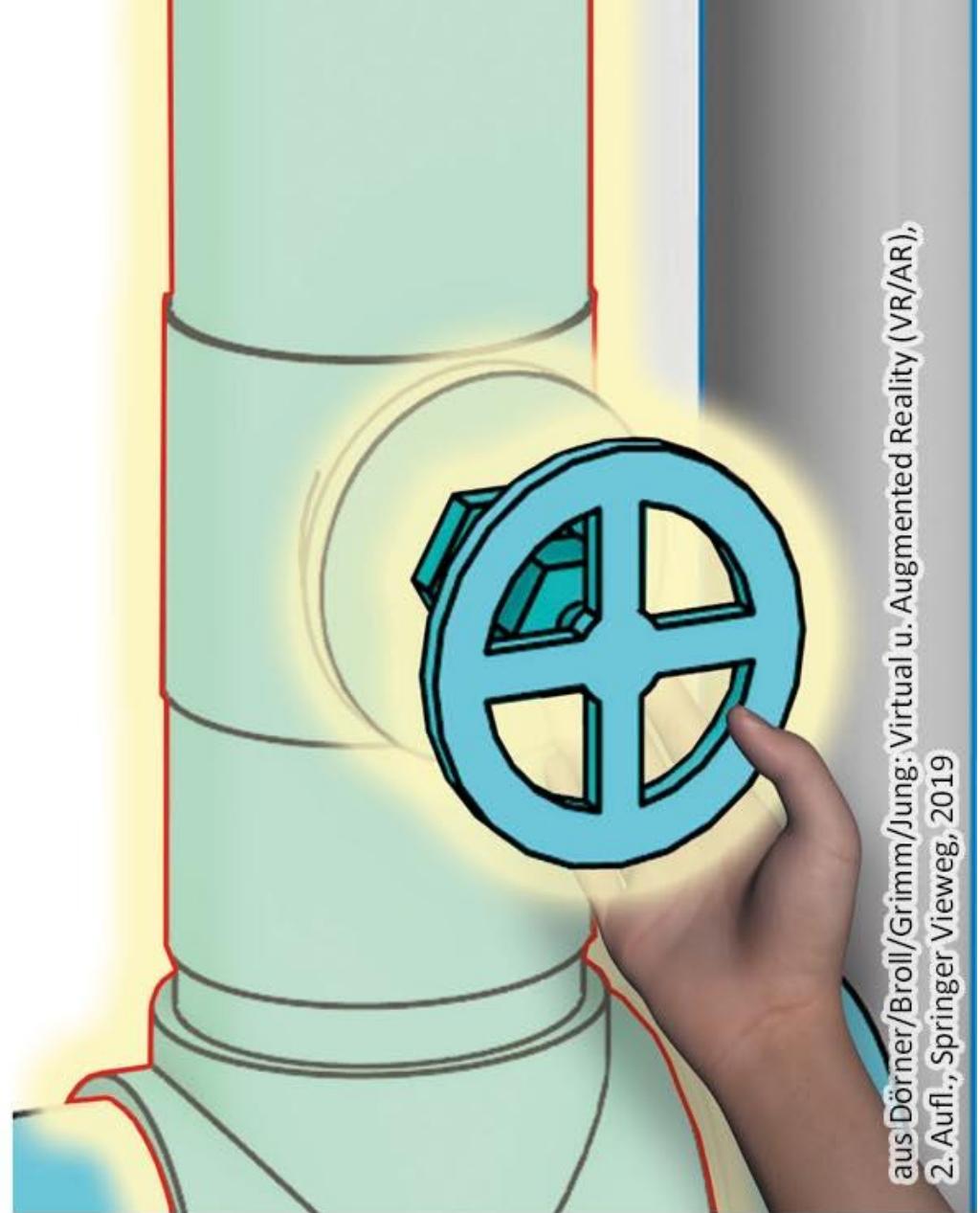
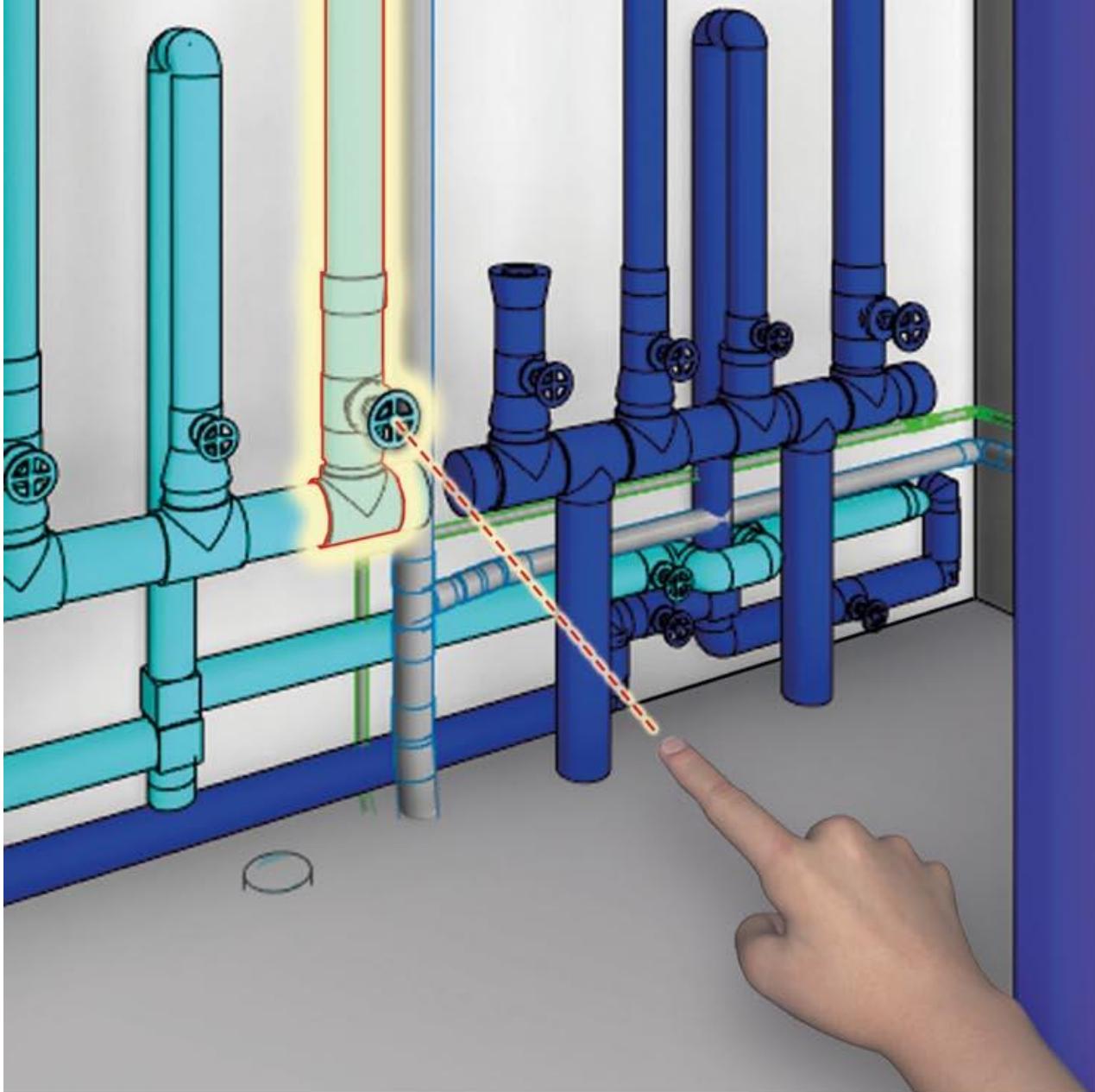
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung; Virtual u. Augmented Reality(VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 5.43** Handschuh mit pneumatischen Fingeraktuatoren und externer Skelettstruktur.  
(© HaptX Inc. 2019. All Rights Reserved)



**Abb. 5.44** Ultraschallbasiertes haptisches Ausgabegerät

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



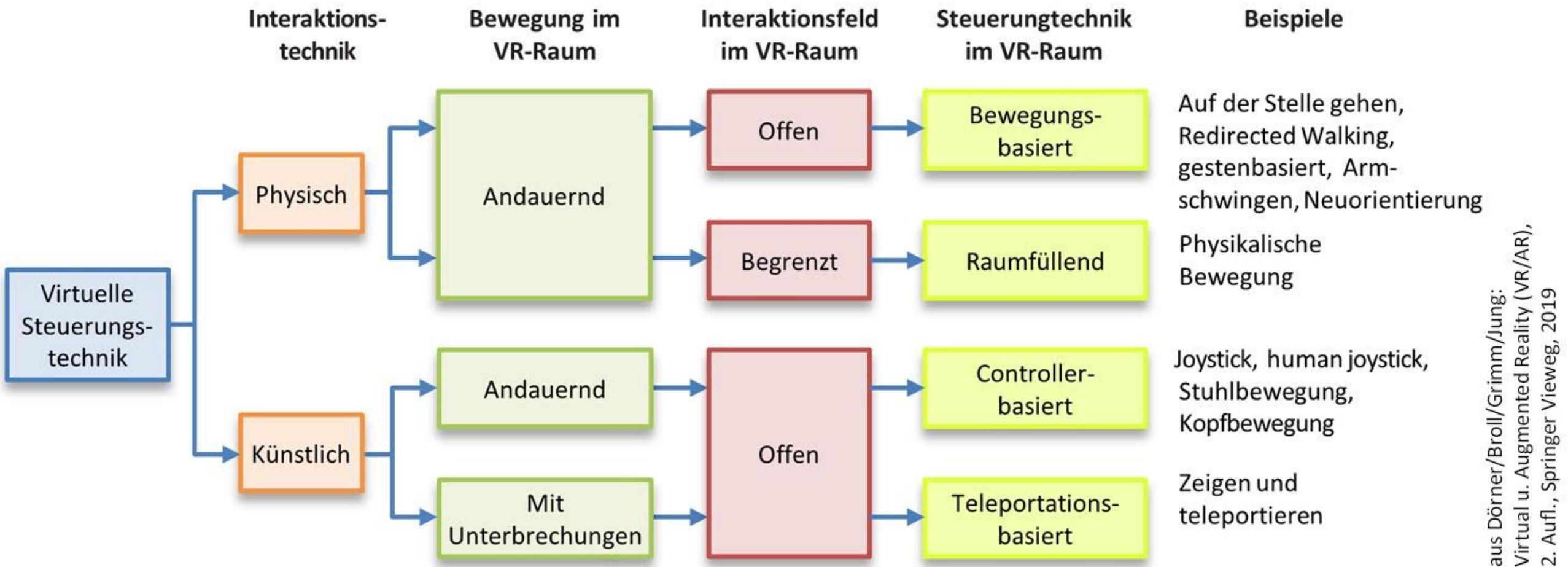
**Abb. 6.1** Selektion in VR und visuelles Feedback. Der Selektionsprozess wird realisiert (a) mit einem Strahl vom Finger ausgehend (b) durch eine virtuelle Hand

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 6.2** Beispiel für die Selektion auch von entfernt liegenden Objekten durch eine World-In-Miniature. Mit dieser Technik kann man Objekte auch dann auswählen, wenn sie nicht im Sichtfeld liegen

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 6.3** Kategorisierung von Techniken der Bewegungskontrolle in Virtuellen Welten



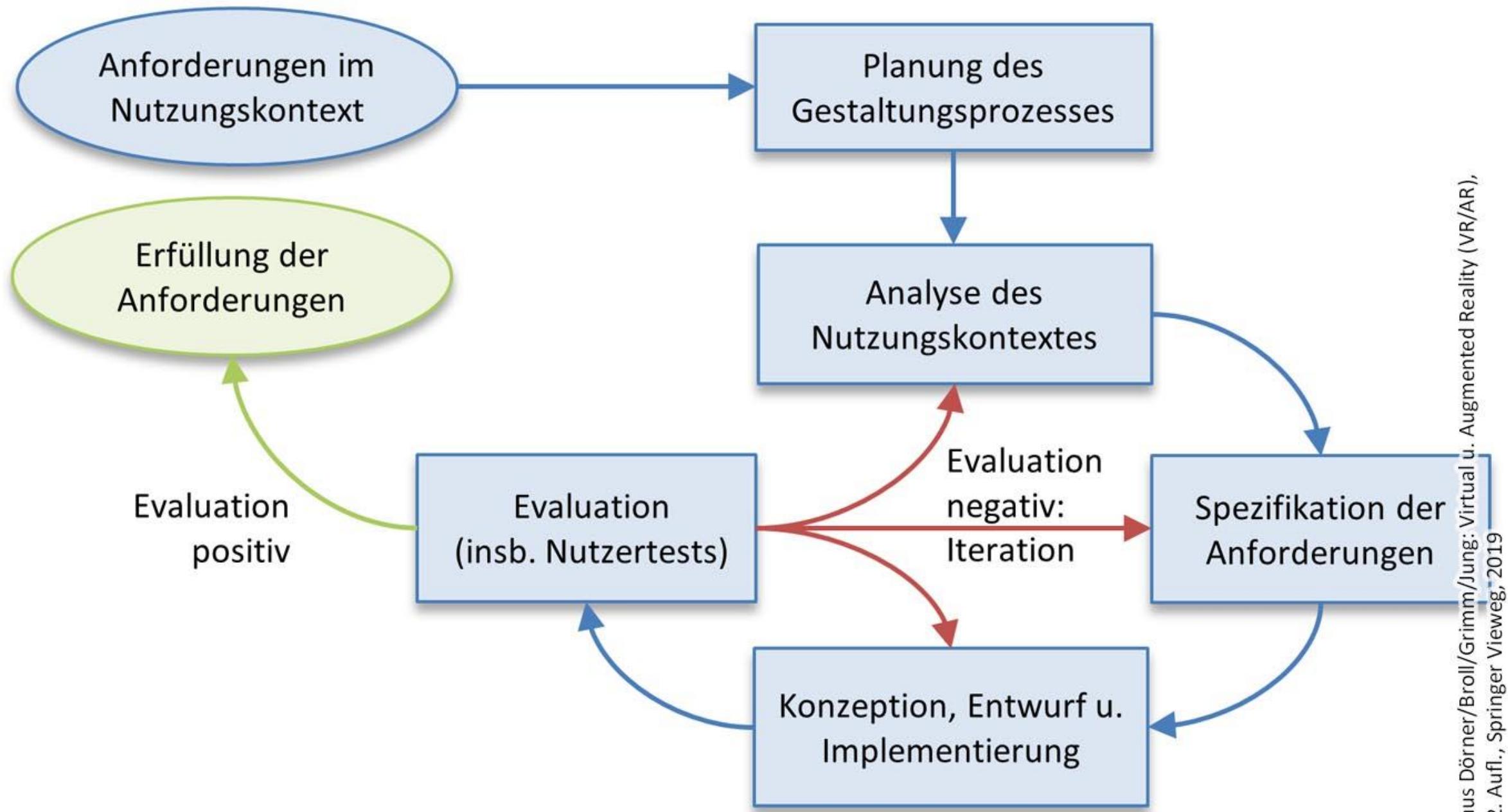
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 6.4** Die Abbildung zeigt eine einfache „Walking in Place“ – Methode bei der ein Nutzer durch ein mobiles Motion-Capturing-System erfasst wird.  
(© Christian Geiger, HS Düsseldorf. All Rights Reserved)



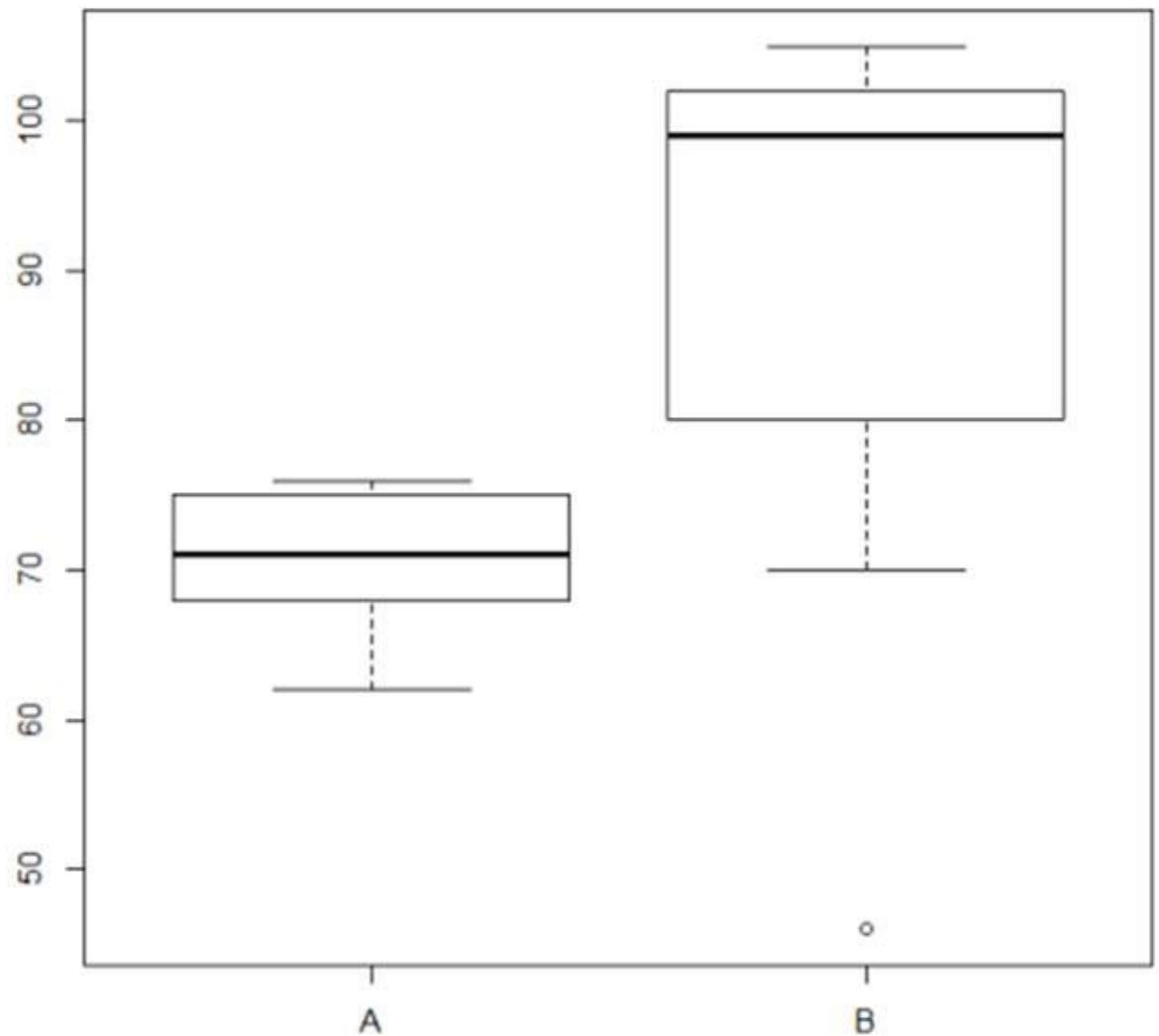
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 6.5** Der ChairIO ermöglicht eine Navigation in einer Virtuellen Welt indem man sich in die gewünschte Bewegungsrichtung lehnt. Dazu wurde ein spezieller Stuhl mit zusätzlicher Sensorik ausgestattet. Nach Beckhaus et al. (2007).  
(© Steffi Beckhaus. All Rights Reserved)

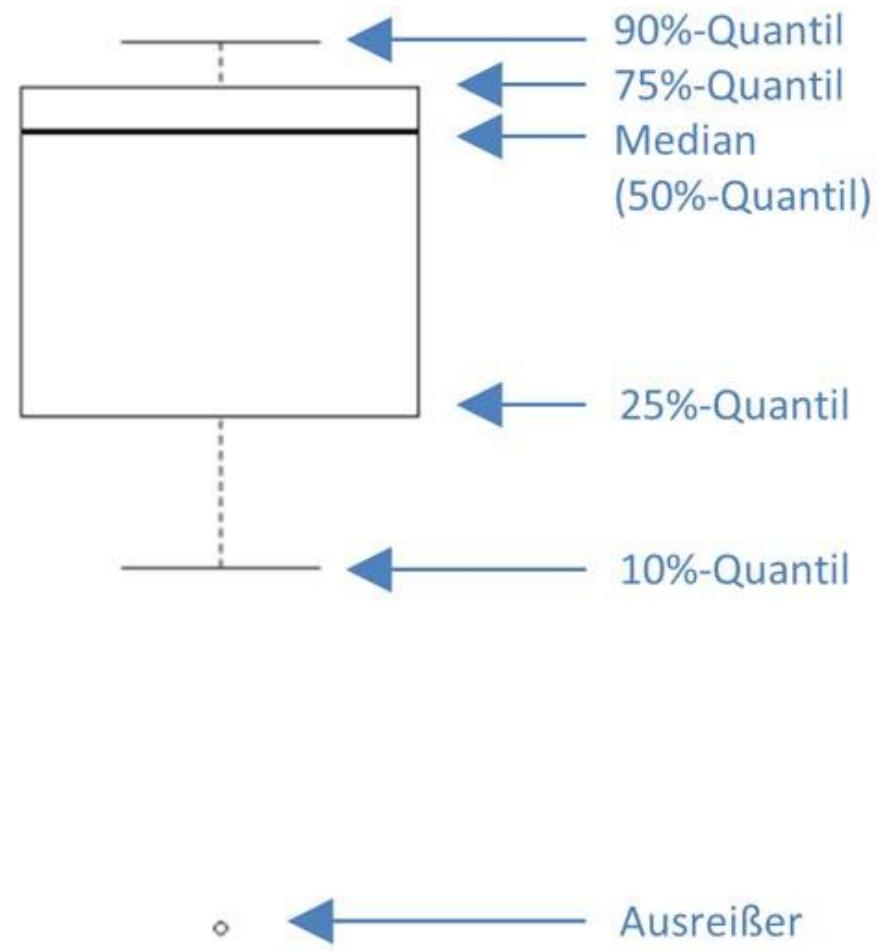


**Abb. 6.6** Iterativer Entwicklungsprozess entsprechend ISO 9241-210

## Nutzertest Beispiel 1: Darstellung der Ergebnisse als Tukey Box-Plot:



## Lesen eines Tukey Box-Plots:

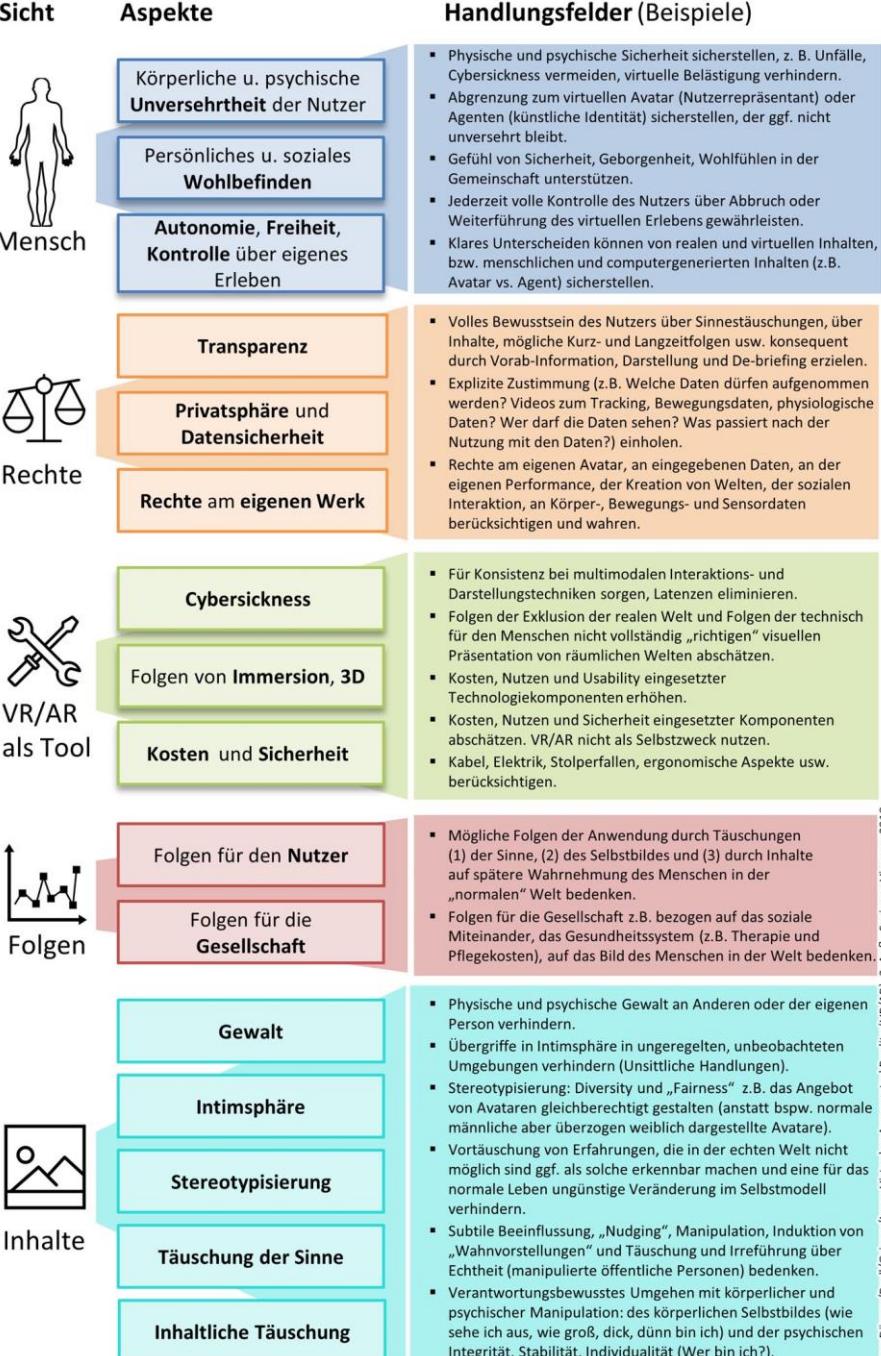


**Abb. 6.7** Visualisierung der Testergebnisse mit einem Tukey Box-Plot



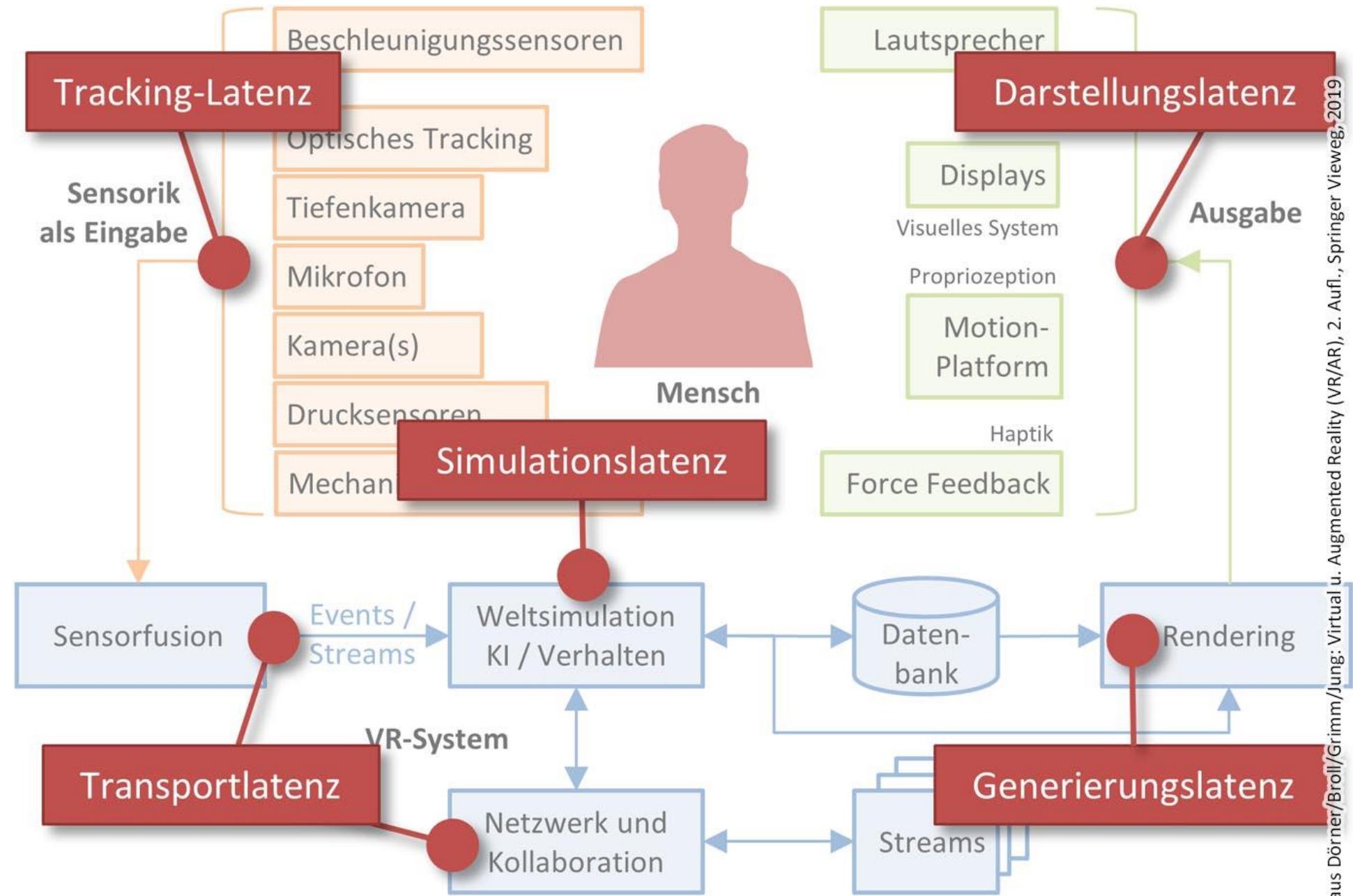
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 6.8** Synchrones Streichen des Nutzer- und Avatar-Rückens kann eine „(Teil-) Übertragung des Nutzer-Ich's“ in den entfernt stehenden Avatar bewirken (© Steffi Beckhaus. All Rights Reserved)

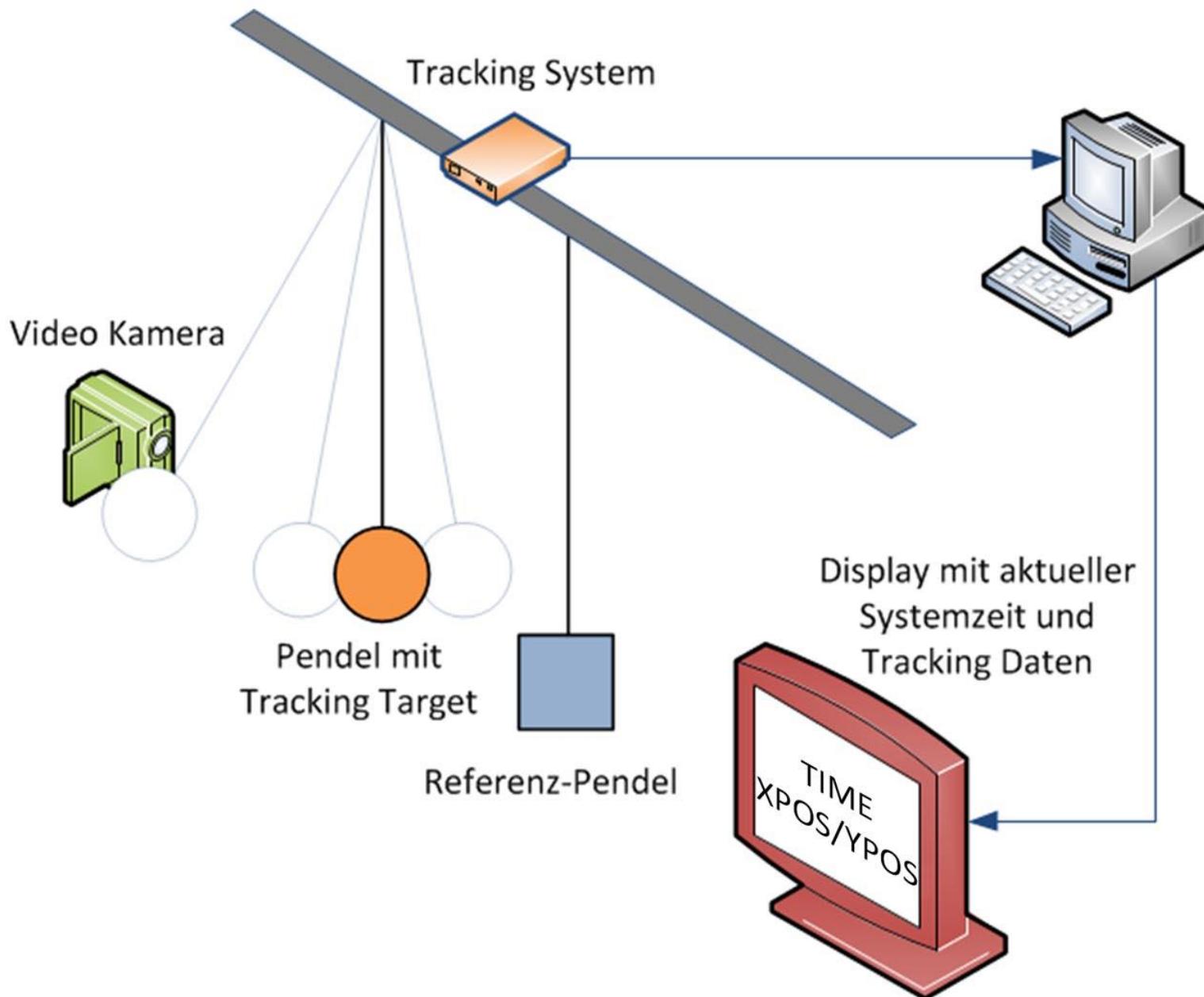


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

Abb. 6.9 Fünf Perspektiven, die Auswirkungen von VR/AR und entsprechende Handlungsfelder aufzeigen können

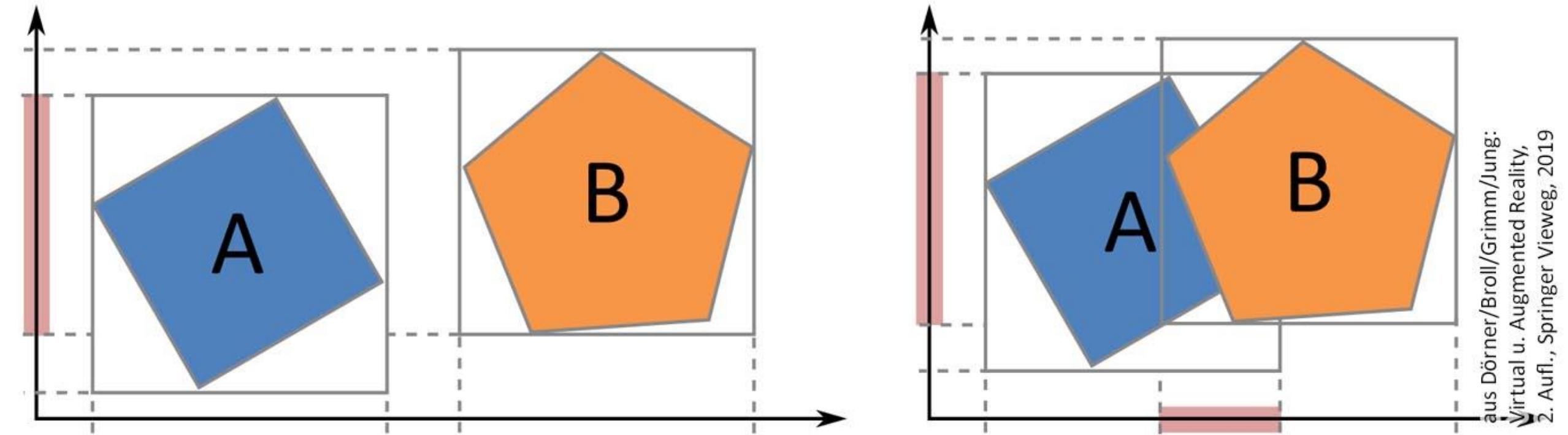


**Abb. 7.1** An den unterschiedlichsten Stellen in einem VR-System treten Latenzen auf



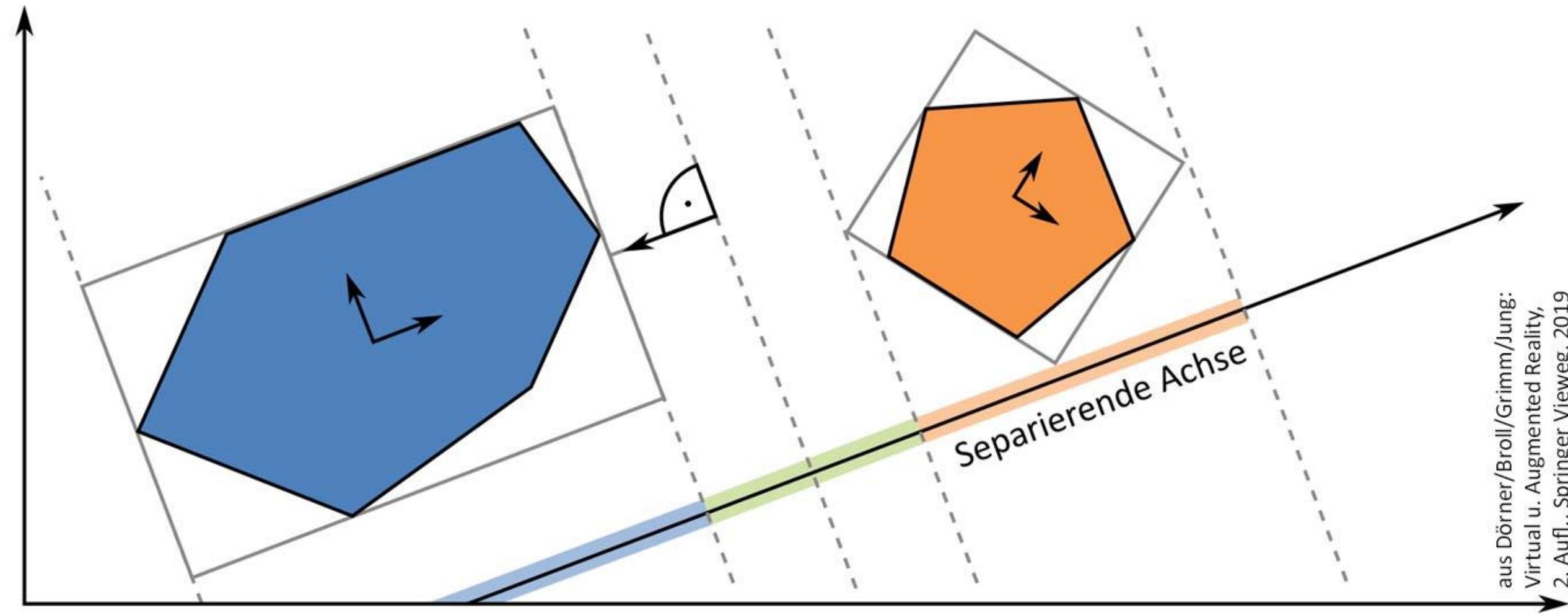
**Abb. 7.2** Beispielhafter Aufbau eines Pendelsystems zur Messung der Latenz eines Tracking-Systems

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

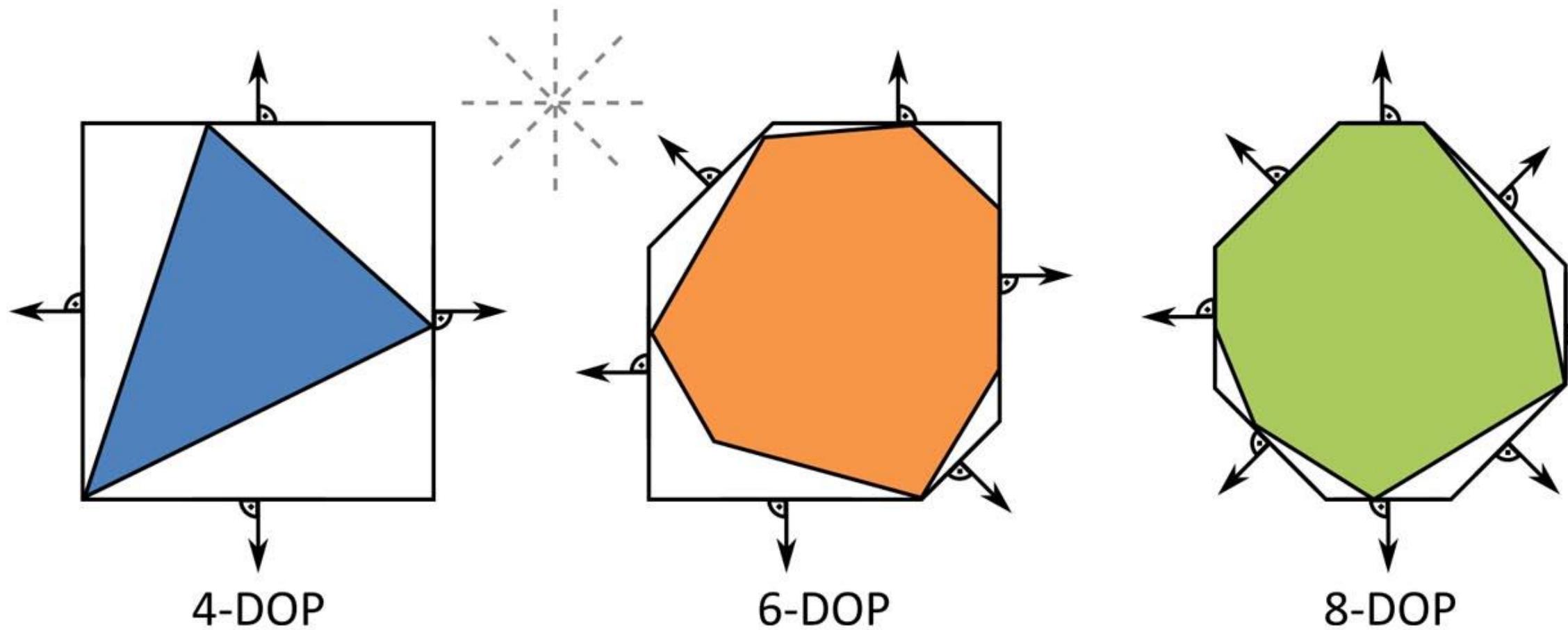


**Abb. 7.3** Kollisionstest mit AABB. Links: 2D Objekte A und B mit einachsiger Überlappung. Rechts: A & B mit Überlappung auf beiden Achsen (Kollision)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



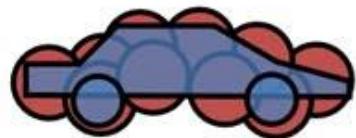
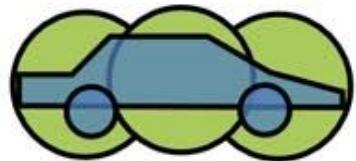
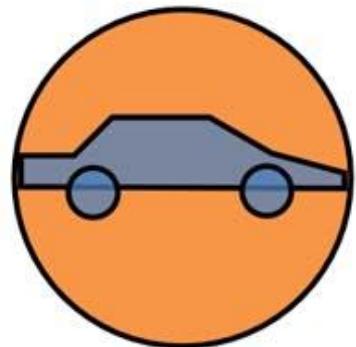
**Abb. 7.4** Kollisionstest zweier OBBs mit einer eingezeichneten separierenden Achse



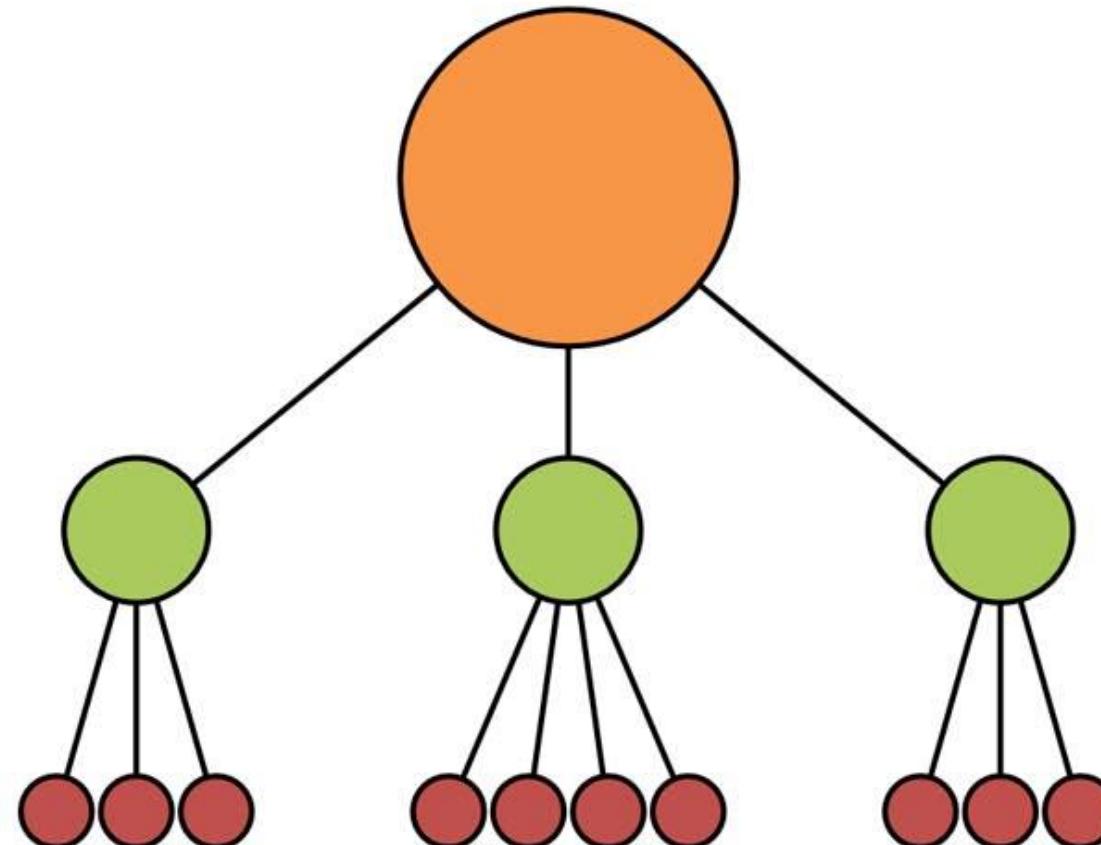
aus Dörner/Broll/Grimm/jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 7.5** Zweidimensionale k-DOPs in verschiedenen Varianten

Objekt + Hüllkörper

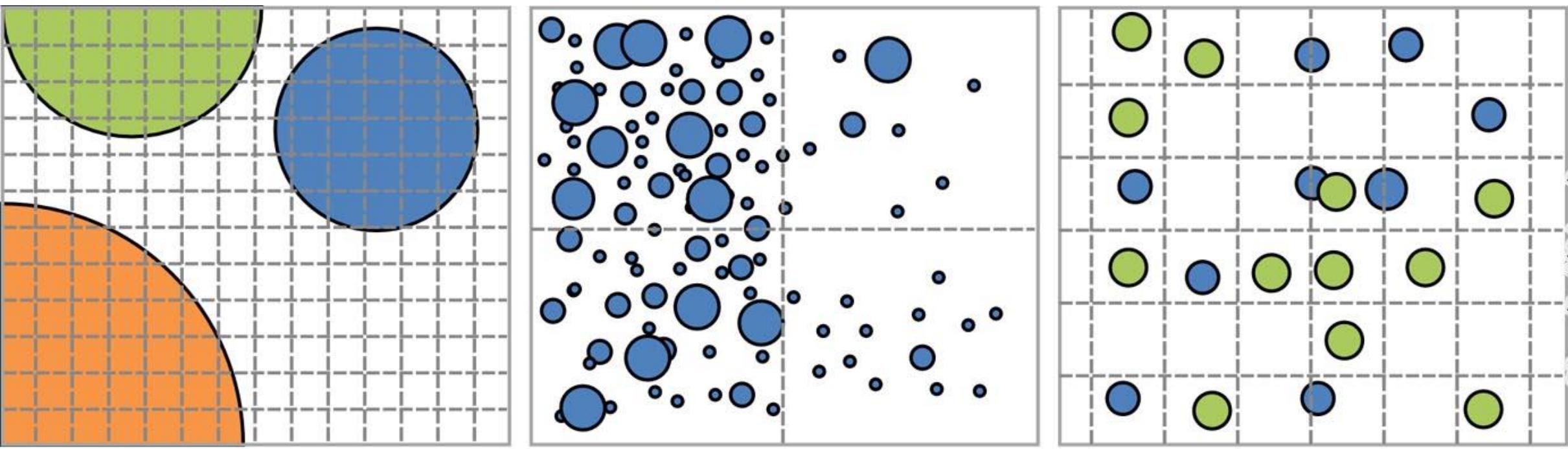


Baumstruktur



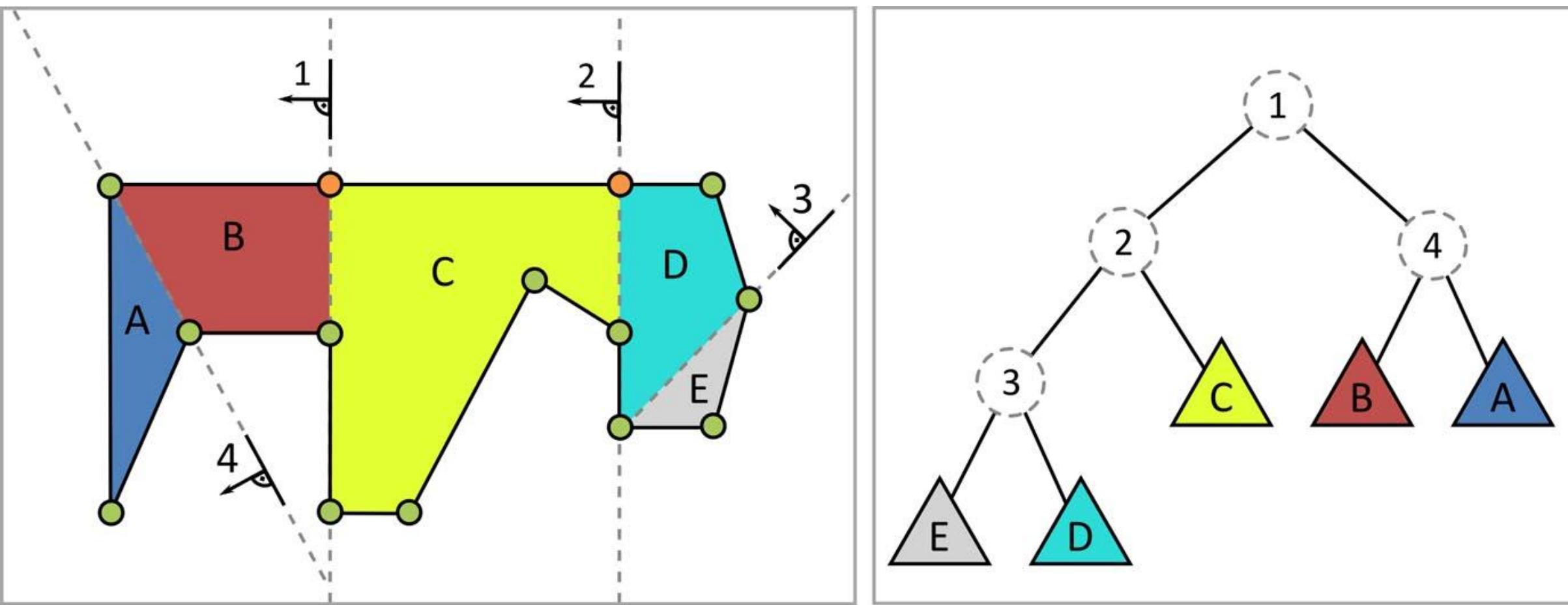
Tiefe

**Abb. 7.6** Sphere-Tree für ein komplexes Objekt. Links: Geometriedaten und zugehörige Hüllkugeln. Rechts: Hierarchie der Hüllkugeln

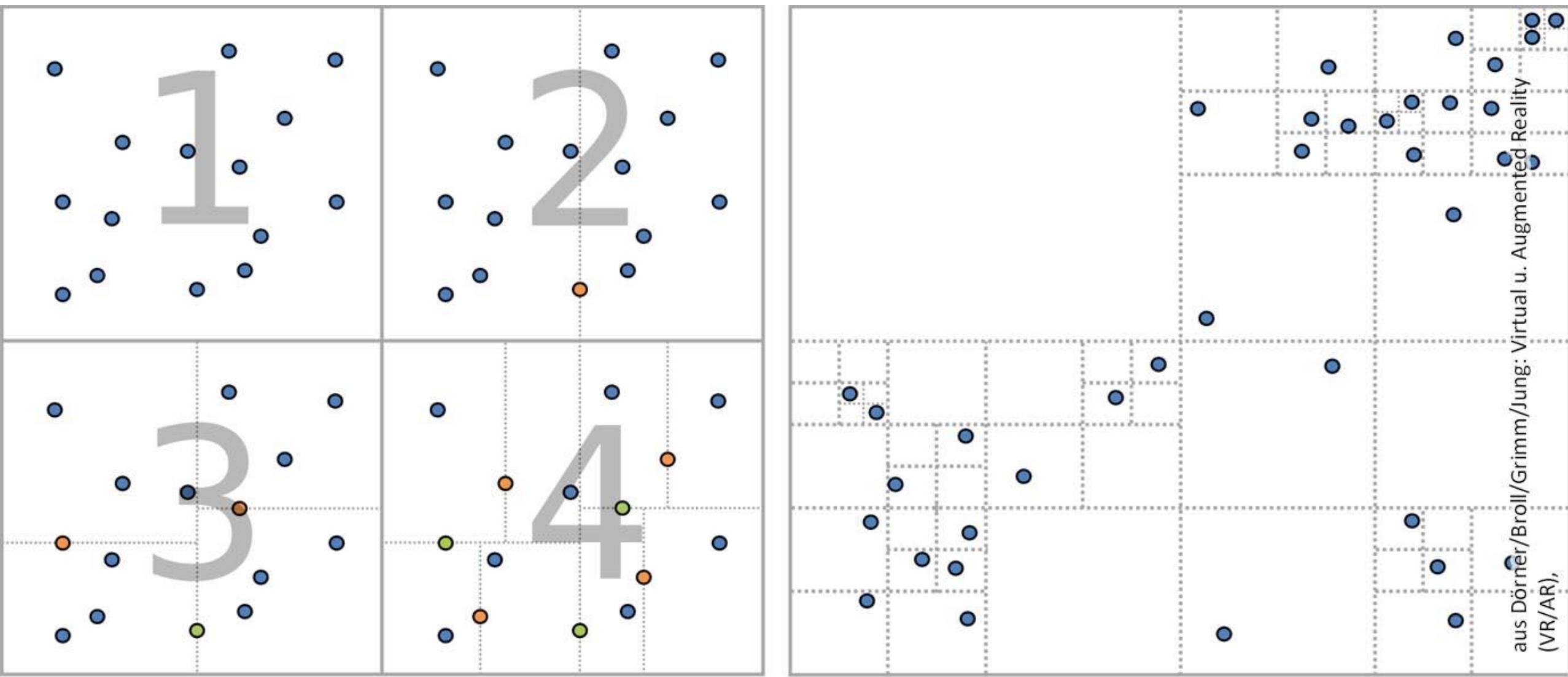


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

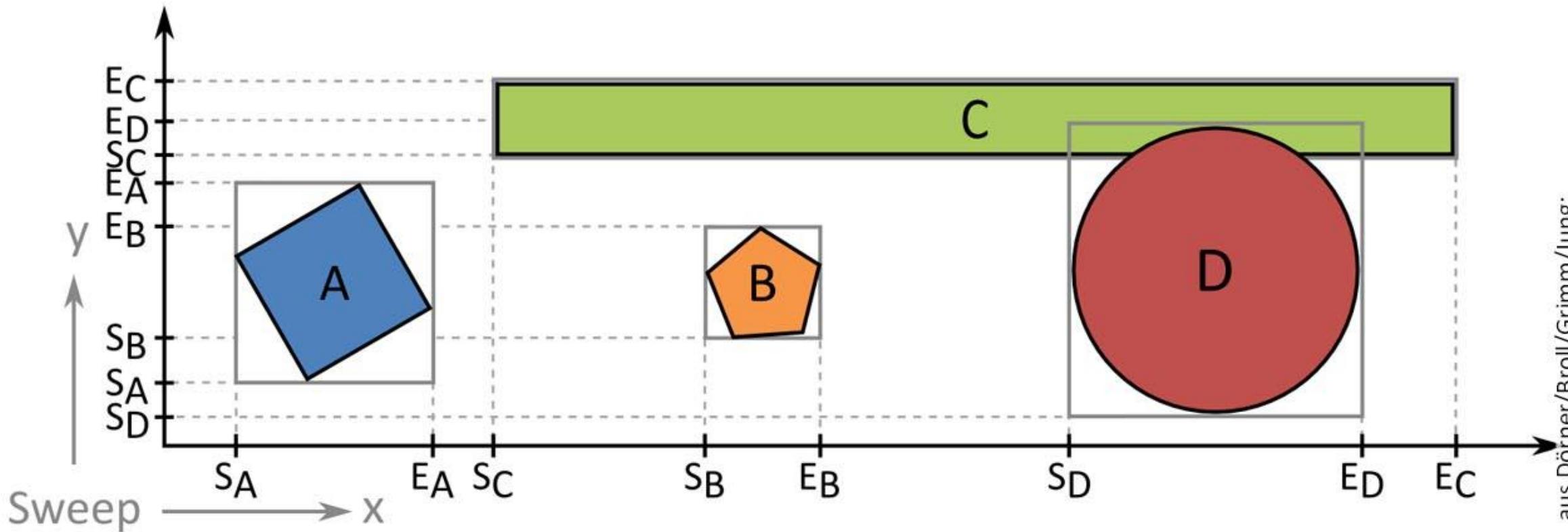
**Abb. 7.7** Reguläre Gitter mit verschiedenen Zellgrößen. Von links nach rechts: Gitter zu fein, Gitter zu grob, günstige Gitterzerlegung für die gegebenen Objekte



**Abb. 7.8** BSP-Tree. Links: Binäre Raumzerlegung mit Polygon (grün: Eckpunkte des Polygons, orange: neue Eckpunkte durch die Zerlegung). Rechts: Entstandener Binärbaum durch die Halbräume 1, 2, 3, 4 mit eingeordneten Teilflächen A, B, C, D, E des Polygons

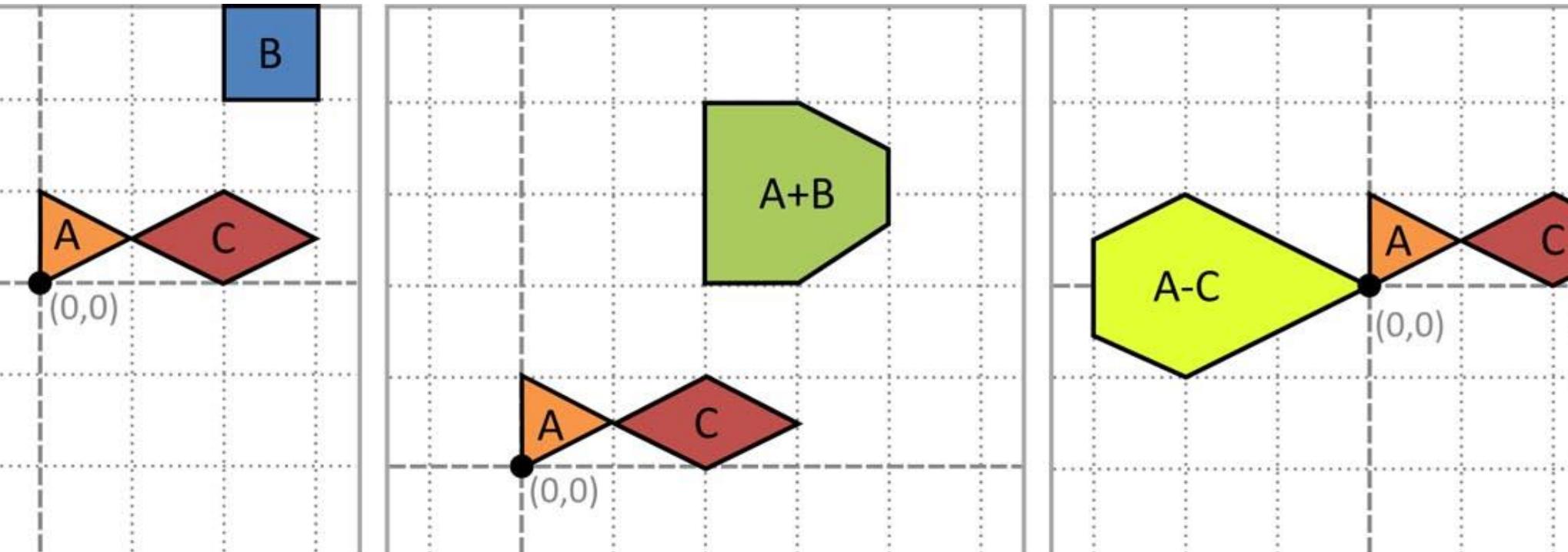


**Abb. 7.9** k-d-Tree und Quadtree. Links: Die ersten vier Entstehungsstufen eines k-d-Trees. Rechts: Vollständiger Quadtree für eine gegebene Punktmenge

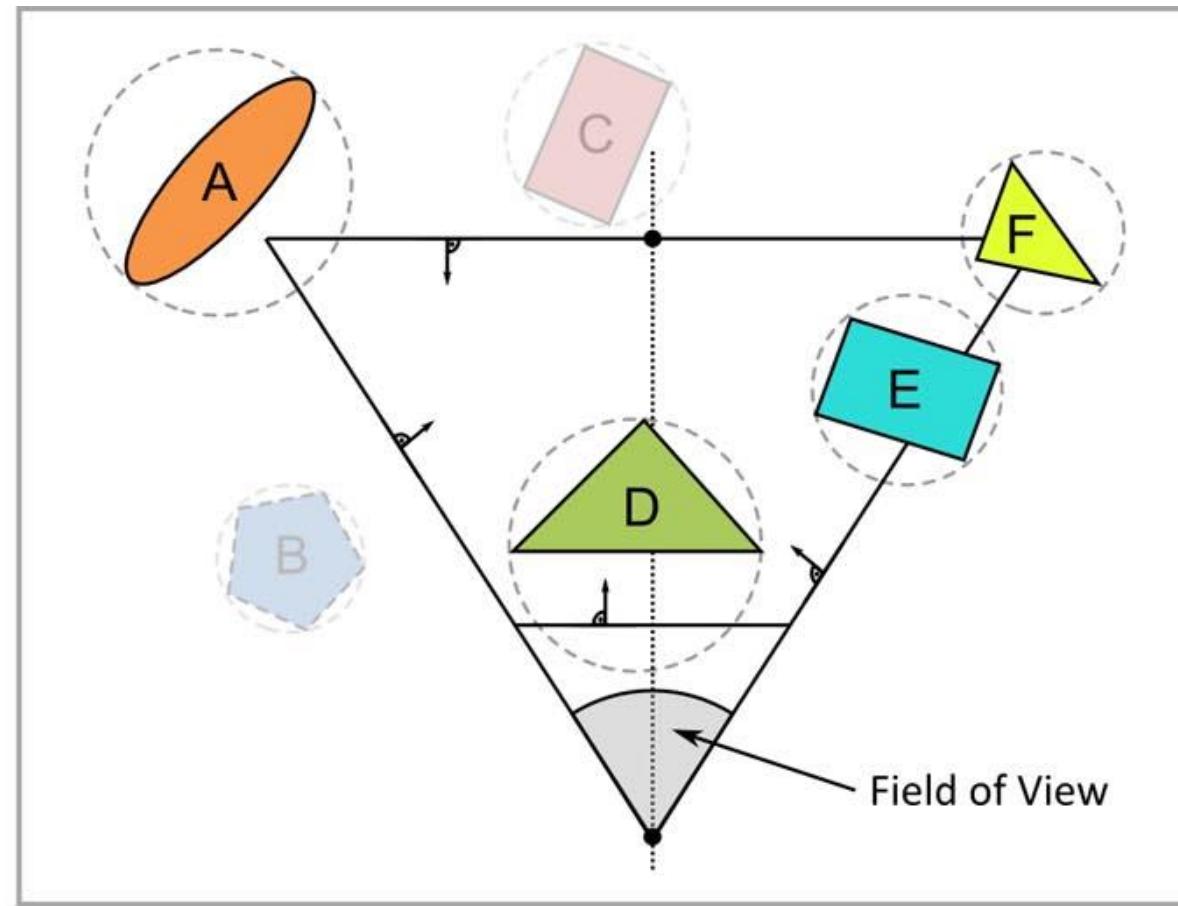
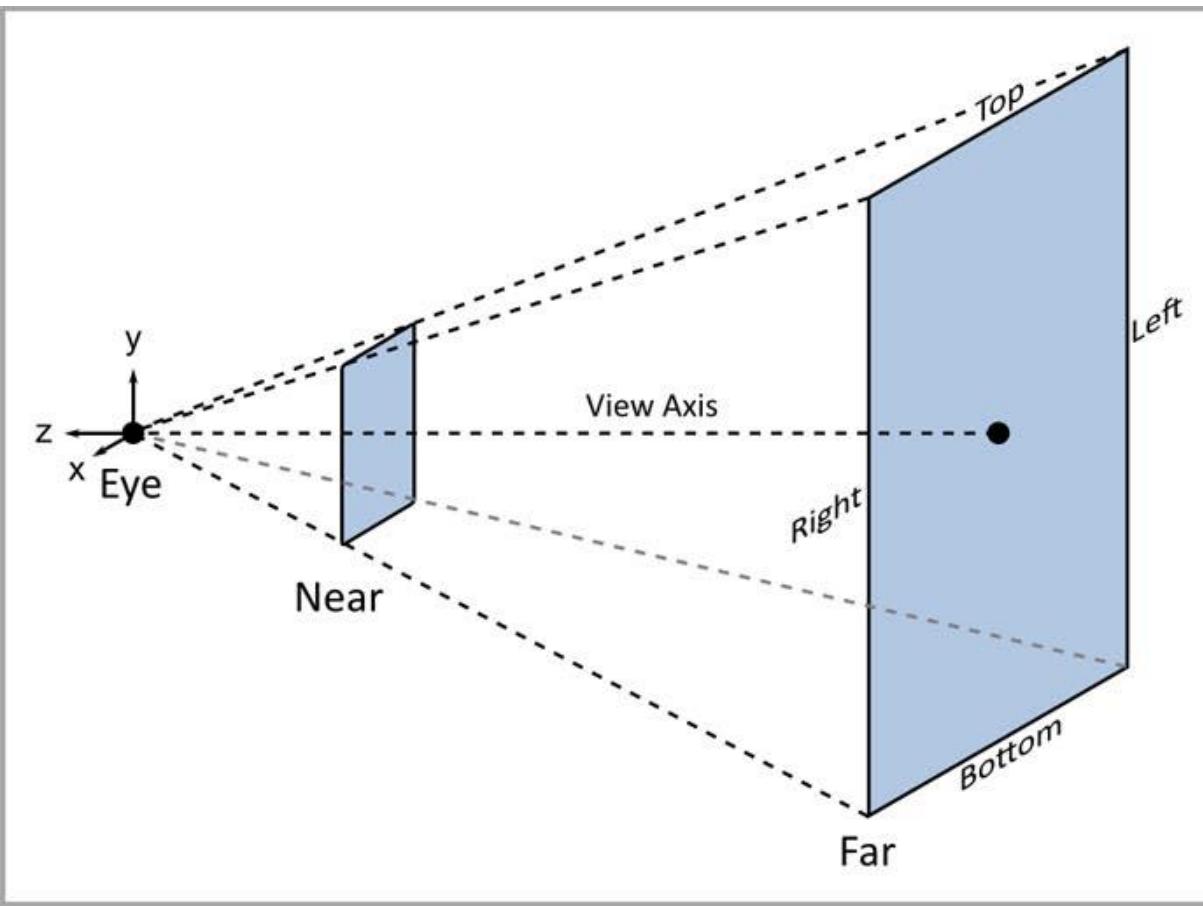


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 7.10** Sweep & Prune: Objekte A, B, C und D mit AABB und eingezeichneten Intervallen

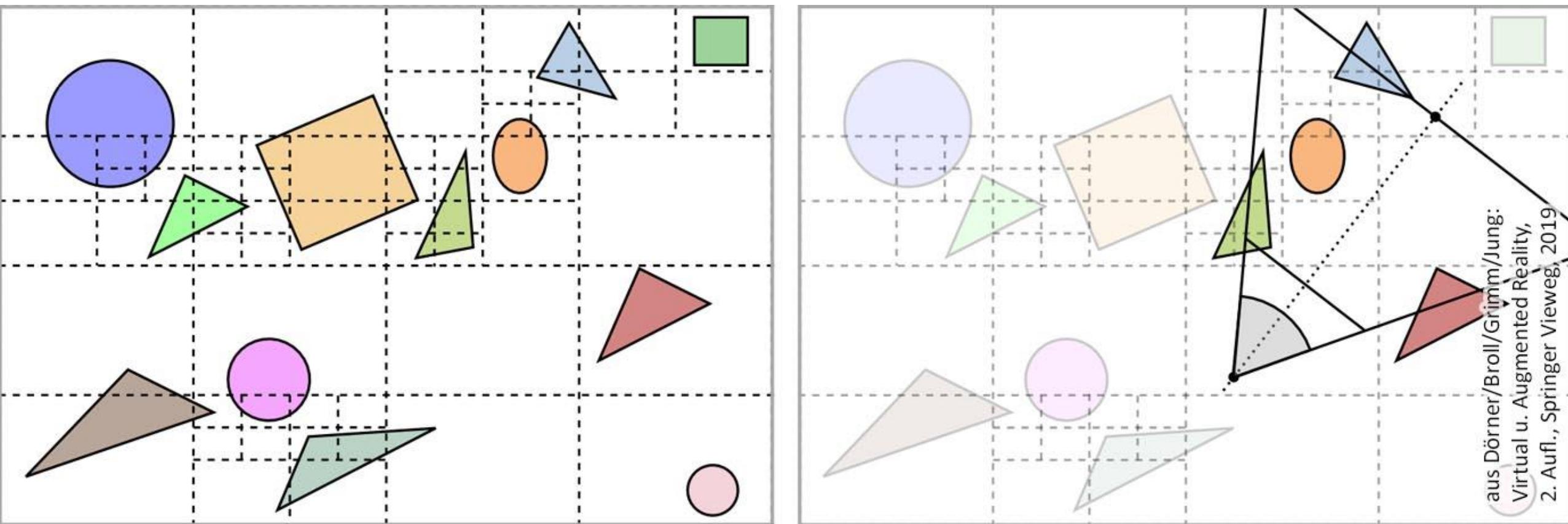


**Abb. 7.11** Minkowski-Summe und -Differenz: (v. l. n. r.) Objekte A, B, C definiert in einem 2D-Koordinatensystem, Minkowski-Summe  $A + B$ , Minkowski-Differenz  $A - C$

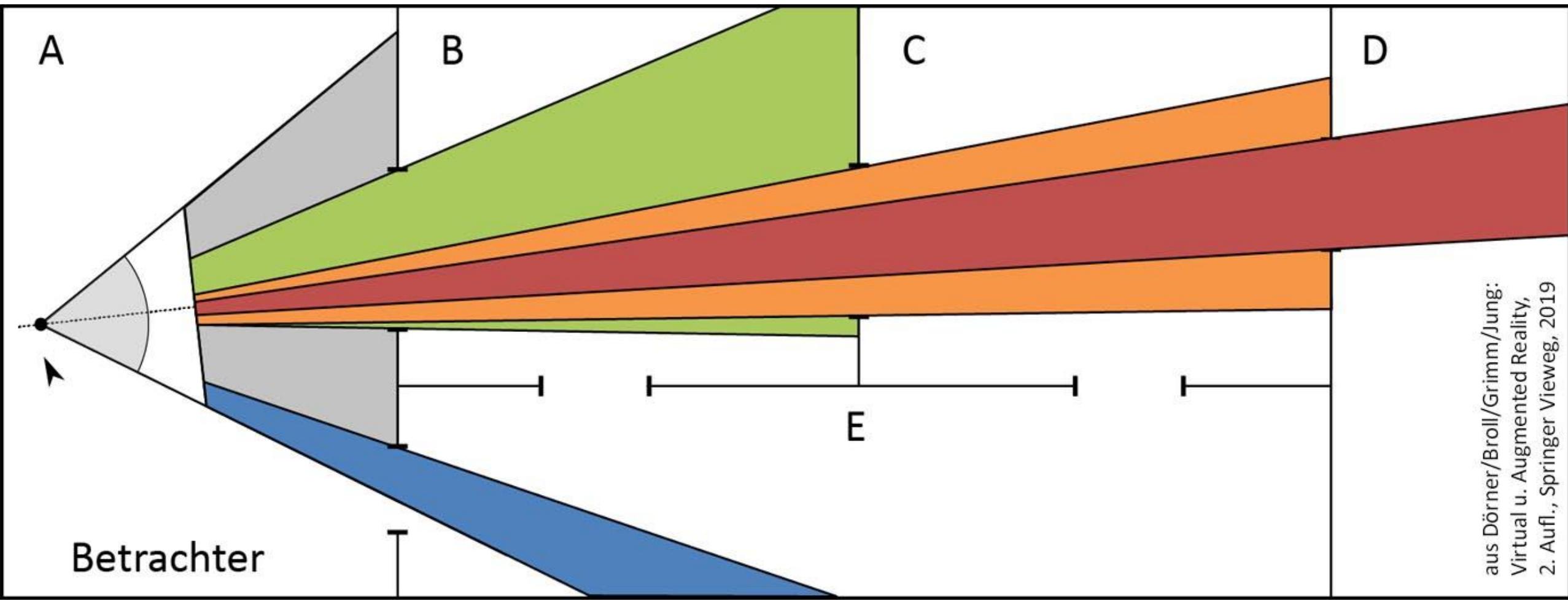


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 7.12** View Volume Culling. Links: Perspektivische Ansicht eines Frustums. Rechts: Aufsicht des View Volume Cullings mit Objekten und Hüllkugeln (Objekte A, D, E & F sind als sichtbar erkannt)

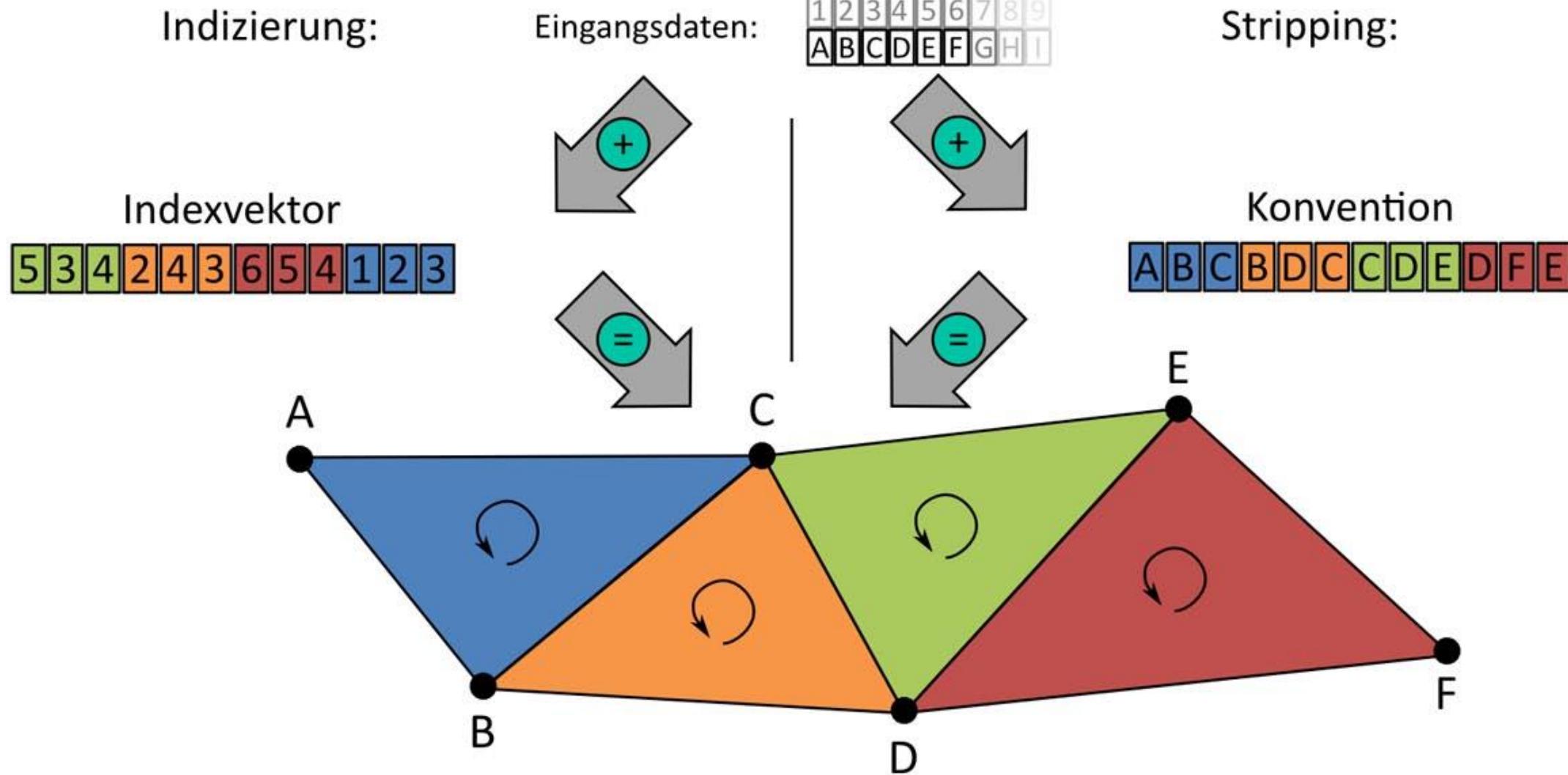


**Abb. 7.13** Hierarchical View Volume Culling. Links: Szene mit Quadtree. Rechts: hierarchisches View Volume Culling durch den Quadtree (hervorgehobene Objekte sind sichtbar)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 7.14** Portal Culling: Der Betrachter befindet sich im Sektor A (View Volume/Frustum des Betrachters eingezeichnet). Für jedes sichtbare Portal ist der Sichtbereich farblich hervorgehoben



**Abb. 7.15** Dreiecksdarstellung durch Indizierung und Stripping. Links: Eckpunktdaten und Indizes definieren Dreiecksnetz. Rechts: Eckpunktdaten werden in geg. Reihenfolge interpretiert und ergeben so das Netz

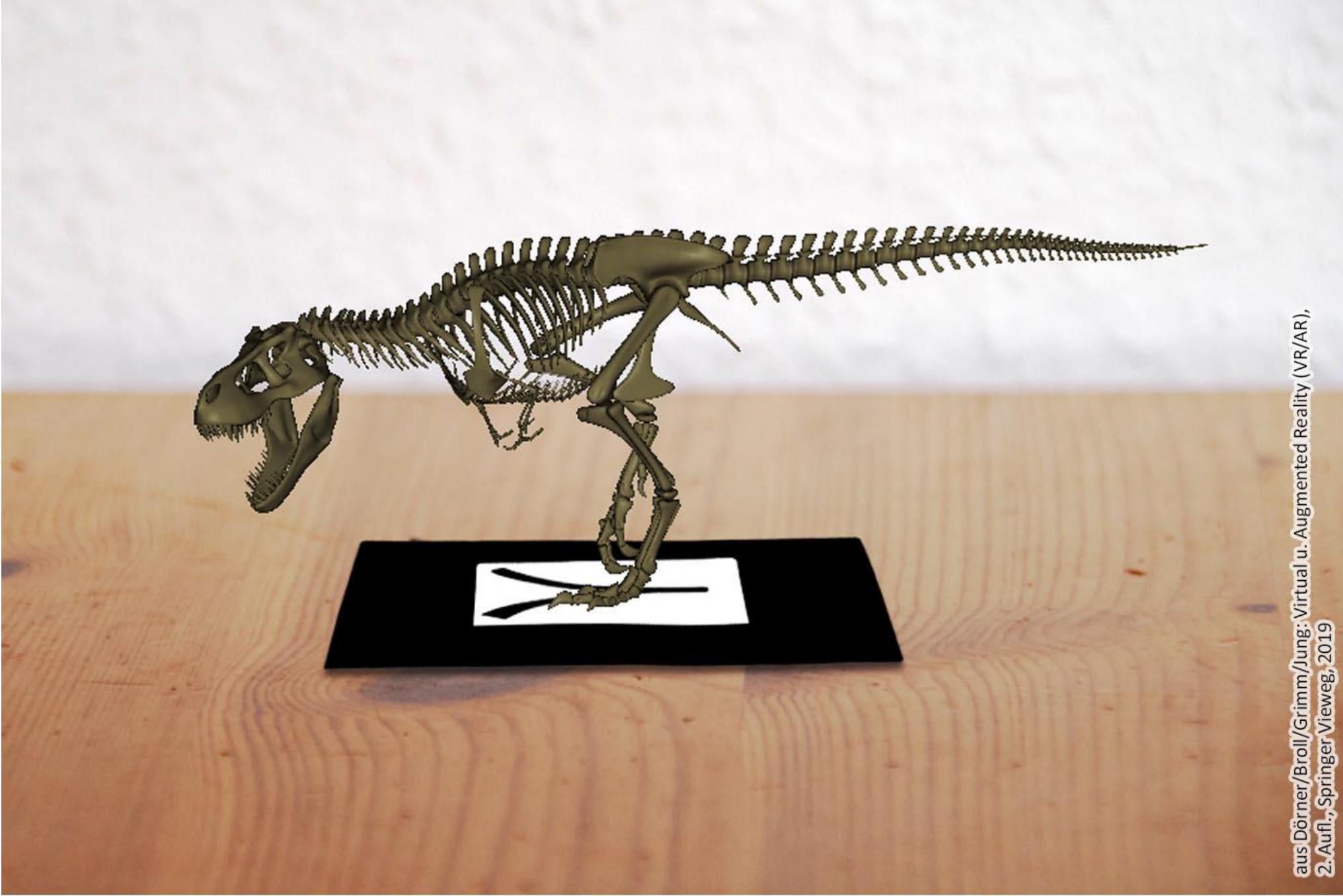


Realität

Augmentierte Realität

Virtuelle Inhalte

**Abb. 8.1** Verschmelzung einer realen Umgebung (links) mit einem virtuellen Objekt (rechts) zur Augmentierter Realität (Mitte). (Einzelbilder: © Tobias Schwandt, TU Ilmenau 2018. All Rights Reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.2** Einfache Registrierung mittels einer Marke



**Abb. 8.3** Perspektivische Überlagerung eines zum Tracking verwendeten Bildes durch ein 3D-Objekt (Bildquelle: Jan Herling, TU Ilmenau)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



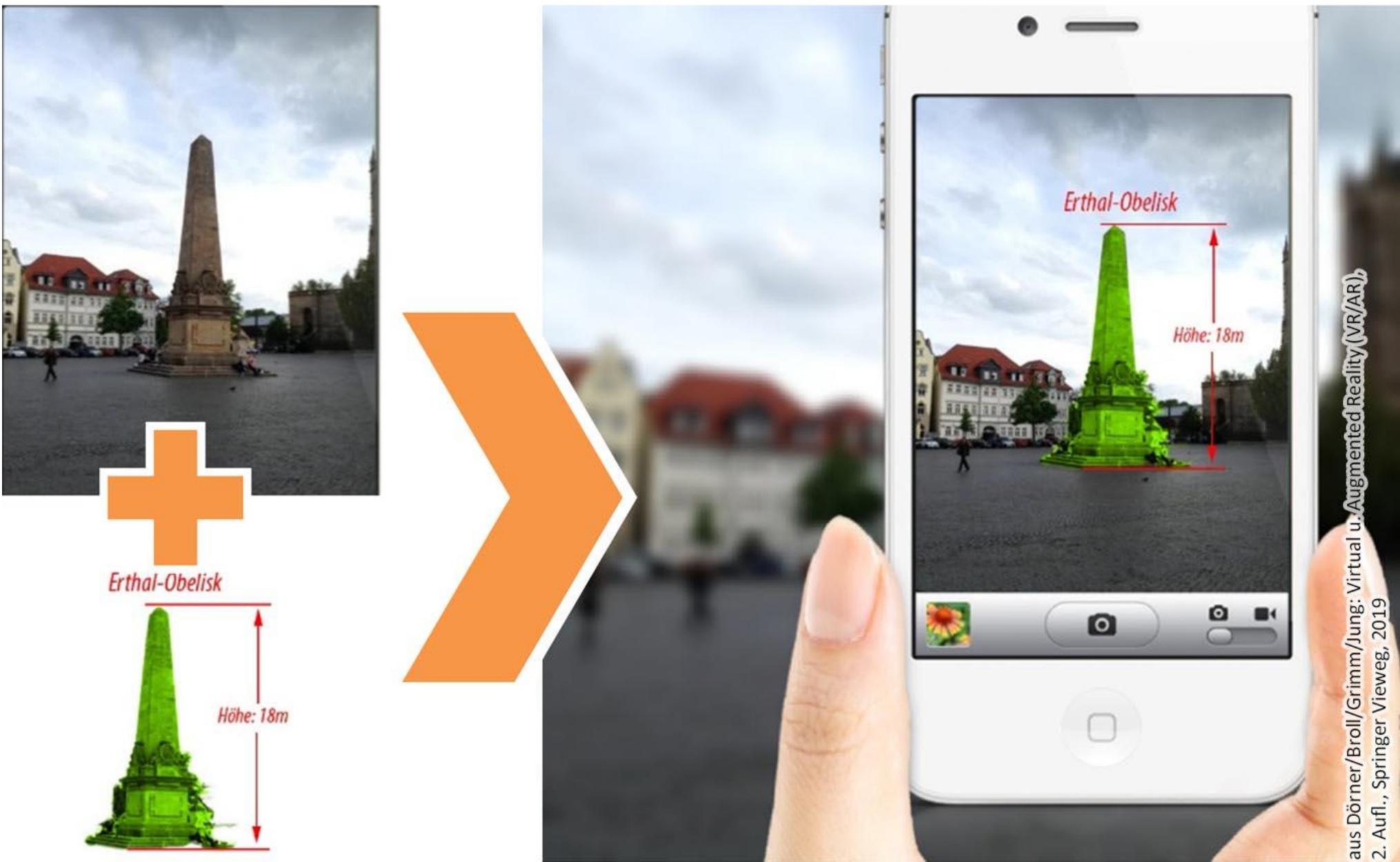
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.4** Ausgabe eines augmentierten Video-Streams auf einem Smartphone (hier vom Blickpunkt eines zweiten Betrachters) (Bildquelle: Jan Herling, TU Ilmenau)



**Abb. 8.5** Beispiel einer Magic Lens

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 8.6** Perspektivisch korrekte Erweiterung des Kamerabildes der Realität mit virtuellen Inhalten bei Video-See-Through-AR – hier auf einem Smartphone



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.7** Beispiel für projektionsbasierte AR (virtuelle Tür, virtuelle Farbgestaltung der Wand)  
(© Oliver Bimber 2005. All rights reserved.)



**Abb. 8.8** Bei optischen AR-Techniken erscheinen dunkle virtuelle Objekte mitunter transparent  
(hier der weniger beleuchtete untere Teil der roten Kugel)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

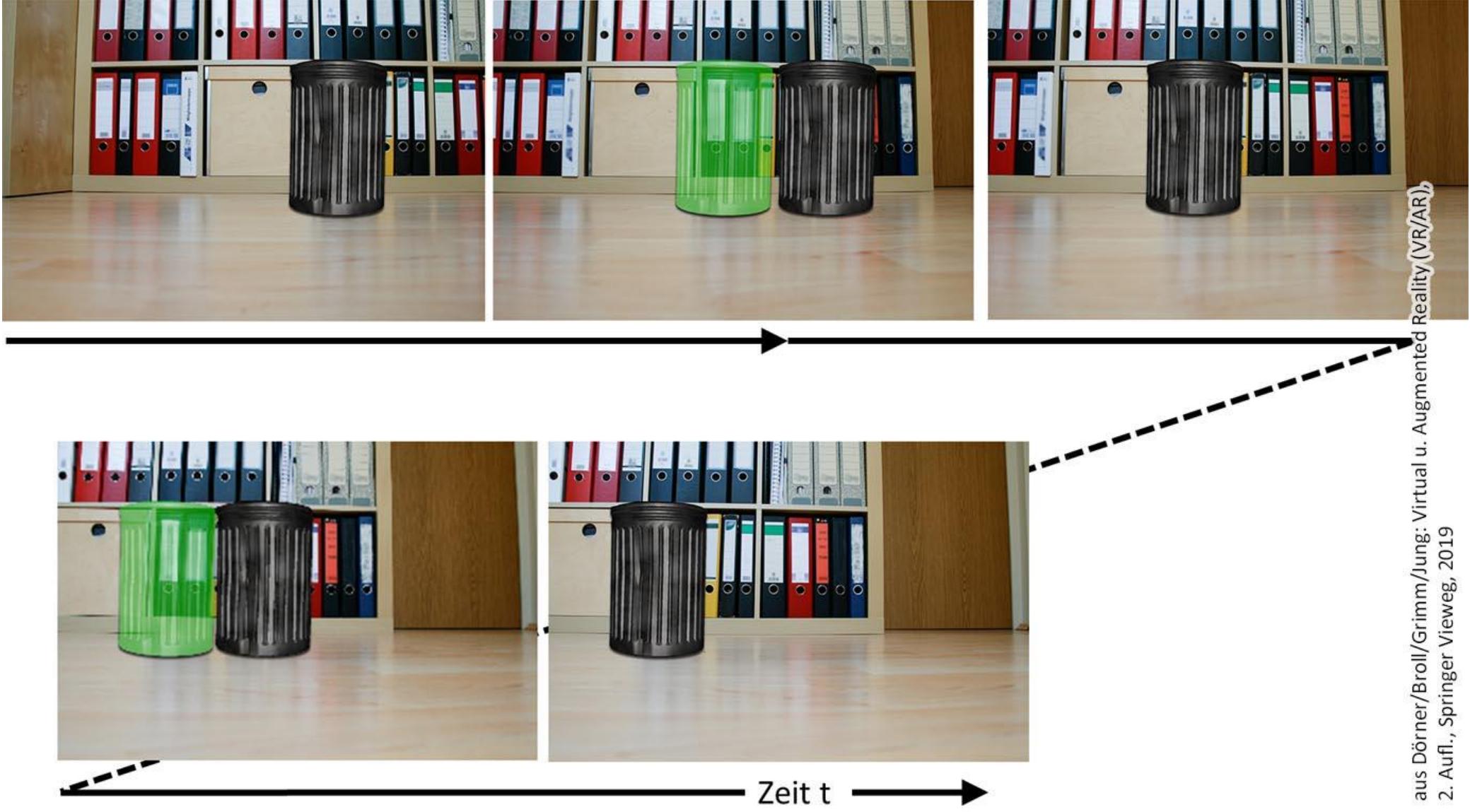


**Abb. 8.9** Typische Wahrnehmung bei der Verwendung der optischen See-Through-Technik (links) im Vergleich zur Video See-Through-Technik (rechts)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

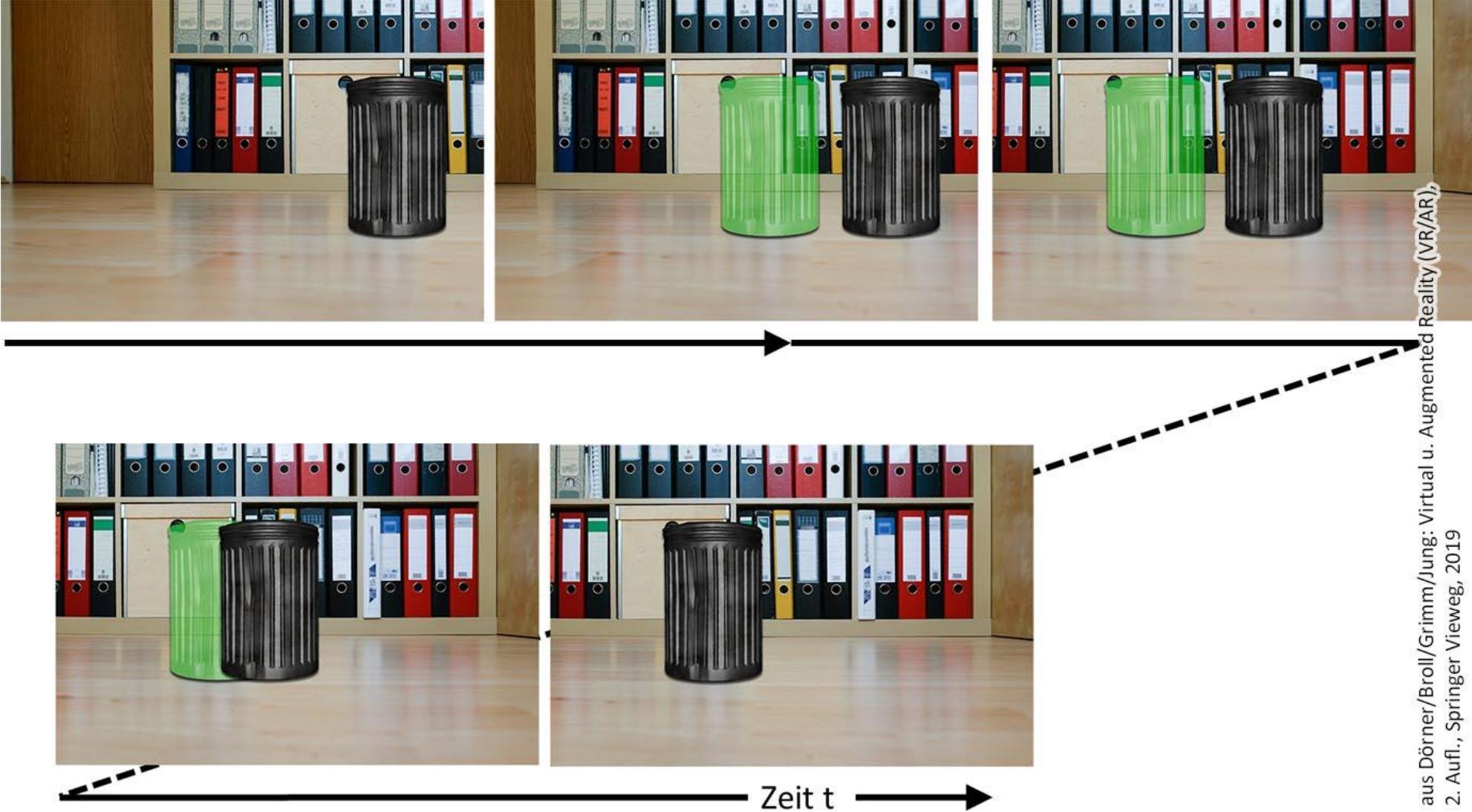


**Abb. 8.10** Linkes Bild: Korrekte geometrische Registrierung des virtuellen Mülleimers. Bild rechts oben: Virtuelles Objekt wird an derselben Stelle eingeblendet wie im Bild links, es ist mit der umgebenden Realität geometrisch nicht registriert. Bild rechts unten: Auf Basis der Trackingdaten wird die korrekte Perspektive des virtuellen Objektes vom aktuellen Blickpunkt und der aktuellen Blickrichtung der Kamera dargestellt, das virtuelle Objekt ist in der umgebenden Realität geometrisch korrekt registriert



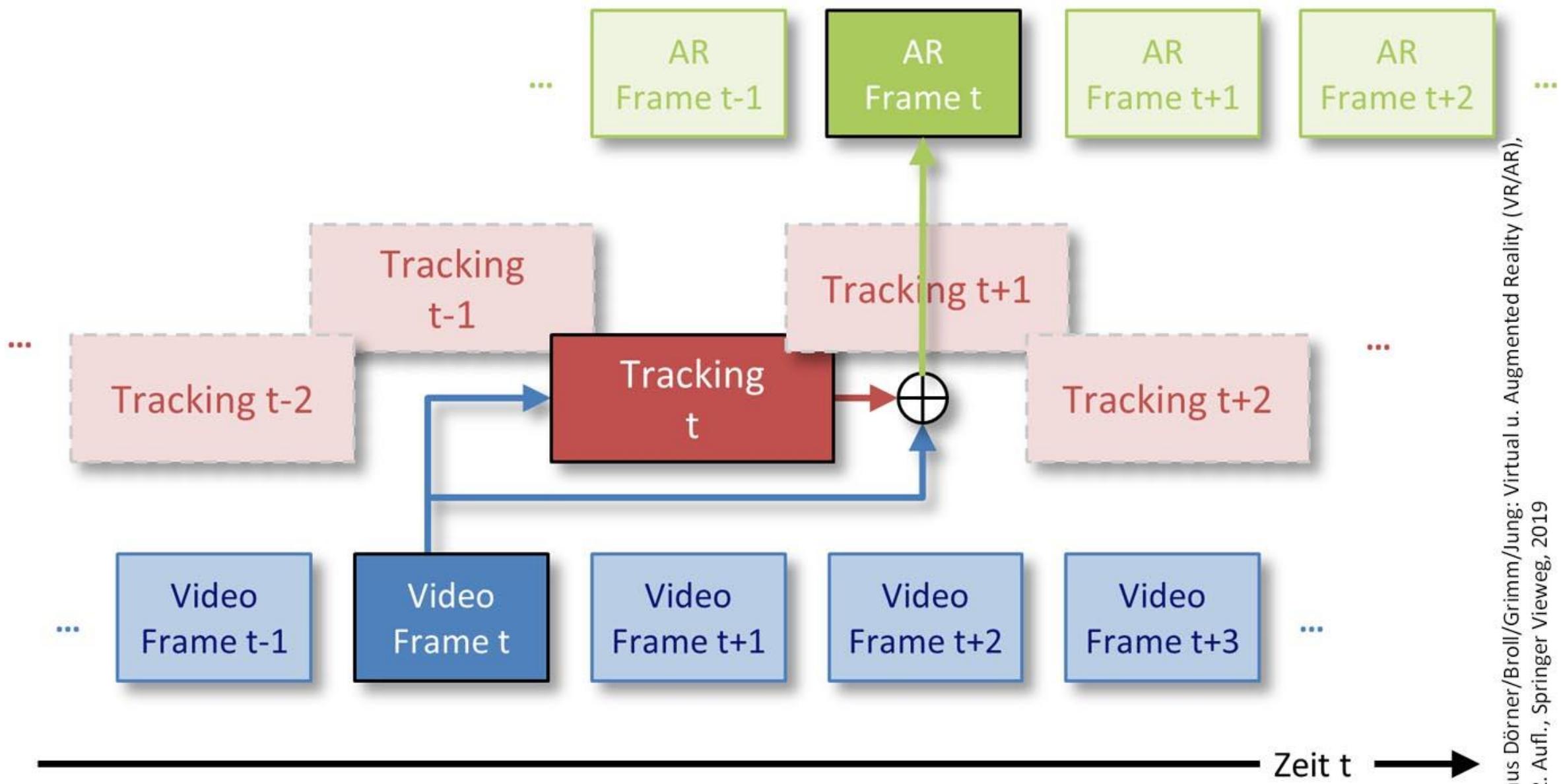
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.11** Fehlerhafte geometrische Registrierung bei zu niedriger Tracking-Rate: Die Kamera bewegt sich hier von links nach rechts; das virtuelle Objekt bewegt sich aufgrund fehlender Tracking-Updates zunächst mit der Kamera und springt jeweils nach Eintreffen neuer Tracking-Daten auf die korrekte Position (korrekte Positionen jeweils in grün)



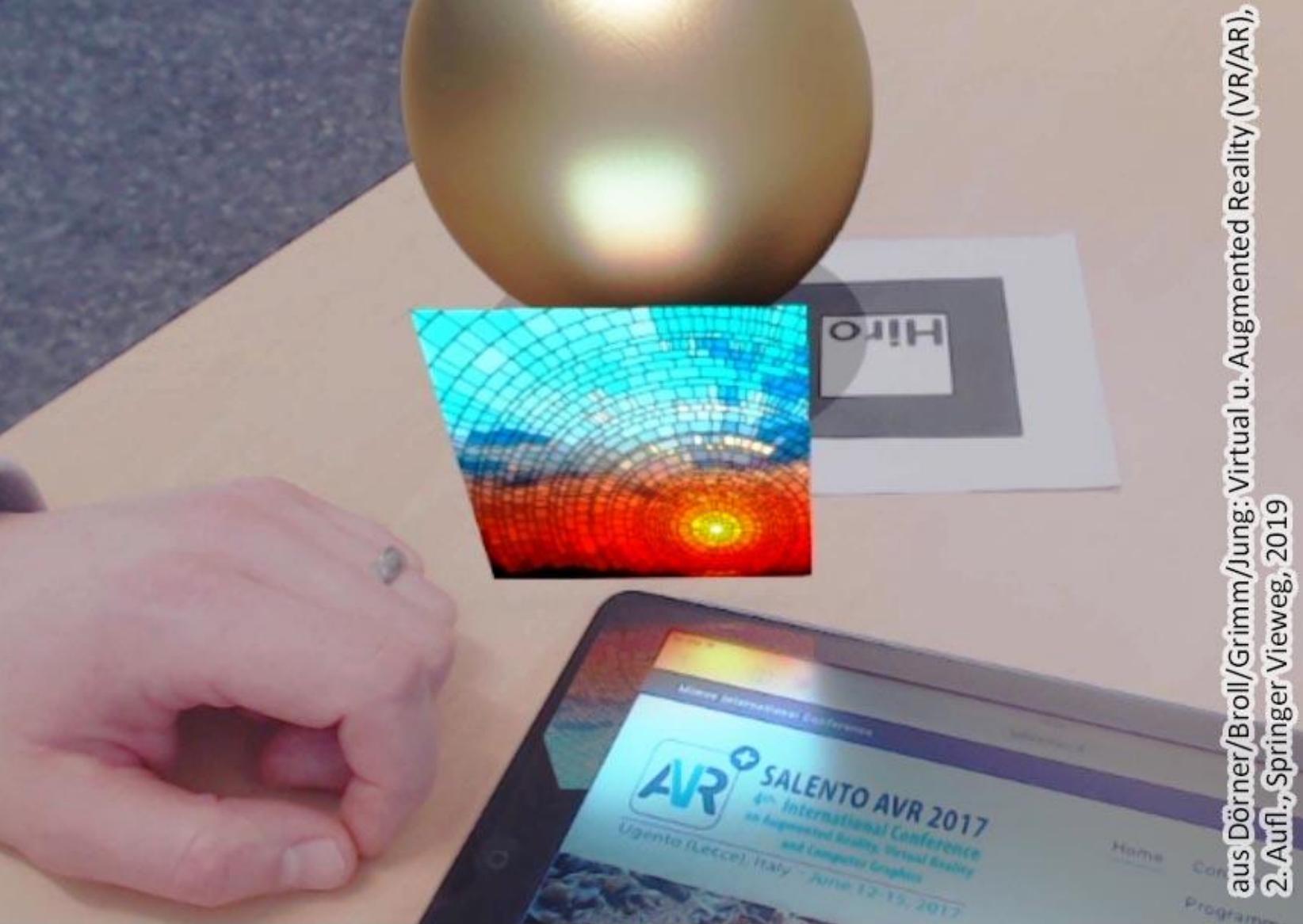
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.12** Fehlerhafte geometrische Registrierung bei hoher Tracking-Latenz: Die Kamera bewegt sich von links nach rechts; das virtuelle Objekt bewegt sich zunächst kurz mit der Kamera, um dann an einer falschen Position weitestgehend zu verharren, erst nach dem Stoppen der Bewegung bewegt sich das virtuelle Objekt auf seine korrekte Position (korrekte Positionen jeweils in grün)



**Abb. 8.13** Reduzierung latenzbedingter Effekte durch Zwischenspeichern von Kamerabildern und Parallelisierung

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.14** Photometrische Registrierung virtueller Inhalte.  
(© Tobias Schwandt, TU Ilmenau 2018. All rights reserved)



**Abb. 8.15** Vergleich einer AR-Szene ohne und mit photometrischer Registrierung: Im rechten Bild wird (reales) Licht durch das rote Blatt auf das virtuelle Objekt reflektiert, weiterhin wird Licht vom virtuellen Objekt auf den Hintergrund reflektiert (Bildquelle: Philipp Lensing, TU Ilmenau)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.16** Spiegelnd reflektierende Oberflächen virtueller Objekte.  
(© TU Ilmenau 2018. All rights reserved)

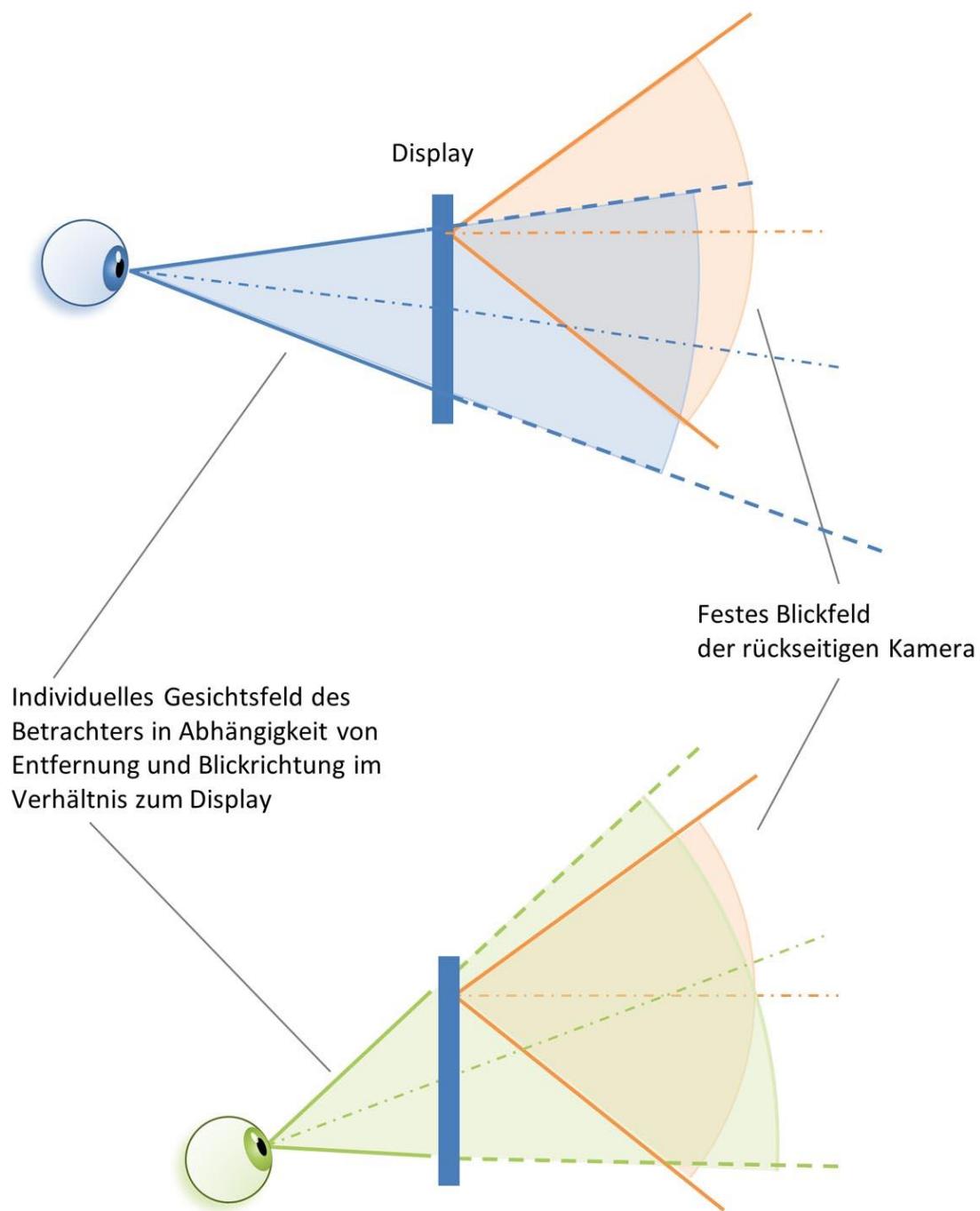
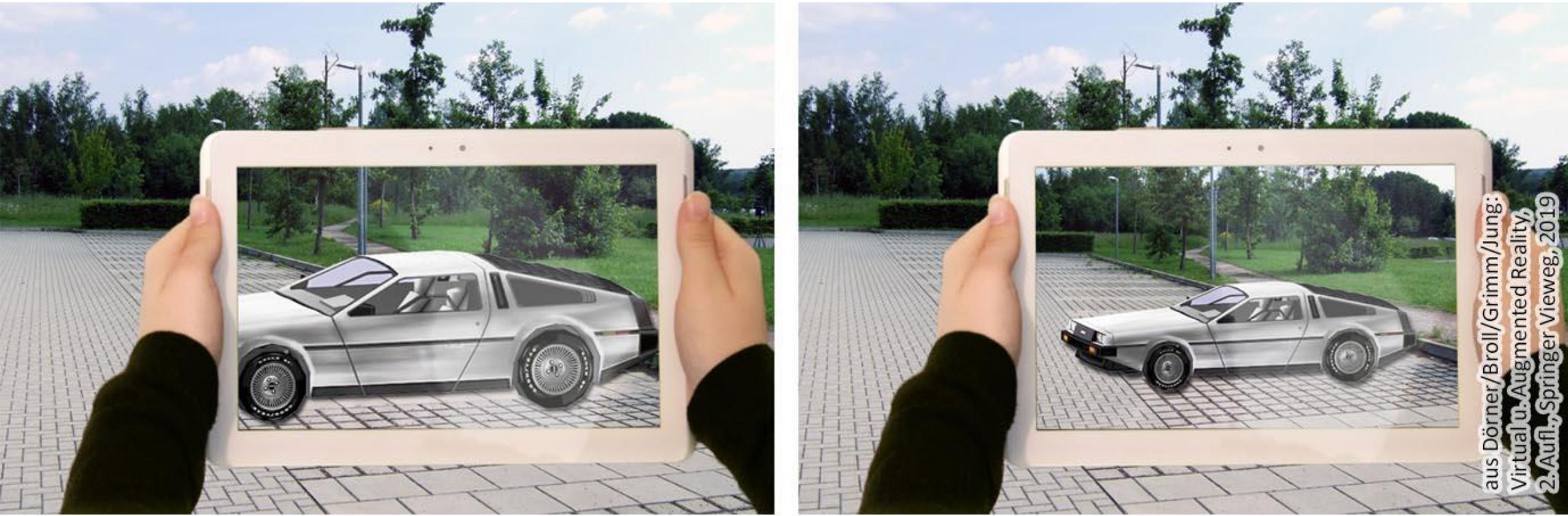


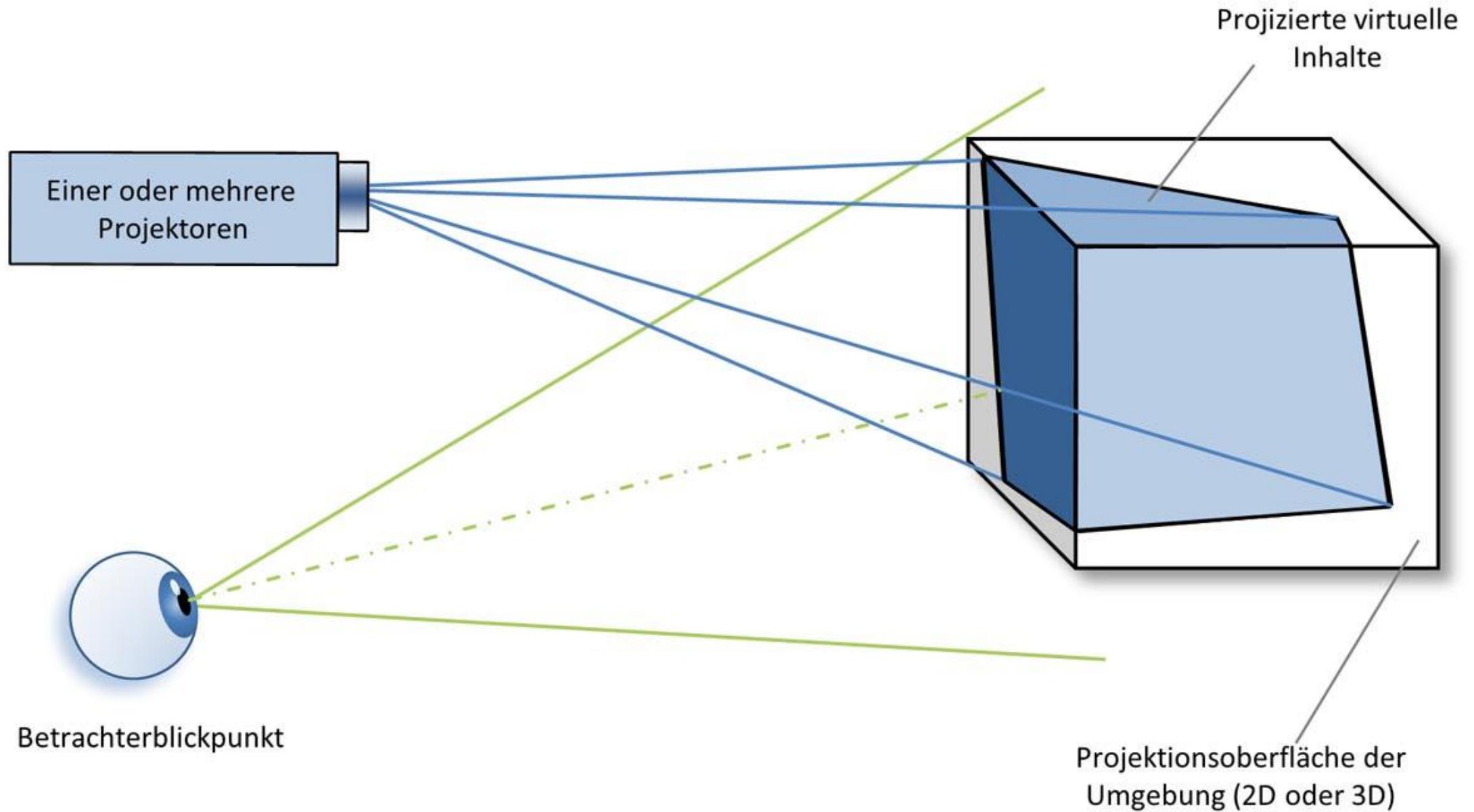
Abb. 8.17 Unterschiedliche Blickfelder von Betrachter und Kamera bei Handheld-AR

aus Dorner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

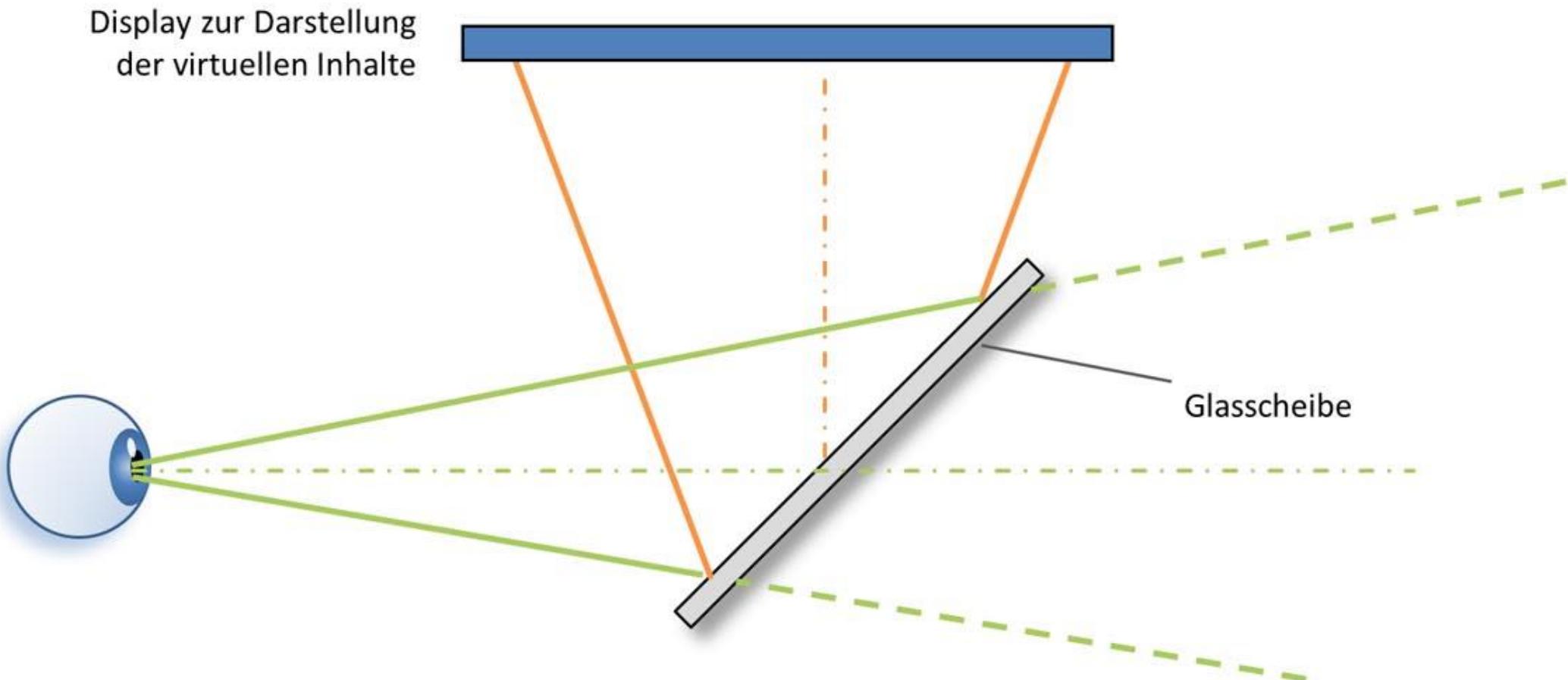


**Abb. 8.18** Links: Übereinstimmende Perspektive zwischen Realität und augmentiertem Bild (Magic Lens-Effekt). Rechts: Kamerabild und Realität werden mit einer unterschiedlichen Perspektive wahrgenommen

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



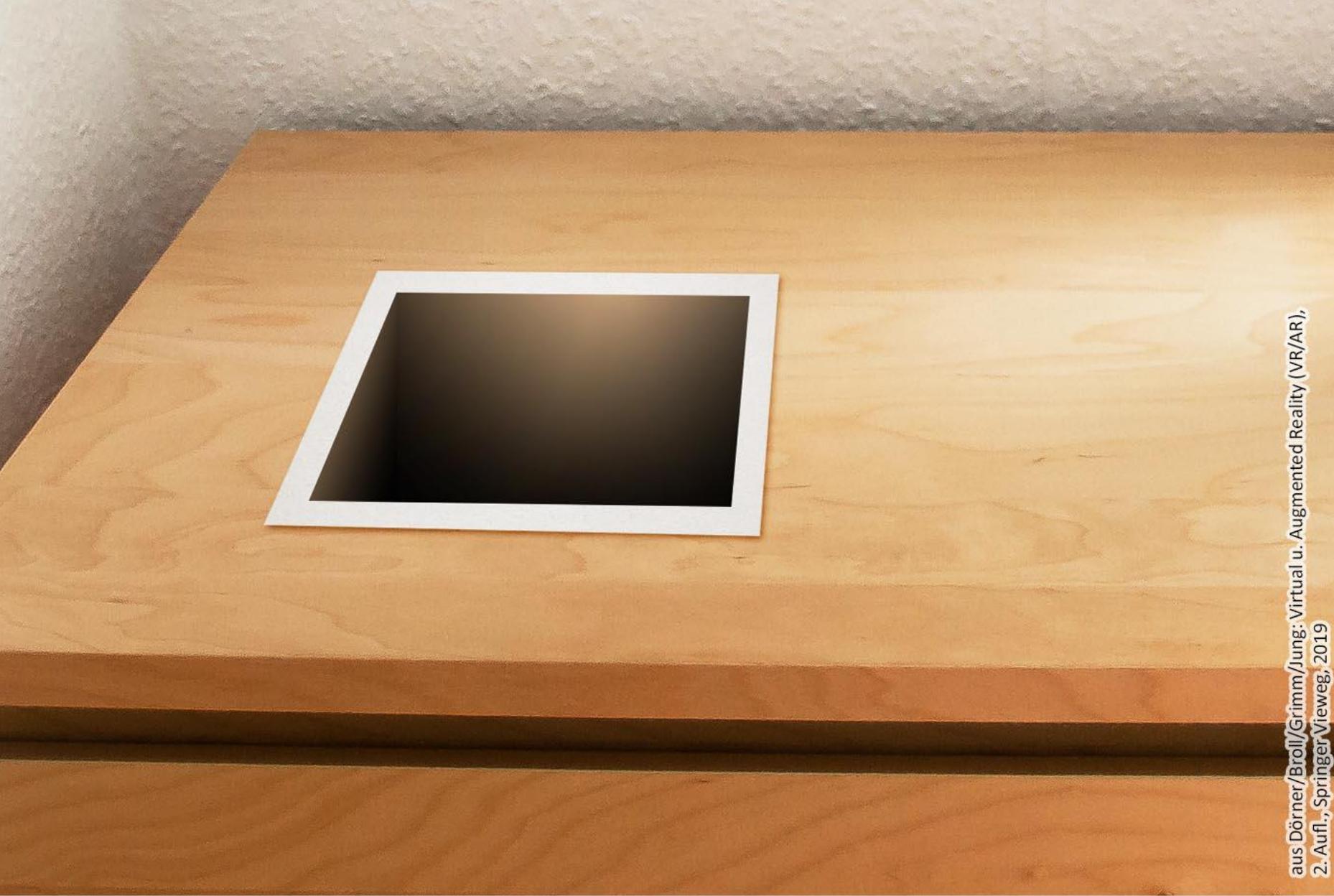
**Abb. 8.19** Schematischer Aufbau eines Systems für projektionsbasierte AR



**Abb. 8.20** Spatial AR mithilfe einer transparenten, spiegelnden Fläche



**Abb. 8.21** Phantomobjekte ermöglichen eine korrekte gegenseitige Verdeckung zwischen realen und virtuellen Objekten: Ohne Phantomobjekt scheint das virtuelle Objekt vor den realen Gegenständen zu schweben, während es bei korrekter Verdeckung durch das Phantomobjekt hinter den realen Gegenständen zu stehen scheint



**Abb. 8.22** Durch das Überblenden einer Marke auf der Tischoberfläche mit einem virtuellen Objekt, welches einen Hohlraum an Stelle der Tischoberfläche hat, entsteht für den Betrachter der Eindruck einer tatsächlichen Vertiefung

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

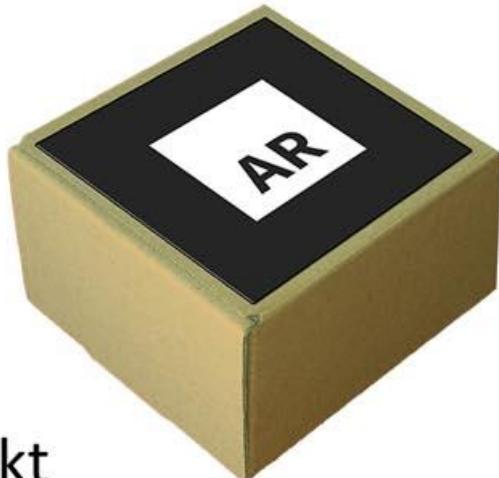
**Abb. 8.23** Rohre und Leitungen hinter einer Abdeckung und in der Wand werden mit Hilfe von AR sichtbar gemacht. (© Leif Oppermann, Fraunhofer FIT 2018. All rights reserved)



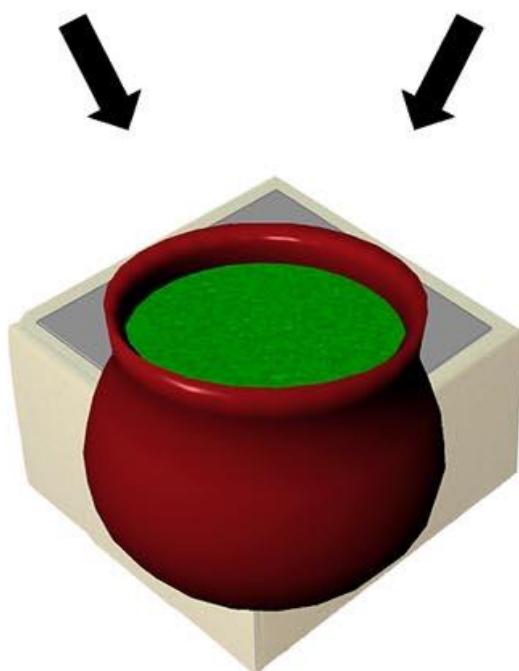
aus Dörner/Broell/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.24** Nutzung von SAR zur Darstellung  
verdeckter Teile der Realität

Reales  
Platzhalterobjekt  
(durch Tracking verfolgt)



Virtuelles  
Stellvertreterobjekt



Tangible Interface

**Abb. 8.25** Tangible User Interfaces: Ein reales Platzhalterobjekt wird zur Interaktion mit einem virtuellen Objekt benutzt (3D-Modell des Krugs: Richard Wetzel, Fraunhofer FIT).



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.26** Beispiel für Diminished Reality: Der Ablauf des Waschbeckens wird in Echtzeit aus dem Live-Bild entfernt. (© TU Ilmenau 2018. All rights reserved)

Blick von links



Blick frontal



Blick von rechts



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.27** Rekonstruktion des realen Hintergrundes durch mehrere Kamerabilder.  
(Einzelbilder: © TU Ilmenau 2018. All rights reserved)

Realität



Selektion



Maskierung



Diminished Reality



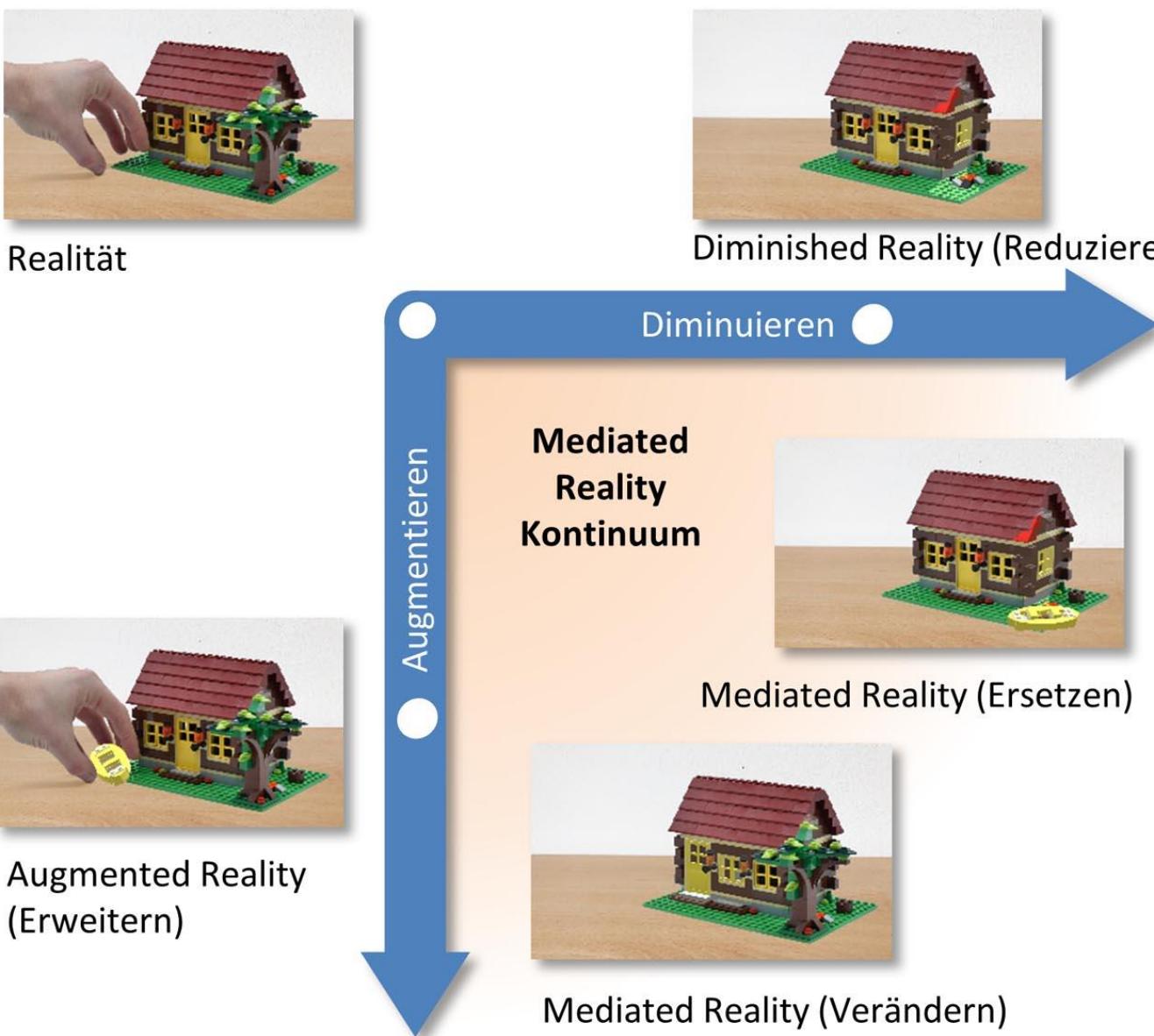
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.28** Diminished Reality durch Maskieren und kontextsensitives Füllen.  
(Einzelbilder: © Tobias Schwandt, TU Ilmenau 2018. All rights reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.29** Nutzung von Informationen aus den umliegenden Framebereichen zum Füllen der maskierten Fläche. (© Jan Herling 2013. All rights reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

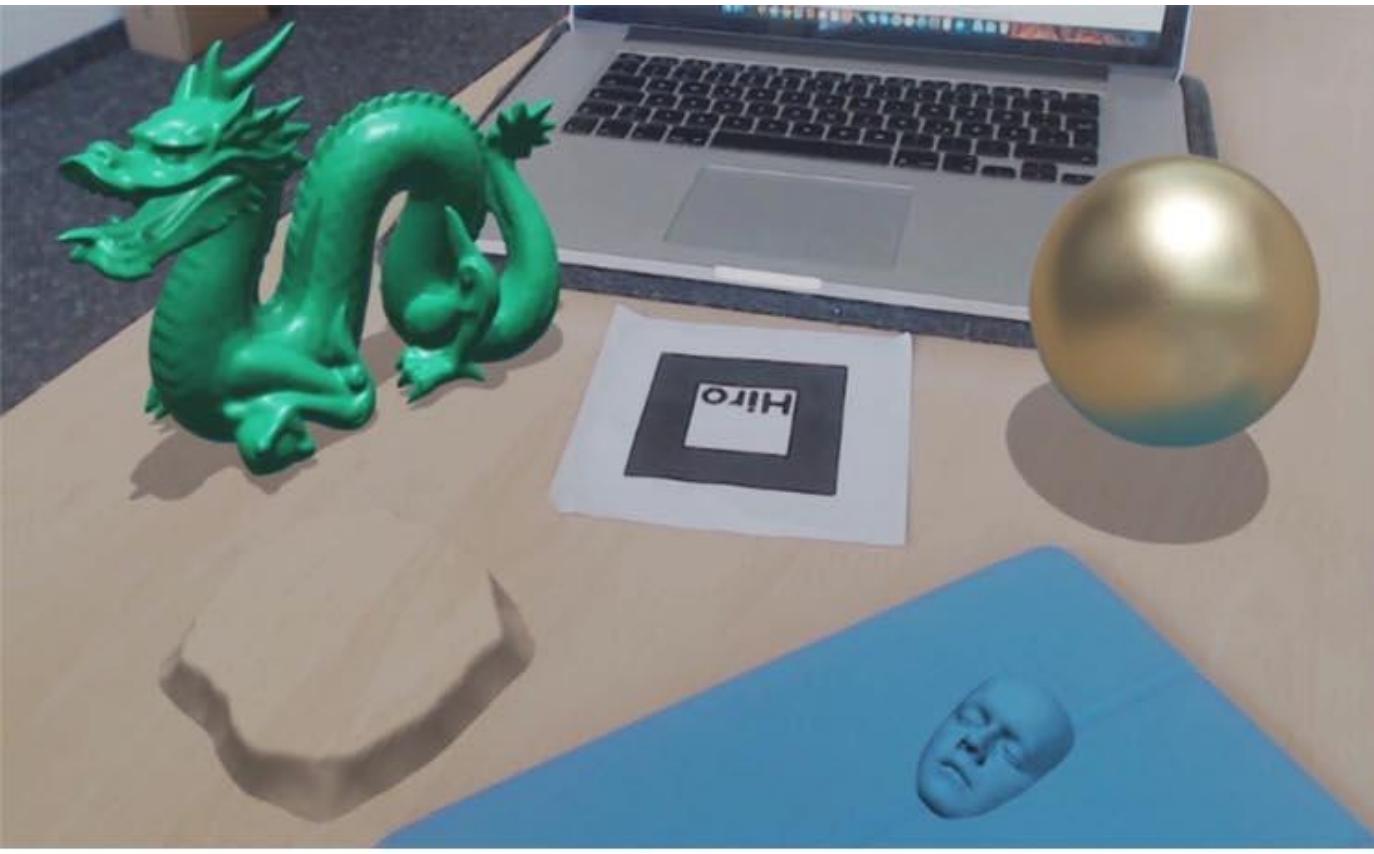
**Abb. 8.30** Das Mediated Reality-Kontinuum: Die Realität kann sowohl um virtuelle Inhalte augmentiert (AR) als auch um reale Inhalte diminuiert (vermindert, DR) werden. In Kombination erlaubt dies sowohl das Ersetzen realer Inhalte durch virtuelle als auch das Verändern (Mediated Reality).

(Einzelbilder: © Tobias Schwandt, TU Ilmenau 2018. All rights reserved)



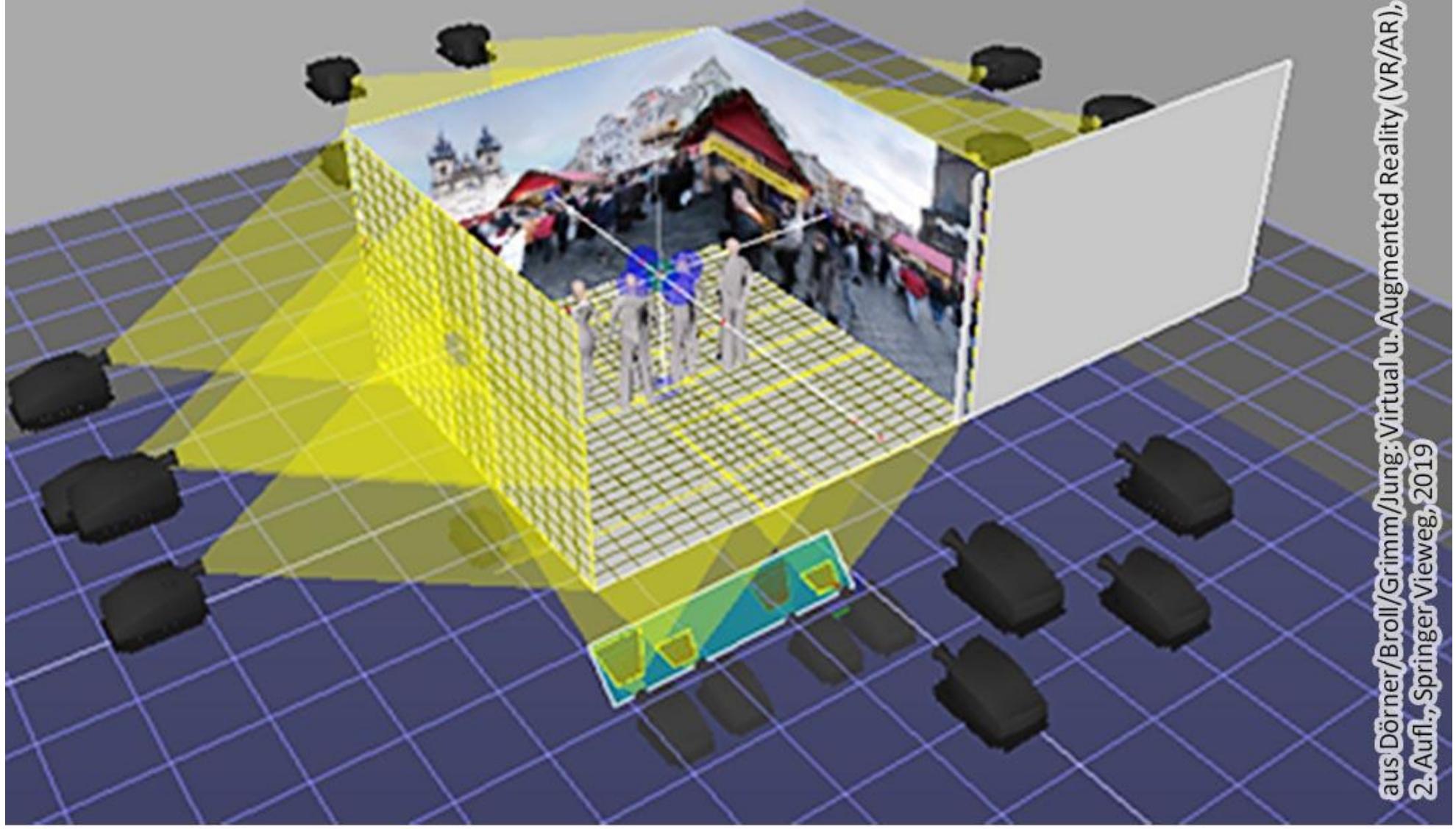
**Abb. 8.31** Kombination von Diminished Reality und AR.  
(© Christian Kunert, TU Ilmenau 2018. All rights reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 8.32** Beispiele für Verändern der realen Geometrie mithilfe von Mediated Reality  
(links: virtuelle Erhebung der Tischplatte und Gesicht auf Tablet (© Tobias Schwandt, TU Ilmenau 2018. All rights reserved),  
rechts: virtuelle Tür im Monitor (© Jan Herling 2017. All rights reserved))



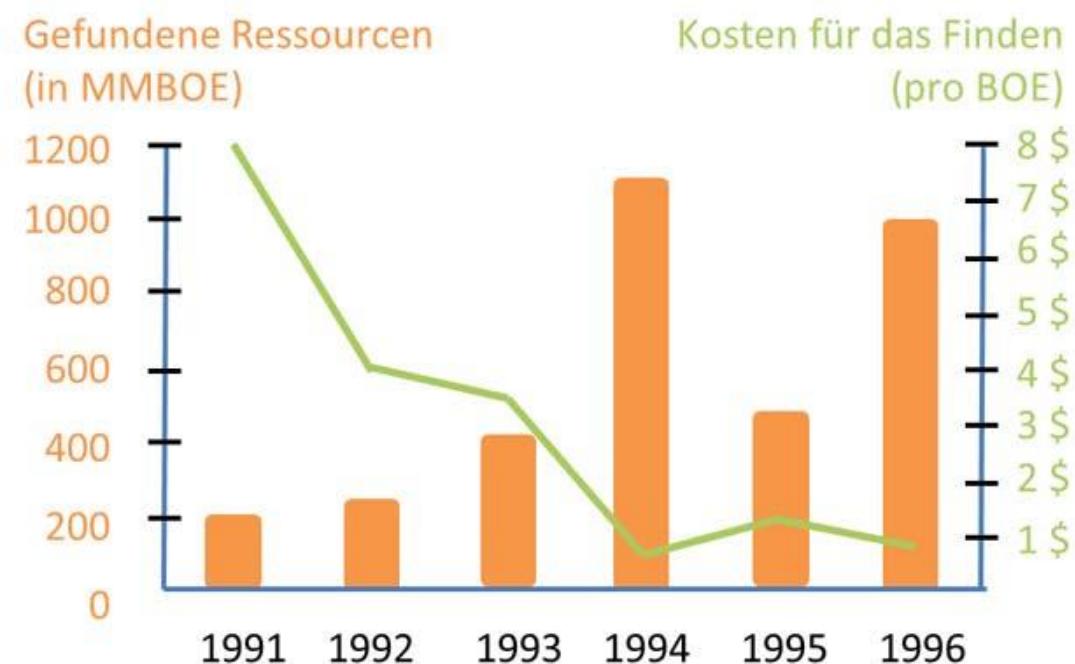
**Abb. 9.1** Konzept der aixCAVE mit 24 Projektoren. (© 2013 Geert Matthys,  
BARCO/Torsten W. Kuhlen, RWTH Aachen. All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



**Abb. 9.2** Aufwendige Installation der Glasplatten für die Boden-Rückprojektion der aixCAVE.  
(© Torsten W. Kuhlen, RWTH Aachen. All Rights Reserved)

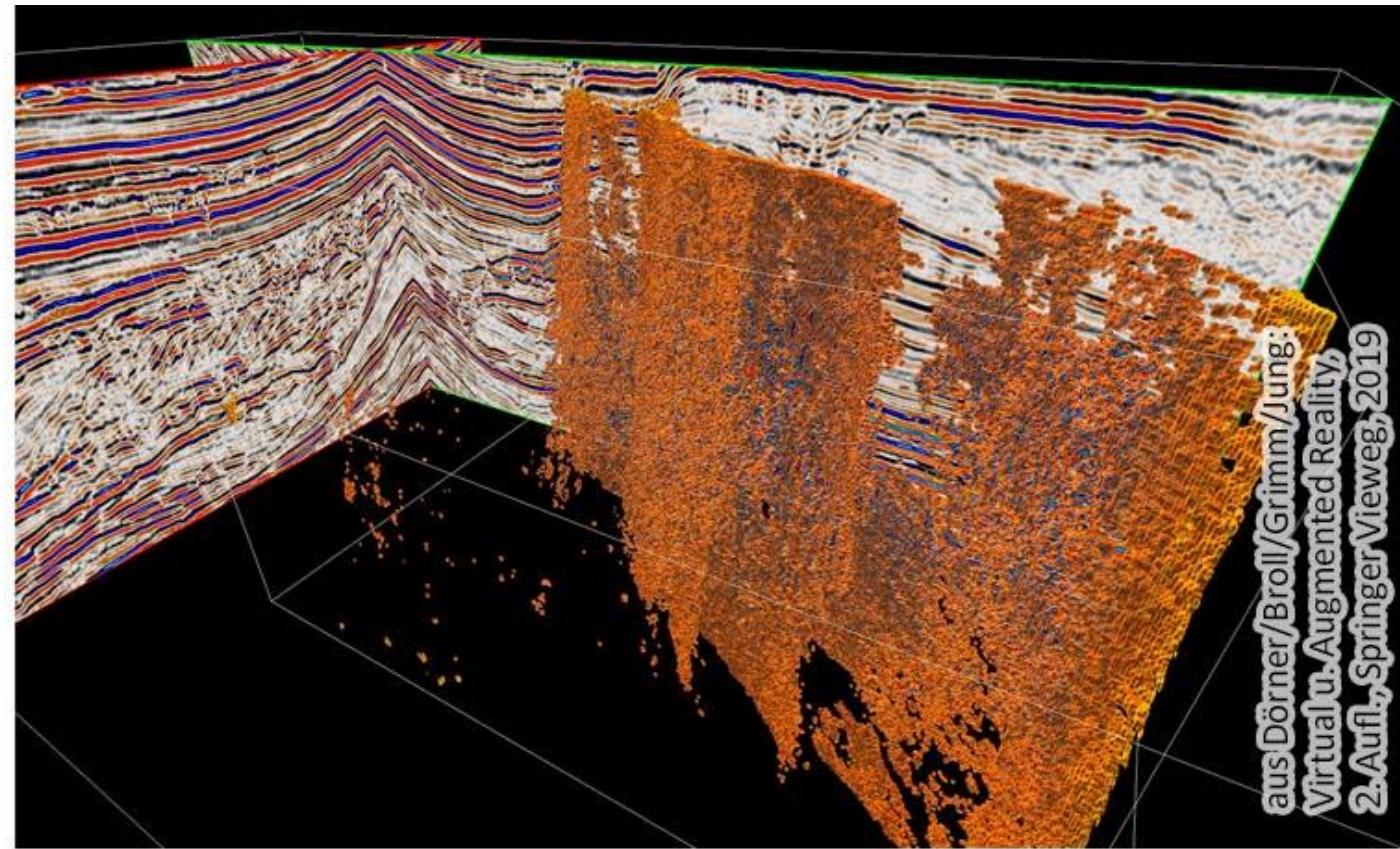
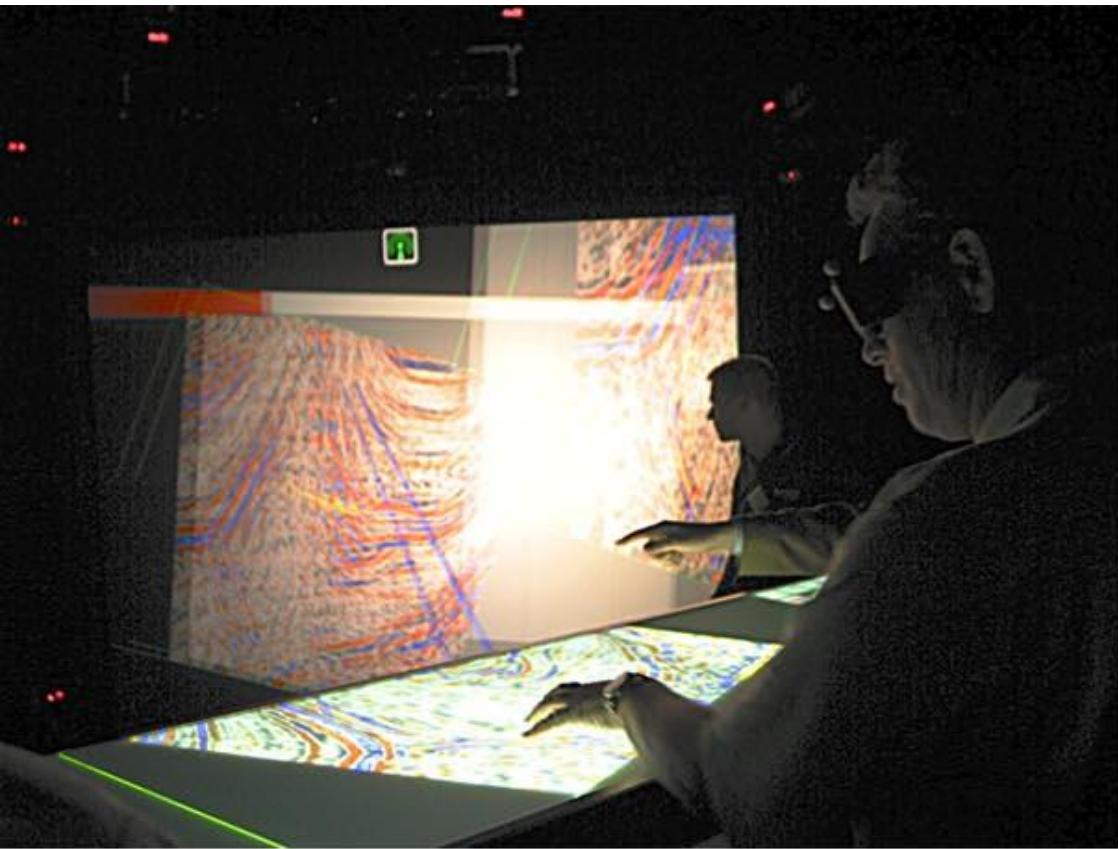
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



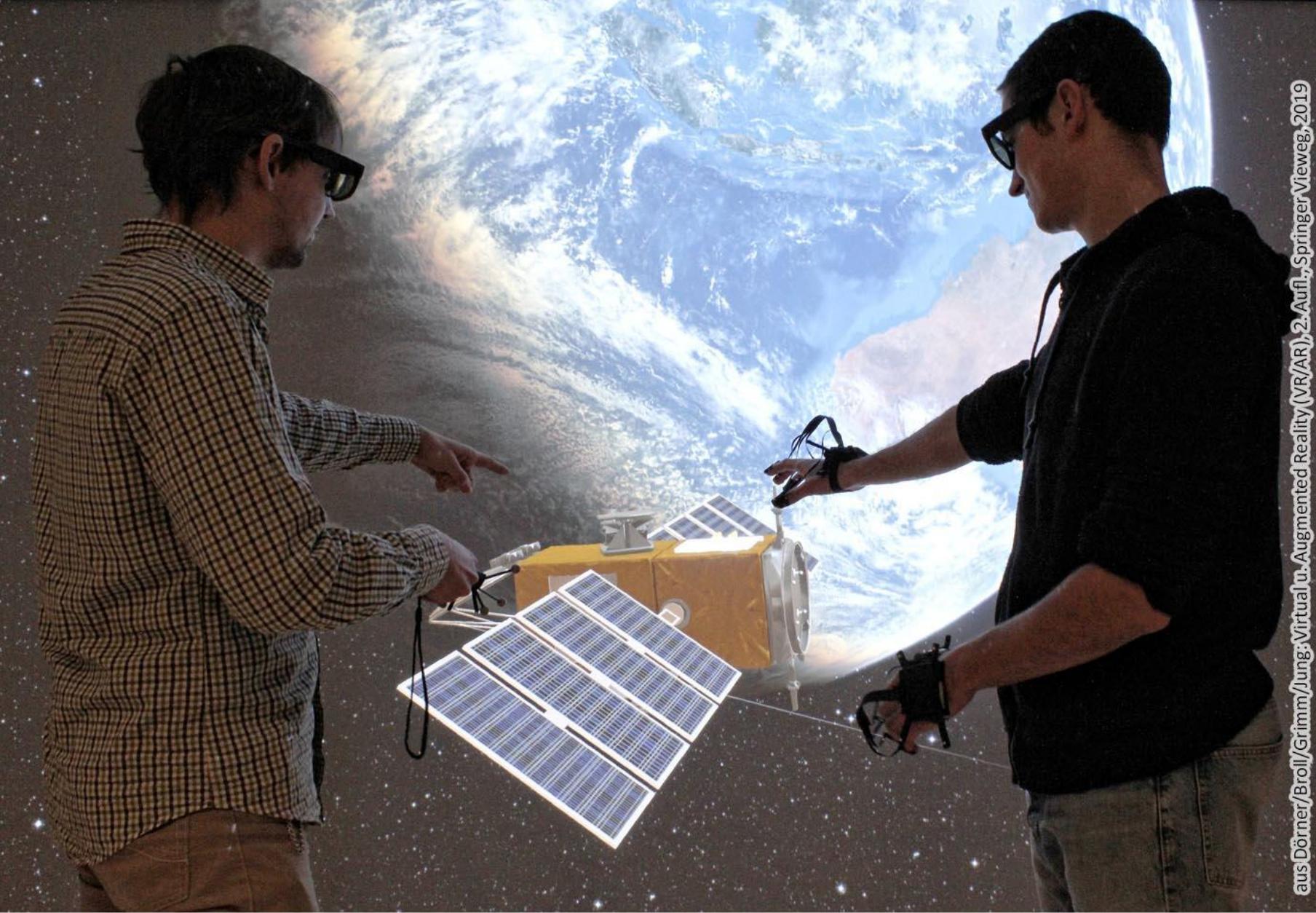
### Erfolgsraten 1990 – 1996

	2D	3D
Gesamterfolgsrate	14%	49%
Erfolgsrate Gasquellen	24%	50%
Erfolgsrate Ölquellen	3%	44%
<b>Jahresvergleich</b>	<b>1991</b>	<b>1996</b>
Quellen durch 3D gefunden	1%	65%
Jährliche Erfolgsrate beim Bohren	13%	44%

**Abb. 9.3** Die Rolle von 3D Seismik (im Vergleich zu 2D). Nach Aylor (1997, 1999), BOE: Barrel of Oil Equivalent, MMBOE: Million Barrels of Oil Equivalent



**Abb. 9.4** a) Kollaborative Seismische Interpretation in 3D unter Nutzung des TwoView-Displays und eines Multitouch-Tisches b) 3D-Visualisierung der Ergebnisse einer Analyse eines volumetrischen Datensatzes mittels Neuronaler Netze.  
(© Manfred Bogen, Stefan Rilling, Fraunhofer IAIS. All Rights Reserved)



aus Dörner/Brolf/Grimm/Jung, Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

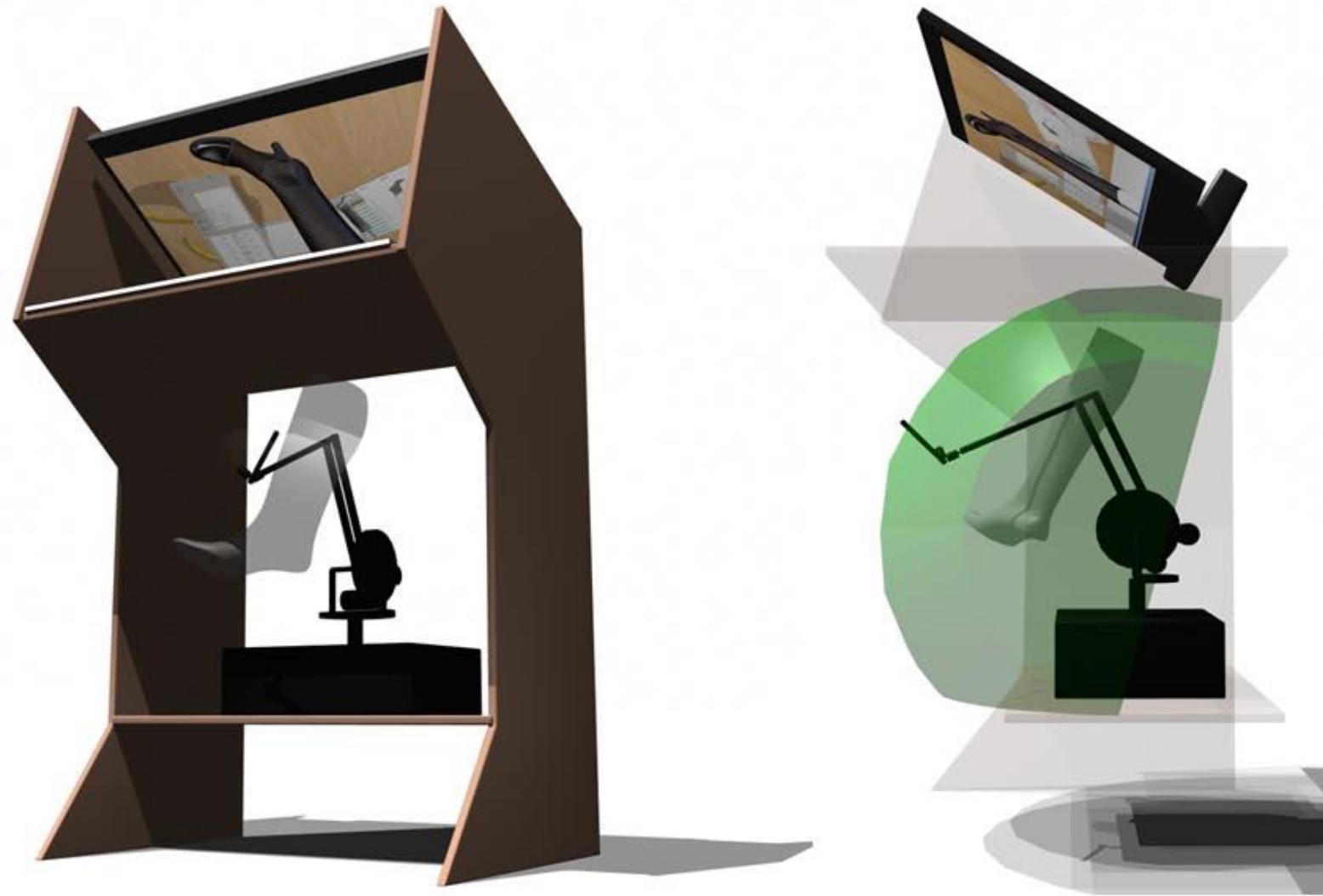
**Abb. 9.5** Diskussion von Montagevorgängen an einem Satelliten in einer virtuellen Weltraumsimulationsumgebung.

(© Thomas Hulin et al., Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. All Rights Reserved)



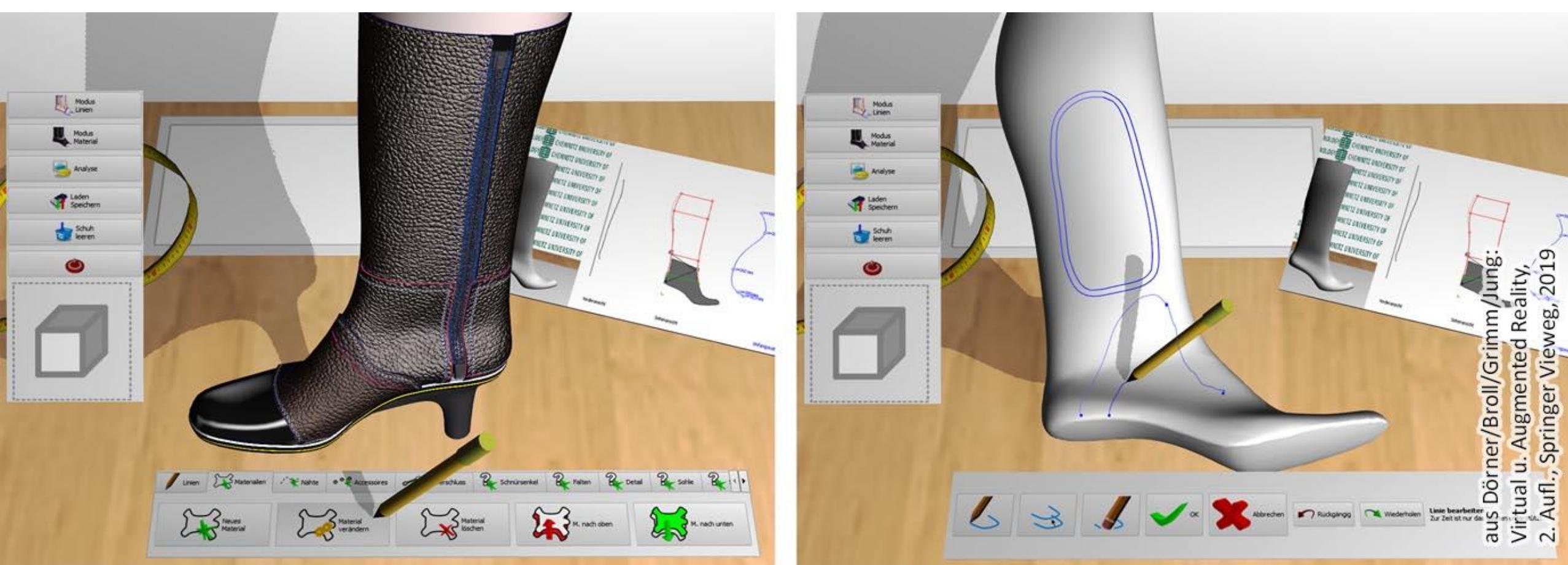
**Abb. 9.6** Bimanuelles haptisches Interaktionsgerät zur intuitiven Durchführung virtueller On-Orbit-Reparaturmaßnahmen an Satelliten. (© Andreas Gerndt et al., Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



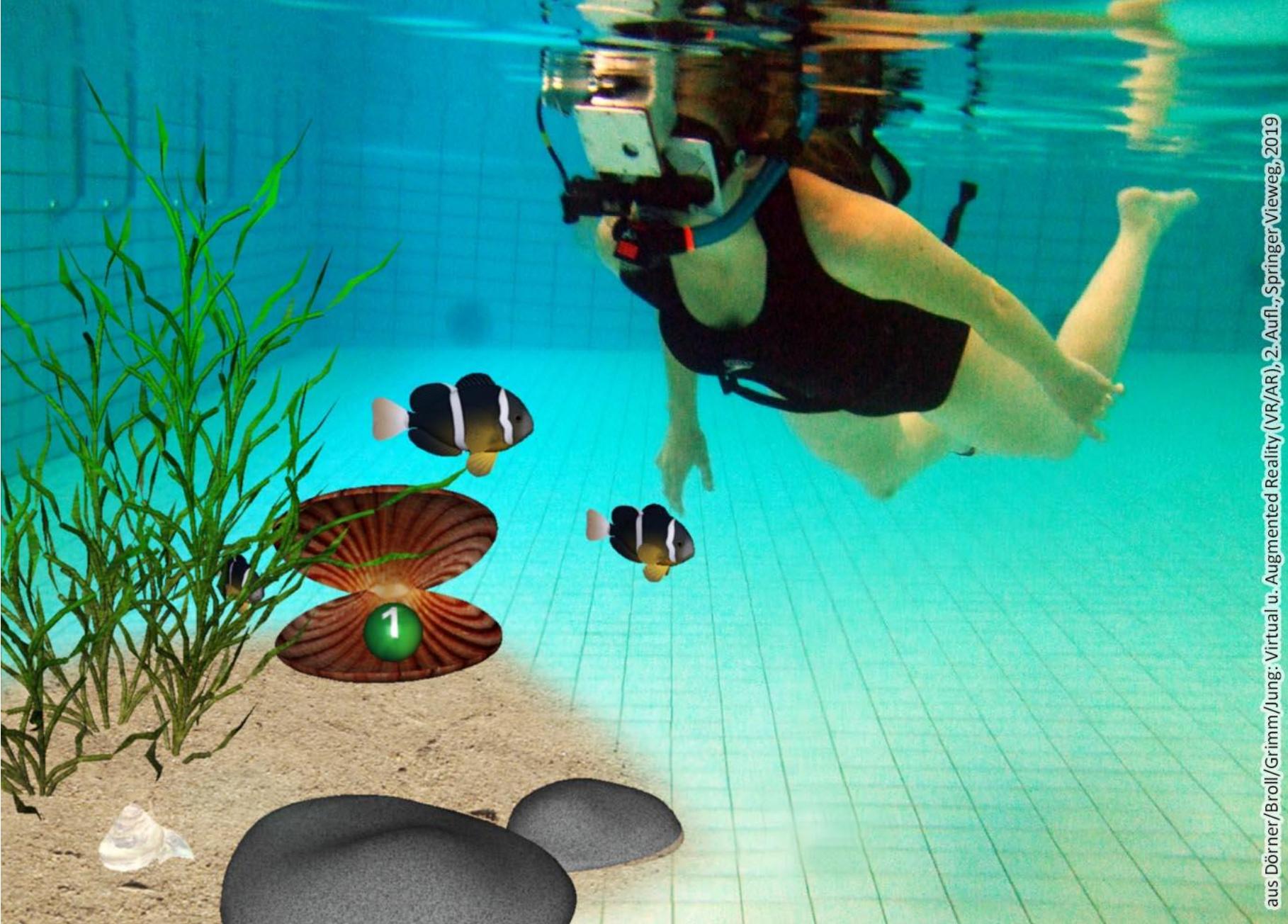
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality(VR/AR)  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.7** Konzeptueller und realer VR-Arbeitsplatz. Das haptische Gerät und die Sichtumlenkung über einen Spiegel bestimmen den Arbeitsplatz maßgeblich. (© Tom Kühnert, Guido Brunnett, Technische Universität Chemnitz. All Rights Reserved)



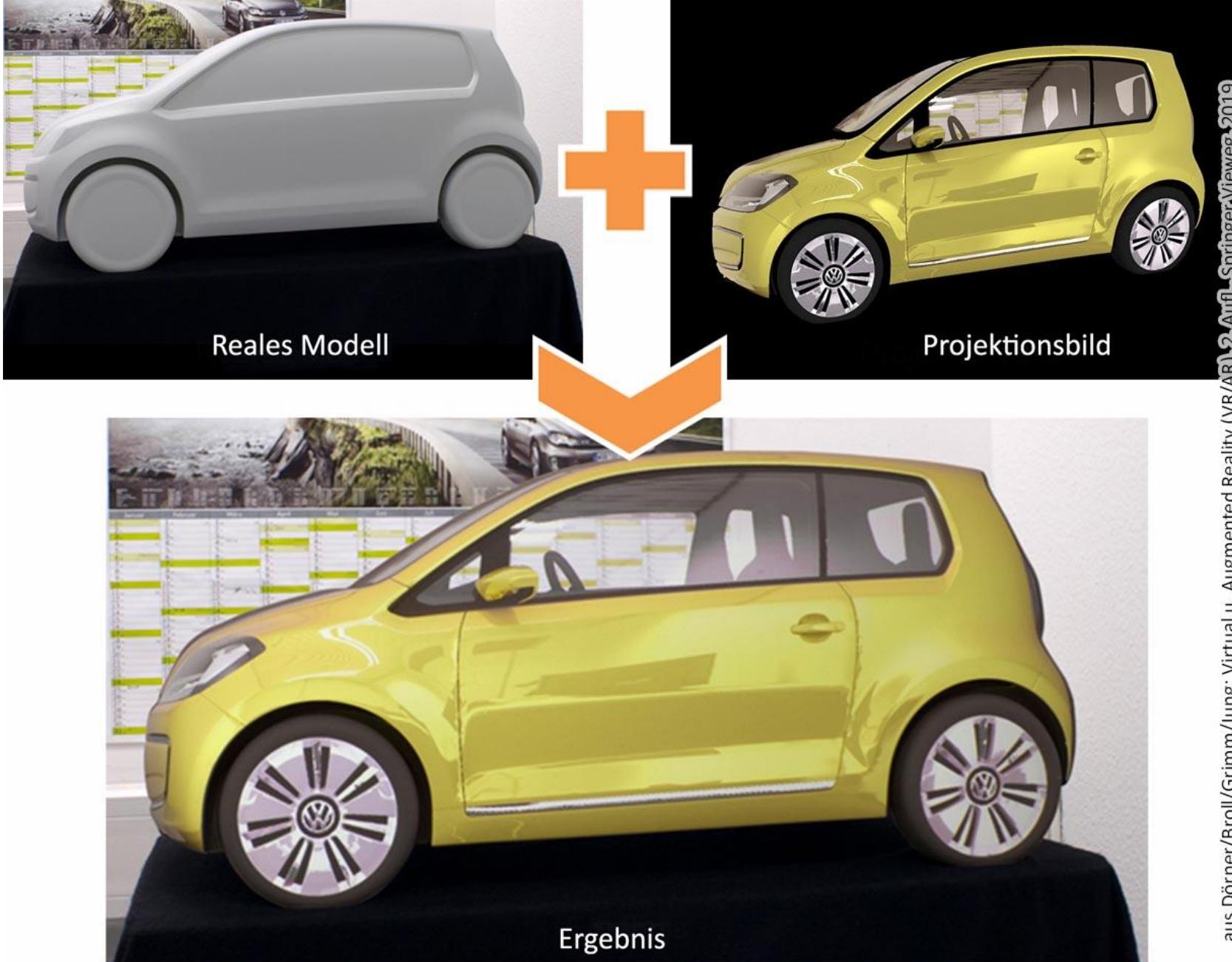
**Abb. 9.8** 3D-Szene mit eingebettetem, klassischem Menü. Herkömmliche und vertraute Steuerelemente ermöglichen sowohl eine intuitivere Bedienung als auch eine erleichterte Software-Entwicklung. Während die meisten Steuerelemente gut erreichbar (ggf. schräg) im Arbeitsraum liegen, können reine Statusfenster auch auf dem virtuellen Boden platziert werden.

(© Tom Kühnert, Guido Brunnett, Technische Universität Chemnitz. All Rights Reserved)



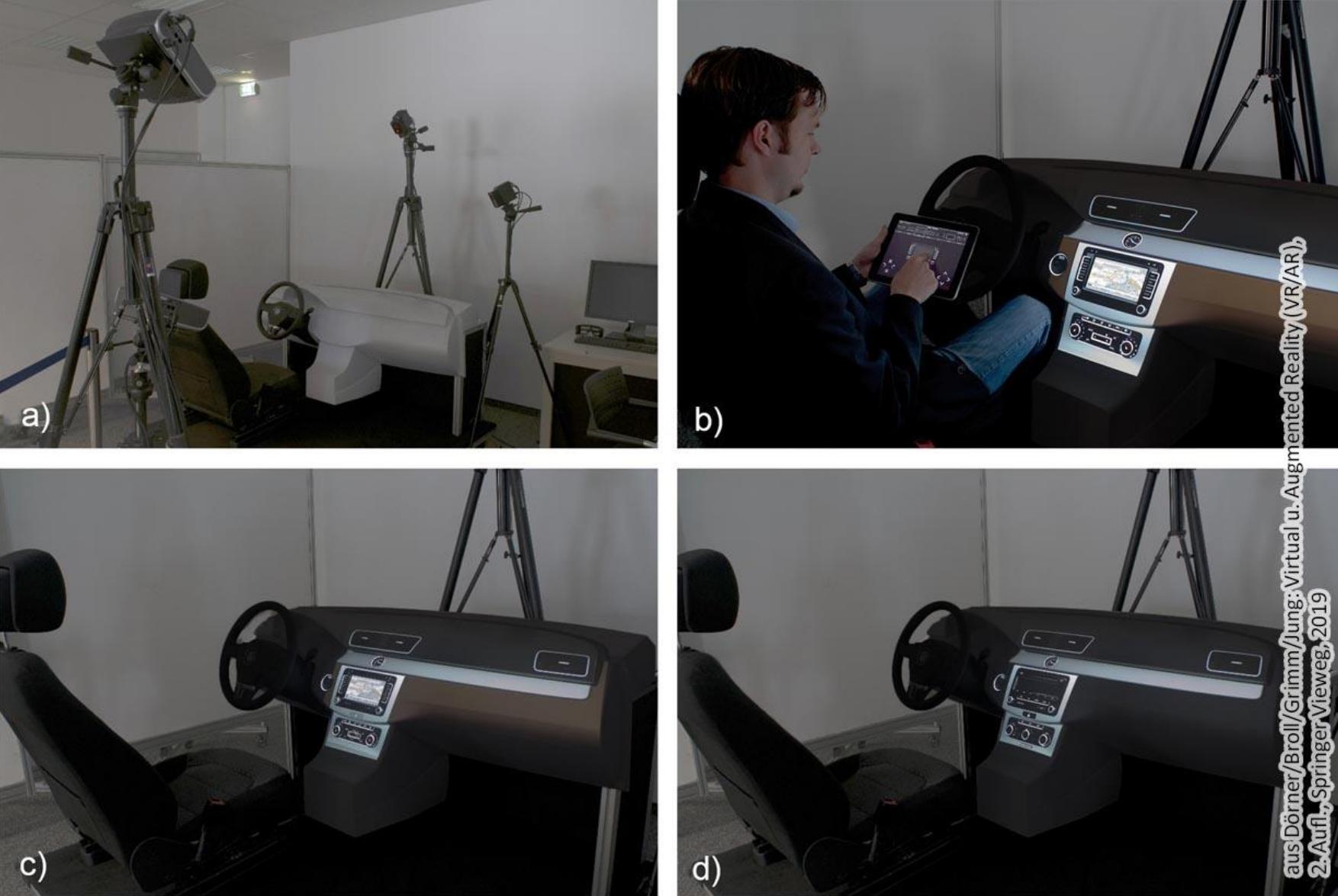
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.9** Ein Schwimmbad wird mithilfe eines AR-Systems zum Korallenriff. (© Lisa Blum, Fraunhofer- Institut für Angewandte Informationstechnik FIT. All Rights Reserved)



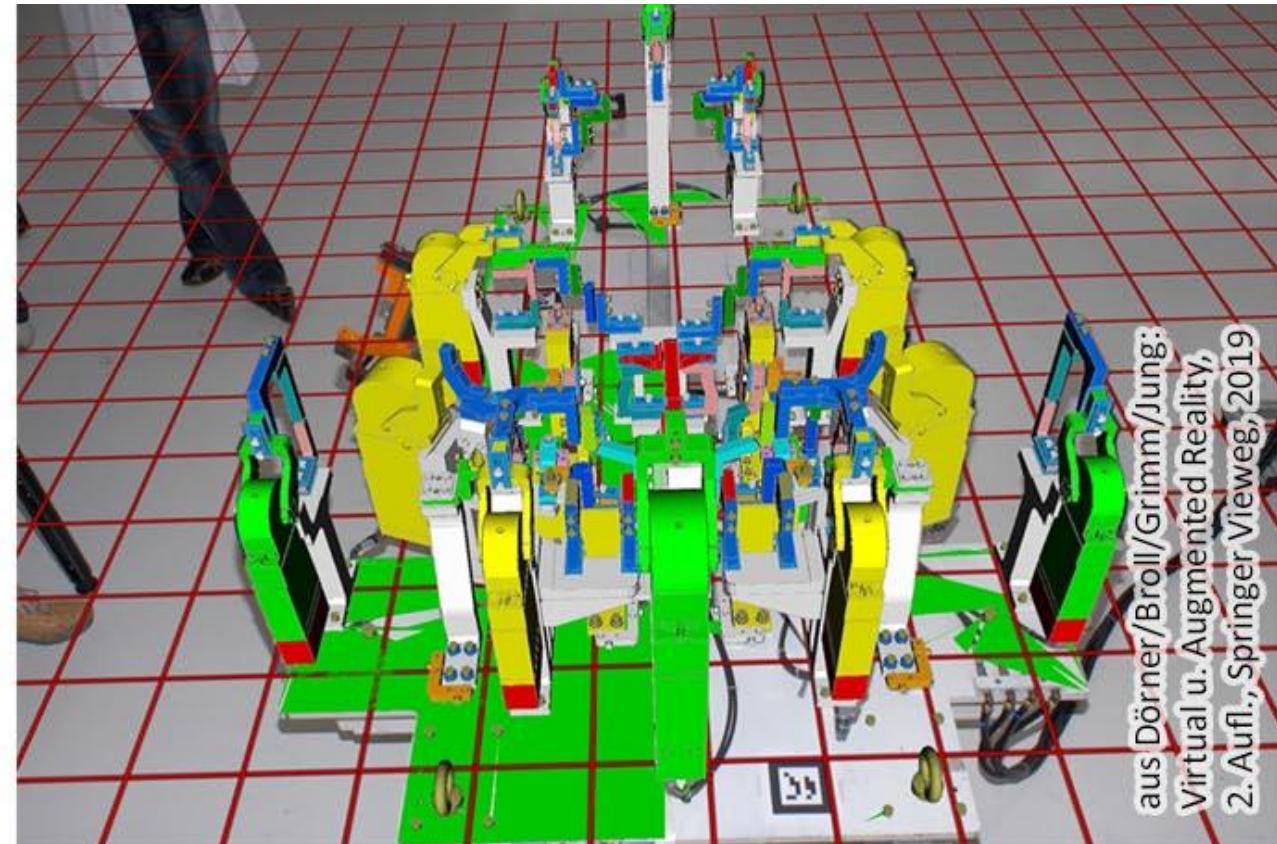
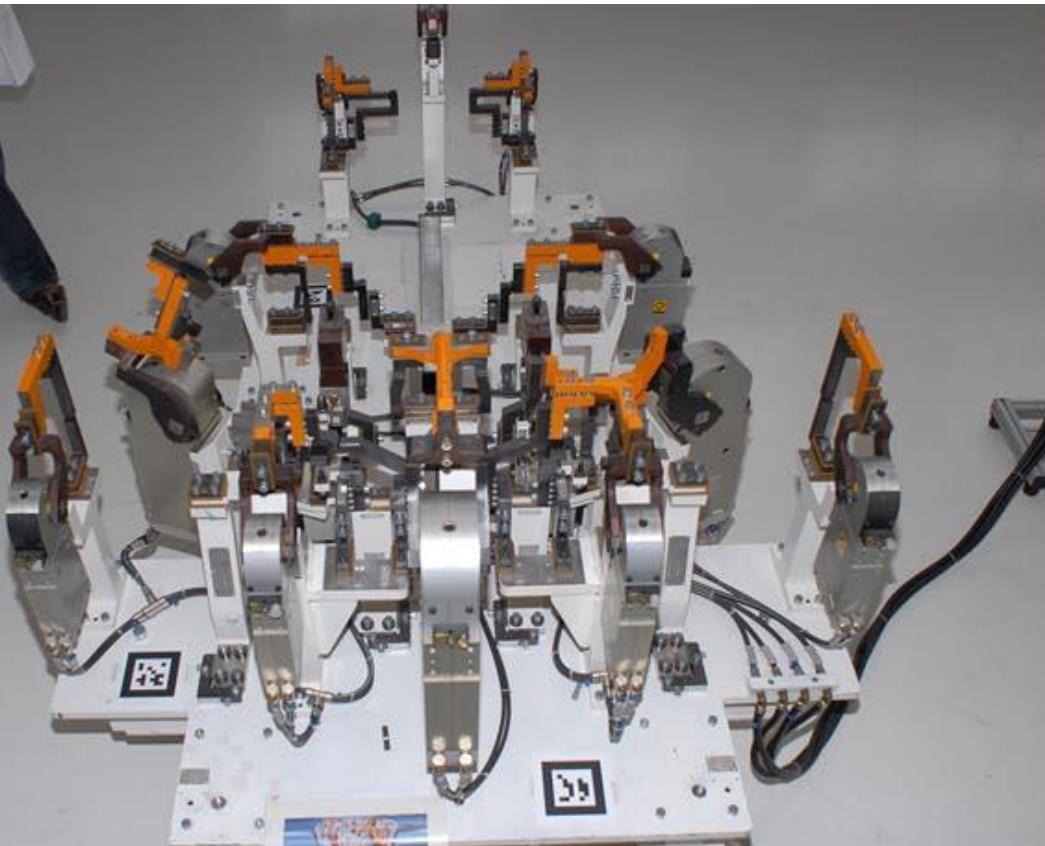
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.10** Projektion virtueller Daten auf ein reales Fahrzeugmodell. Nach Menk (2012).  
© Christoffer Menk, Volkswagen AG. All Rights Reserved)



**Abb. 9.11** Benutzung von SAR im Interieur Design-Prozess: a) Setup mit zwei Projektoren und realem Modell; b–d) Projektion verschiedener Passat Varianten auf das Modell. (Nach Menk (2012).  
© Christoffer Menk, Volkswagen AG. All Rights Reserved)

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.12** AR-Überlagerung einer Spannvorrichtung mit CAD-Konstruktionsdaten (links) Ansicht ohne 3D-Modell (rechts) Ansicht mit 3D-Modell.  
(© Christian Bade, Werner Schreiber, Volkswagen AG. All Rights Reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.13** Einsatz des entwickelten mobilen AR-Systems zur Untersuchung eines Hallenneubaus.  
(© Christian Bade, Werner Schreiber, Volkswagen AG. All Rights Reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.14** AR-System auf der Seite des entfernten Teilnehmers mit eingeblendeten Informationen. (© Thomas Alexander, Michael Kleiber, Fraunhofer FKIE. All Rights Reserved)



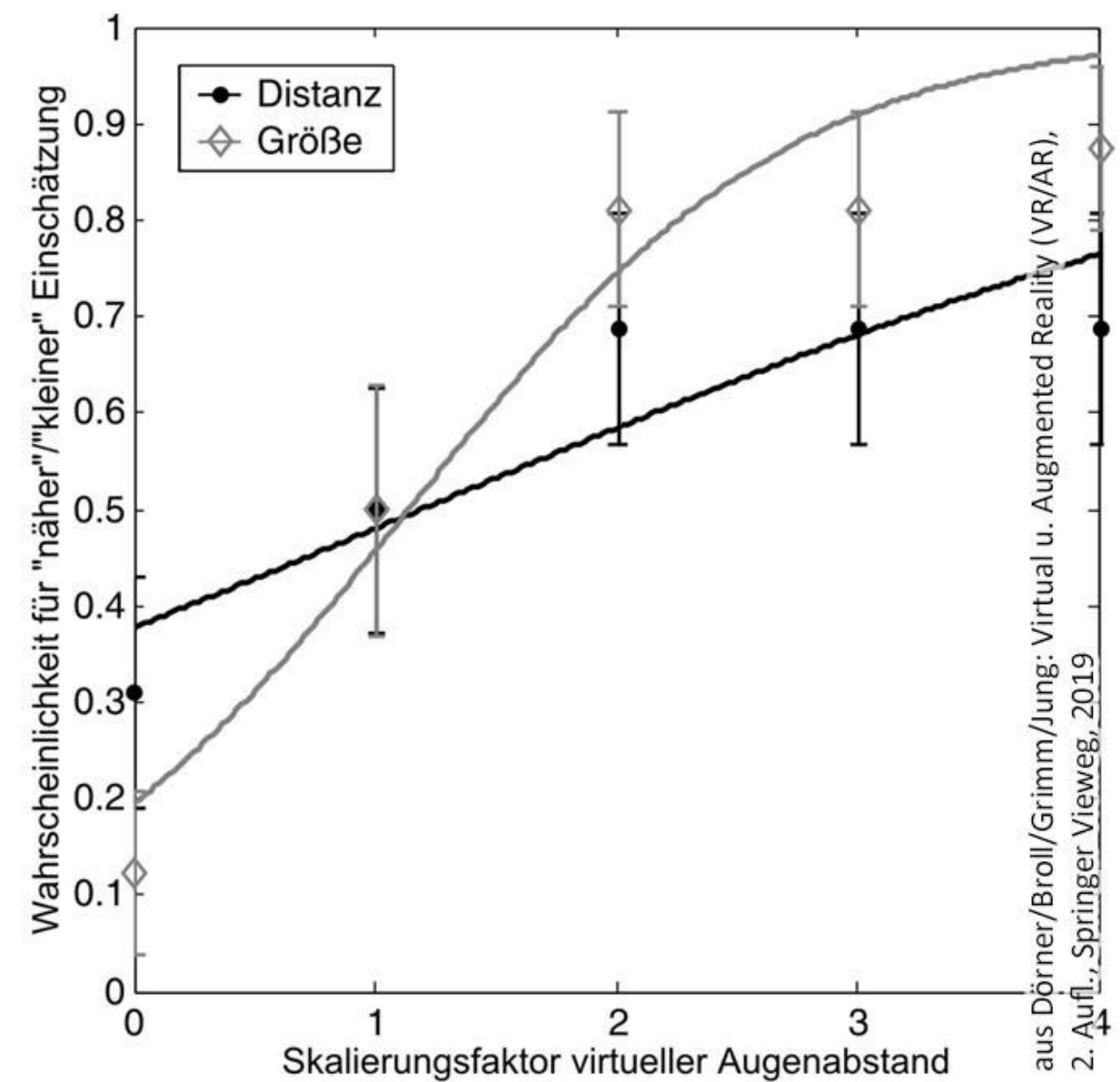
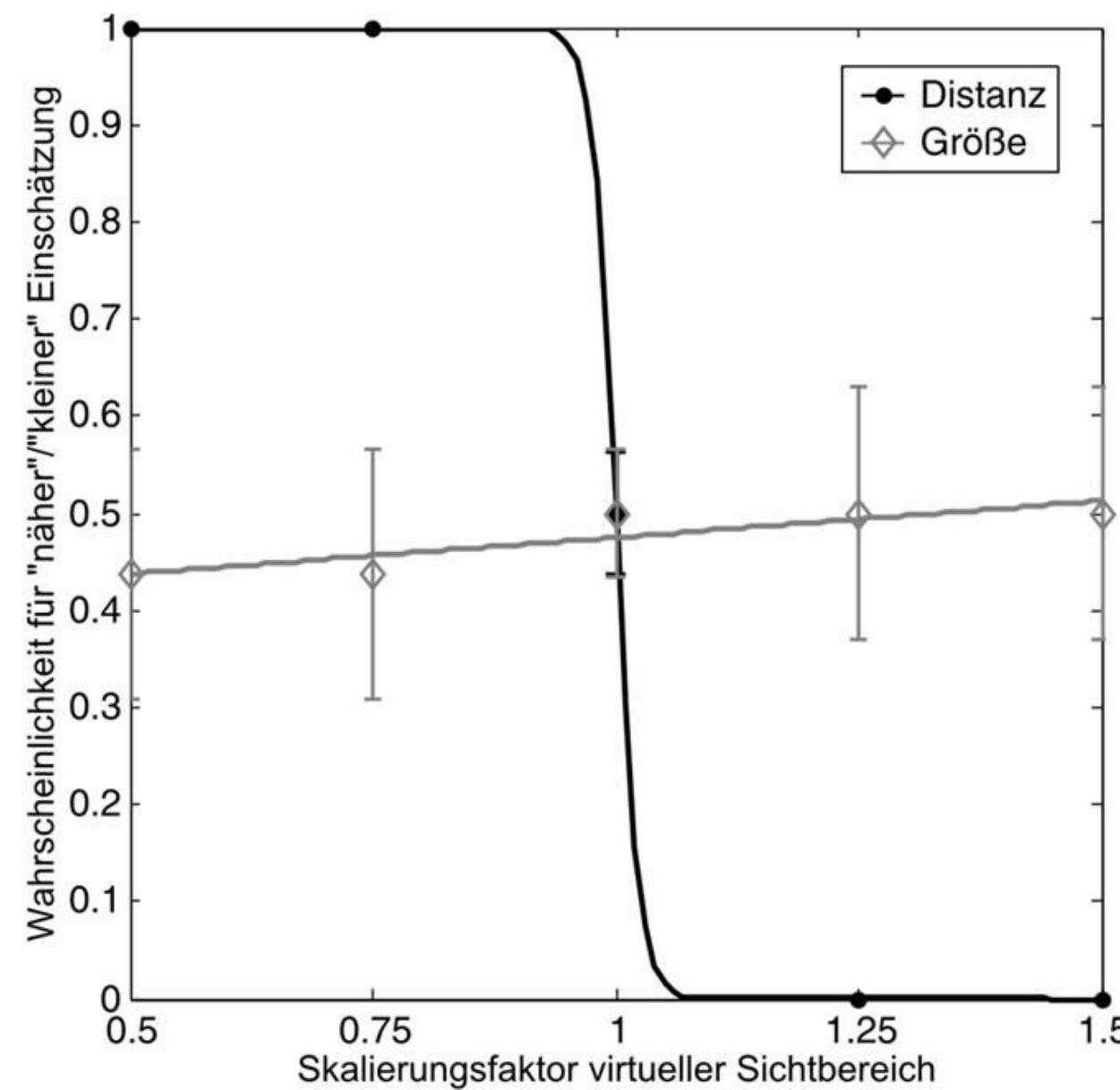
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.15** „Auto-AR“ Visualisierung des Neubaus der Fiducia & GAD IT AG in Karlsruhe – Sicht eines Beifahrers, der sich mit dem Auto auf dem Baugrundstück bewegt und dabei ein AR-HMD trägt. (© Leif Oppermann, Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT. All Rights Reserved)

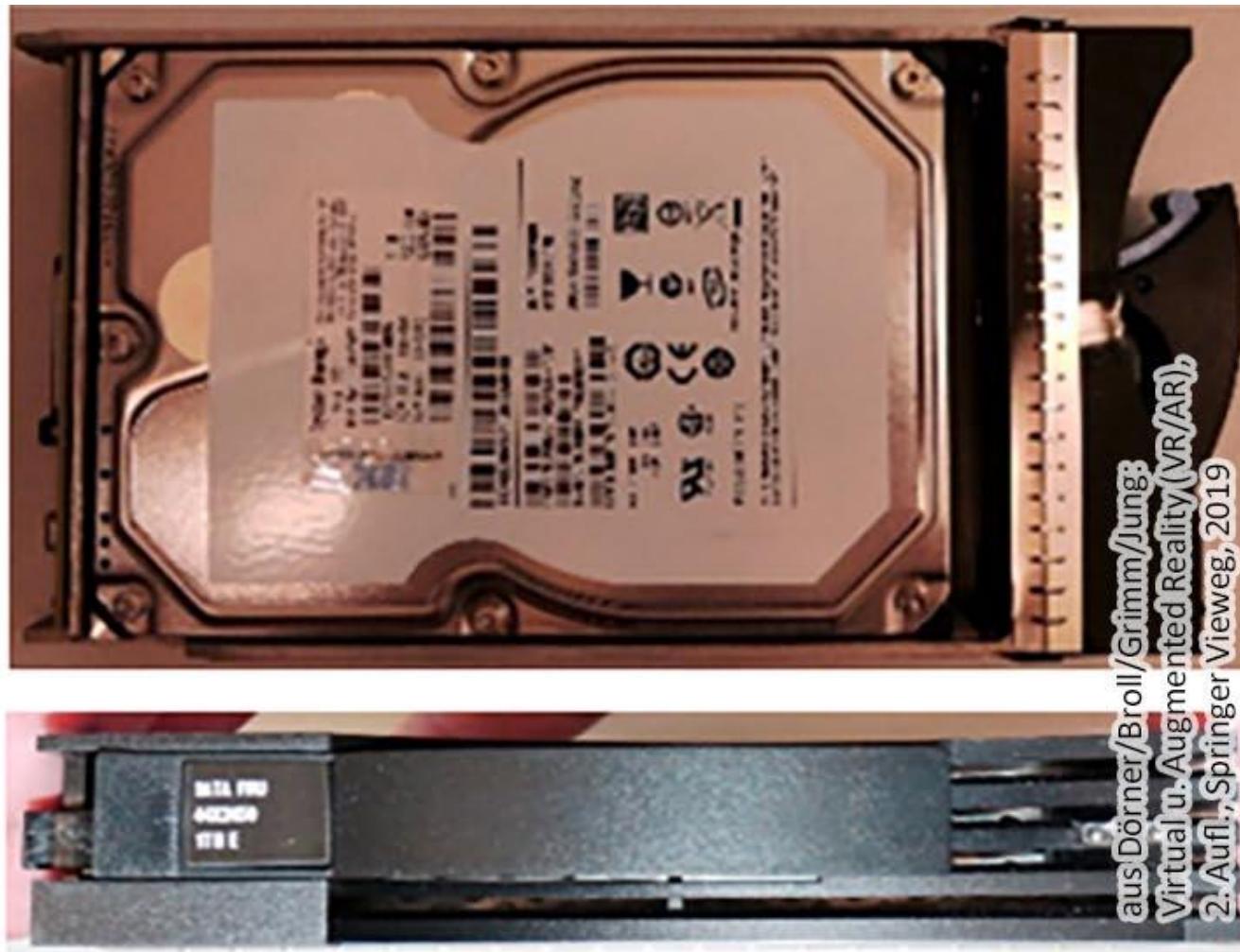


aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.16** Illustration des visuellen Stimulus im Experiment (hier mit Rot-Cyan Anaglyphen). Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, die Größe und Distanz der virtuellen Avatare miteinander zu vergleichen (z. B. ist die Person in der linken Bildhälfte weiter vorn oder hinten als die Person in der rechten Bildhälfte).  
© Gerd Bruder, Frank Steinicke. All Rights Reserved)

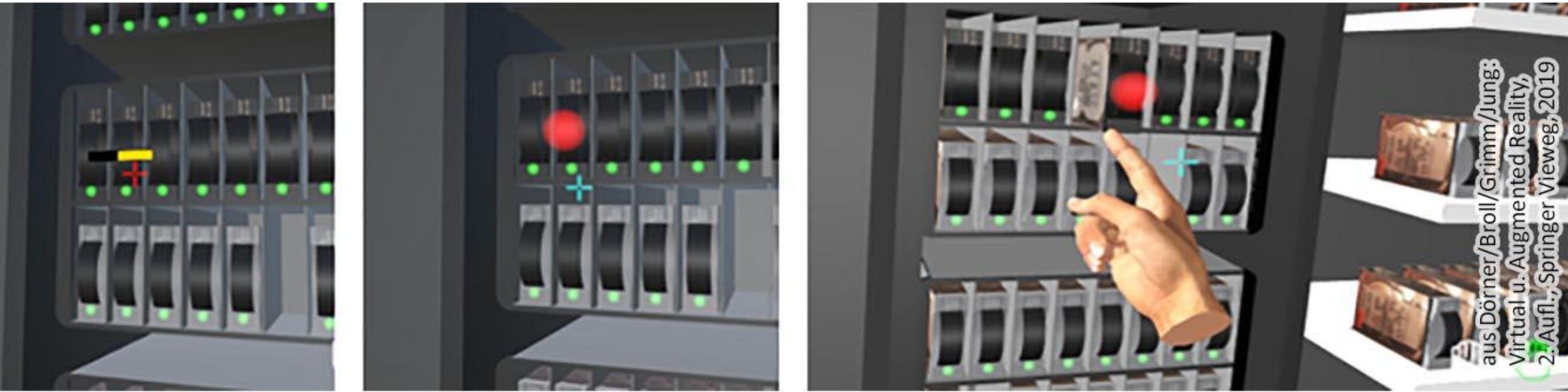


**Abb. 9.17** Ergebnisse der Distanz- und Größeneinschätzungen bei variiertem Sichtbereich (links) bzw. Augenabstand (rechts). (© Gerd Bruder, Frank Steinicke. All Rights Reserved)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality(VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.18** 3D-Festplattenmodell (links) im Vergleich zur Original-Festplatte (rechts).  
(© Raphael Zender, Universität Potsdam. All Rights Reserved)



**Abb. 9.19** Die Auswahl einer Festplatte erfolgt blickbasiert indem diese länger angeschaut wird (links). Dann ist sie selektiert (Mitte) und kann über eine „Greif“-Aktion (rechts) „herausgezogen“ werden.

(© Raphael Zender, Universität Potsdam. All Rights Reserved)



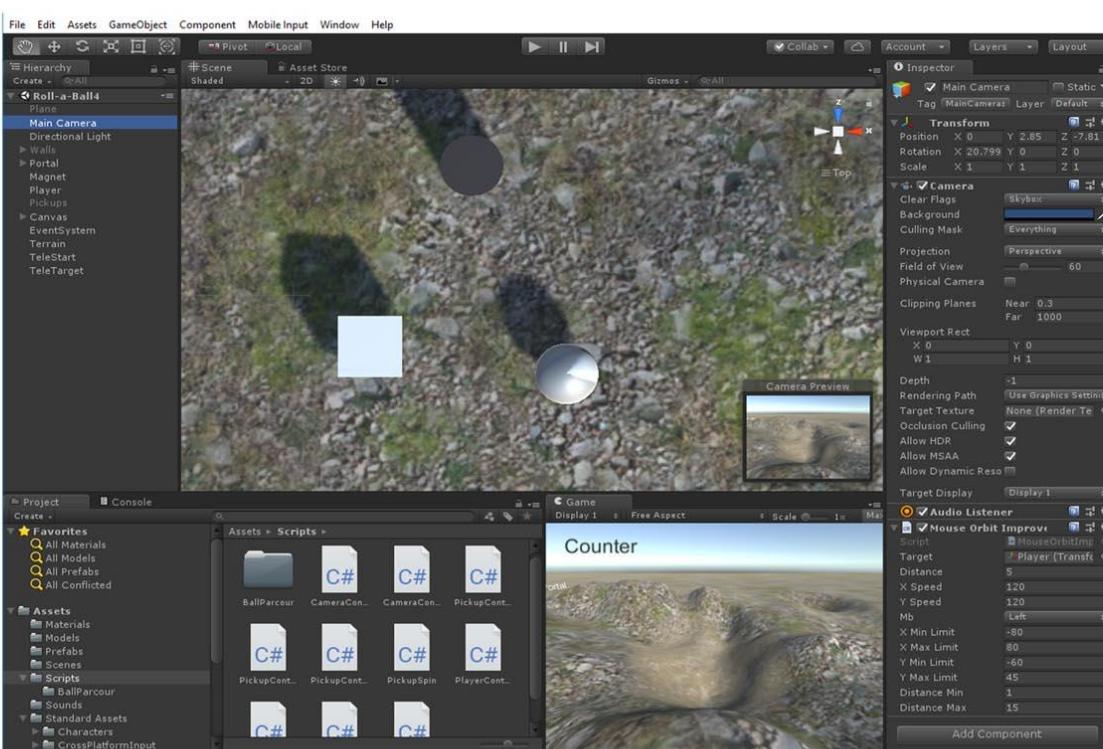
aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.20** Outdoor-Klettersimulation in Bodenhöhe.  
(© Christian Geiger, Hochschule Düsseldorf. All Rights Reserved)



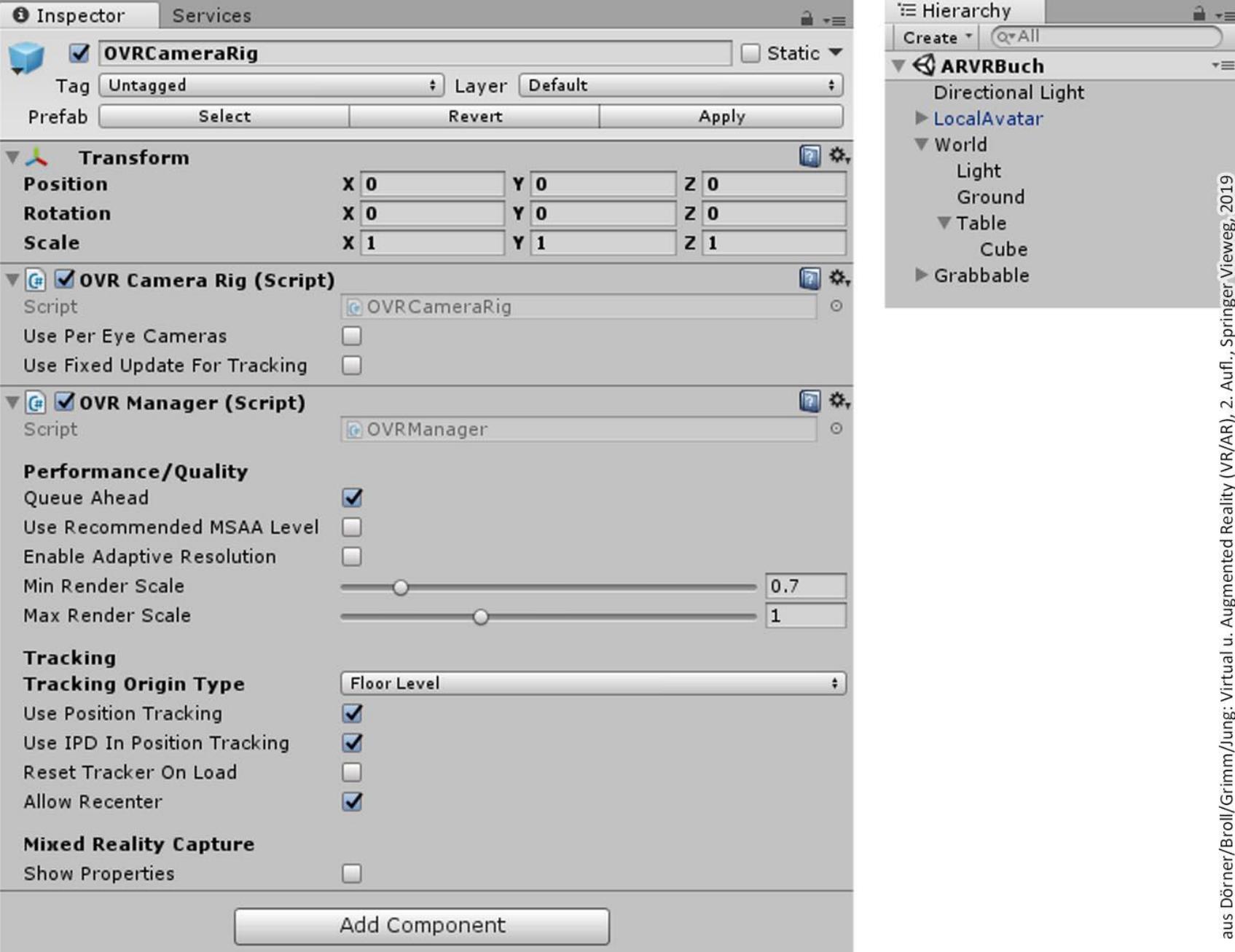
aus Dörner/Brol/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 9.21** Nutzer beim Einsammeln einer Kugel. Der Drohnenpilot zeigt mit dem virtuellen Laserpointer auf einen Stein und gibt Hinweise. Die Marker am Körper sind mit roten Kreisen markiert. Der Nutzer muss seine Hand auf die weiß umrandete Hand auf der Wand legen und die grünen Kugeln einsammeln, damit man am Ende in die Schatztruhe greifen kann. Jederzeit ist der Kletternde durch ein Seil gesichert, sodass keine Verletzungen entstehen. (© C. Geiger, Hochschule Düsseldorf. All Rights Reserved)



**Abb. 10.1** Benutzungsoberflächen von Unreal Engine (oben) und Unity (unten)

aus Dörner/Böll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: Virtual u. Augmented Reality (VR/AR), 2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 10.2** Links ein GameObject mit zwei zugewiesenen Skripten, rechts ein einfacher Beispielszenengraph

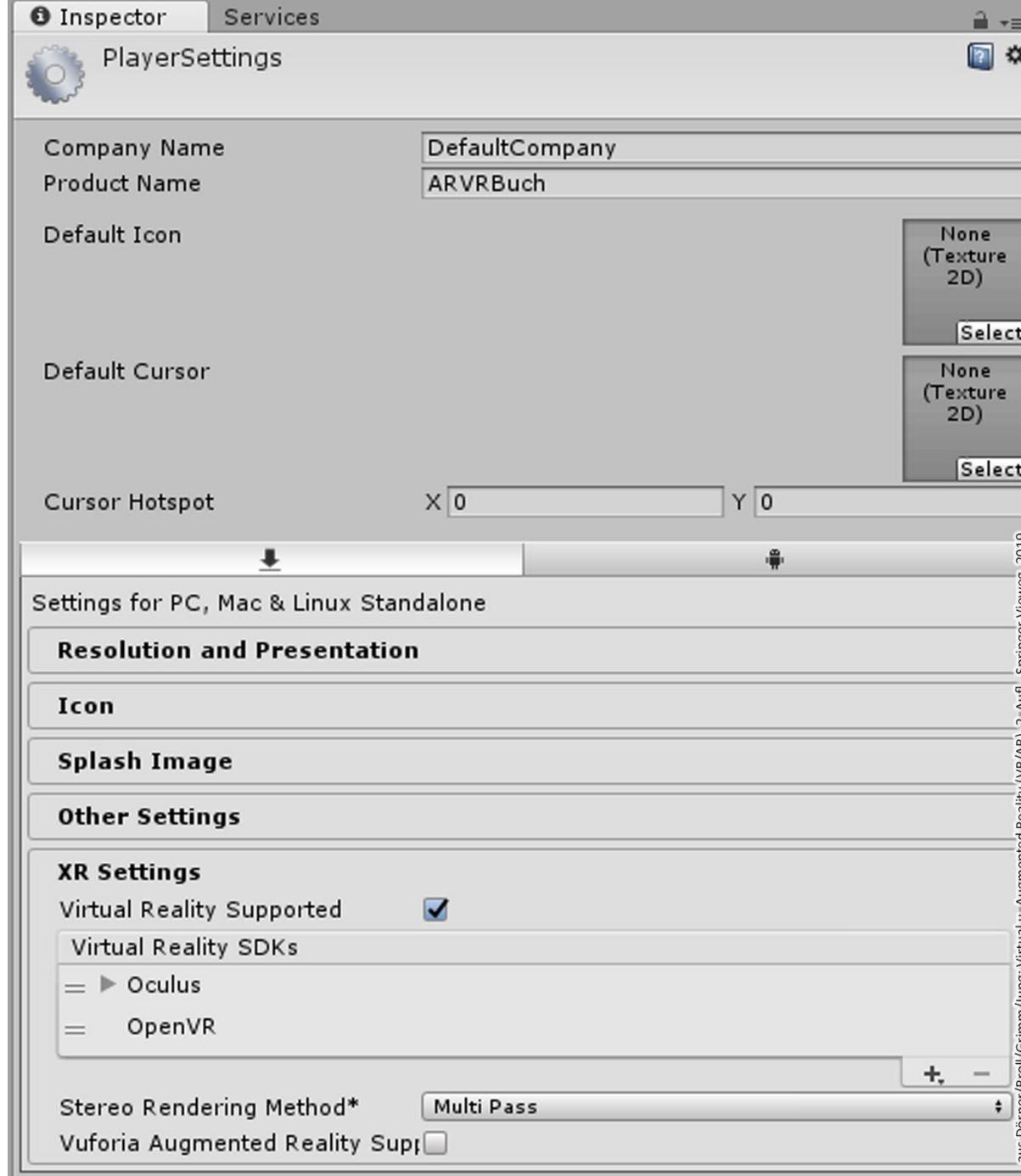
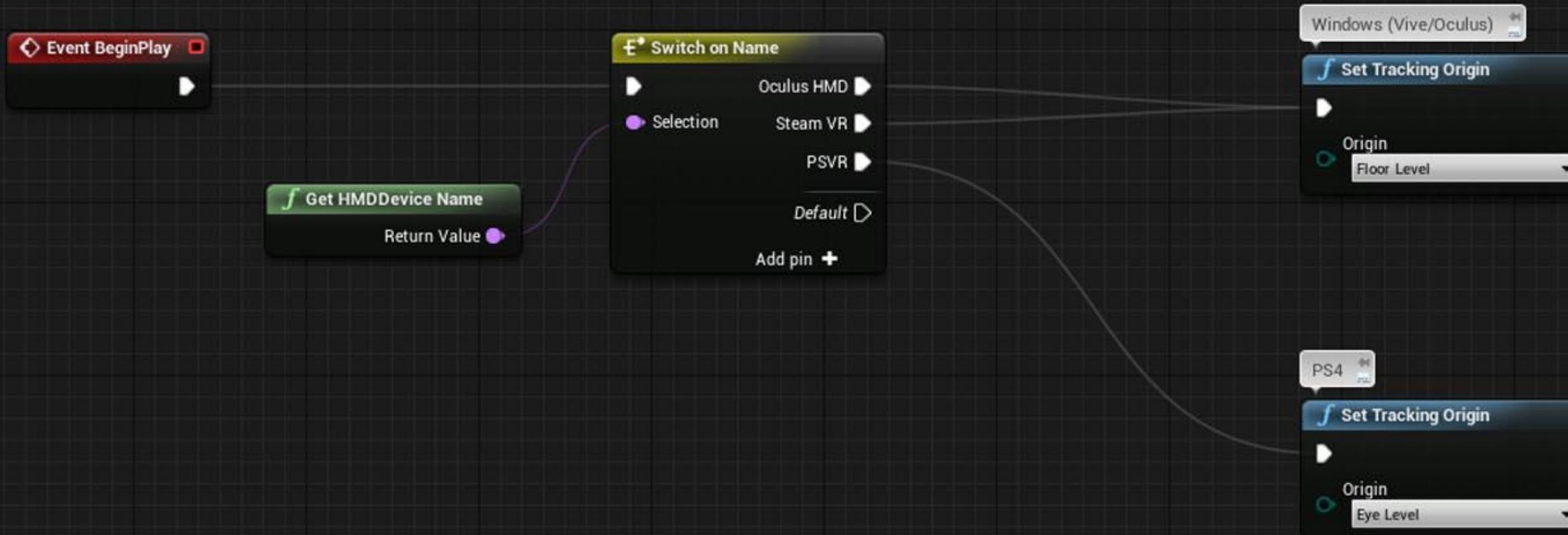
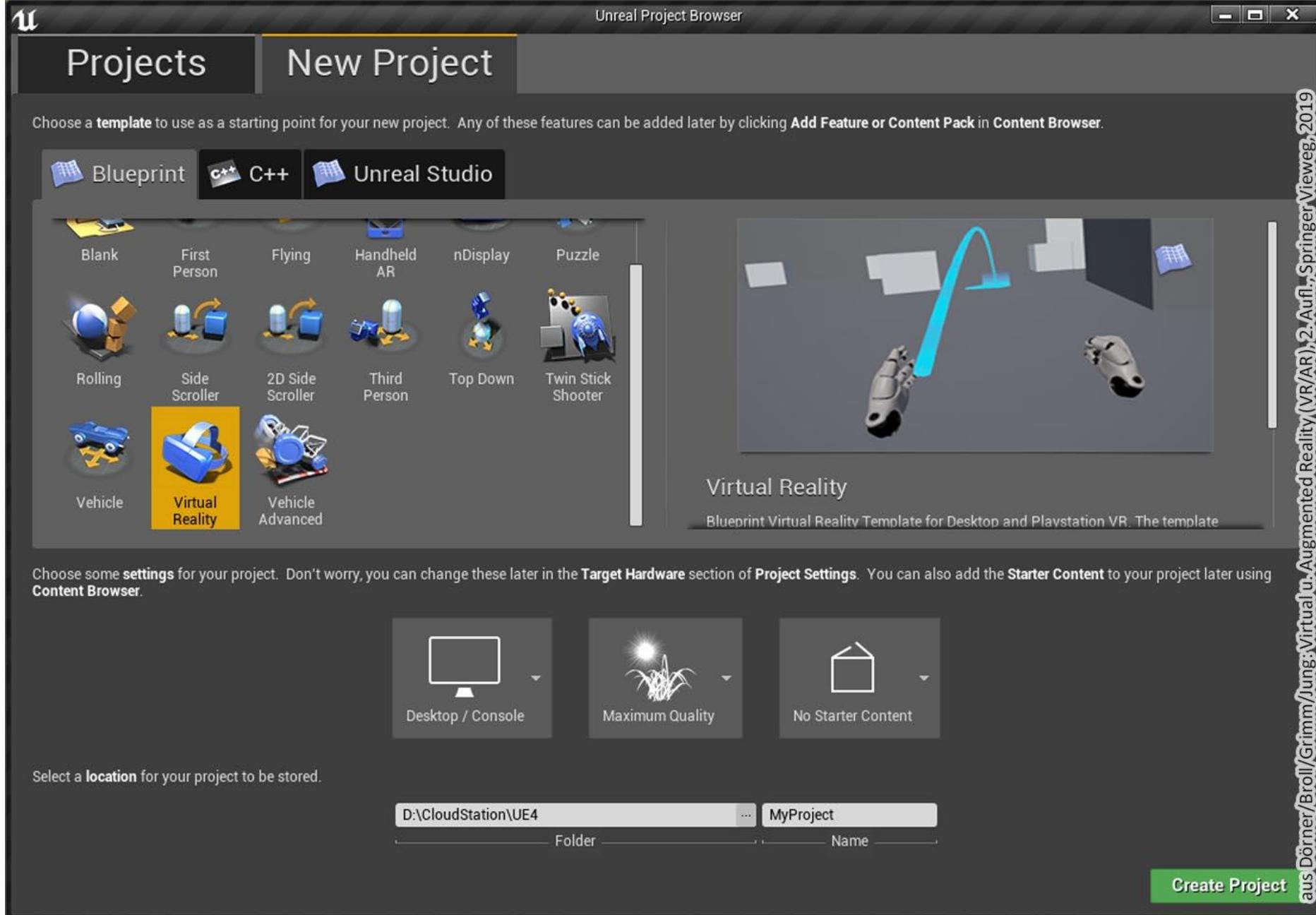


Abb. 10.3 Beispielansicht der PlayerSettings mit installiertem SteamVR und Oculus Home

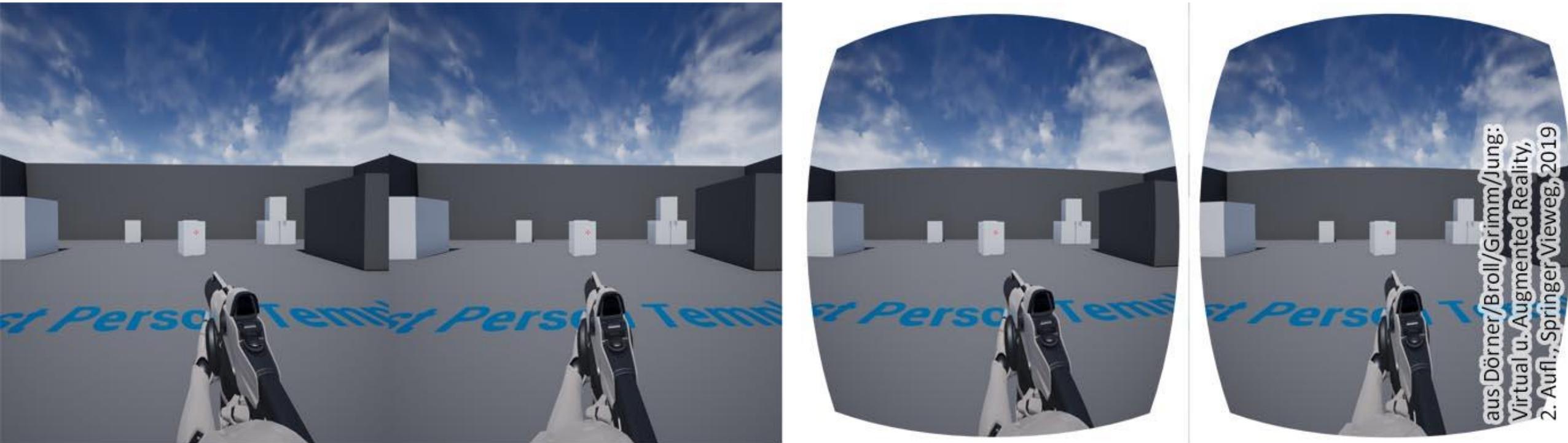
## Setup HMD Camera Height



**Abb. 10.4** Beispiel eines Blueprints der beim Start der Anwendung anhand des angeschlossenen VR-Headsets den Nullpunkt des Weltkoordinatensystems setzt



**Abb. 10.5** Launcher der Unreal Engine 4 mit unterschiedlichen Beispielprojekten (Blueprint-only, Blueprint und C++) für unterschiedliche Anwendungsfälle – unter anderem VR



**Abb. 10.6** Darstellung im VR-Preview-Modus in einem der mitgelieferten Beispielprojekte (links ohne, rechts mit perspektivischer Vorverzerrung für HMD)

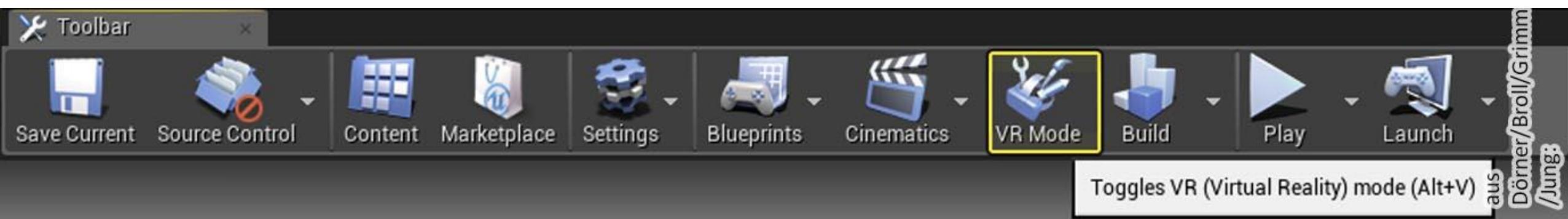
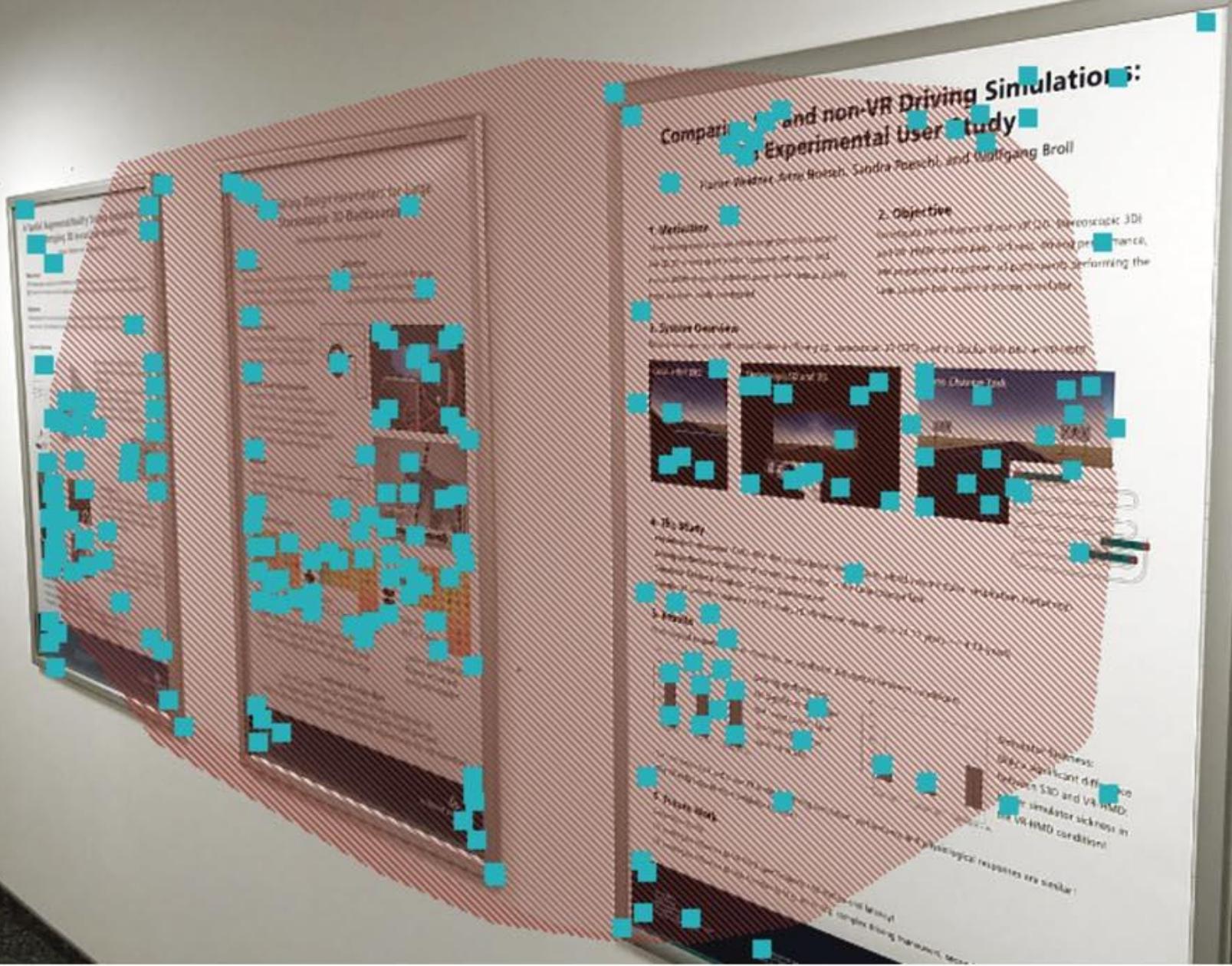


Abb. 10.7 Toolbar der Unreal Engine mit ausgewähltem VR Edit Mode

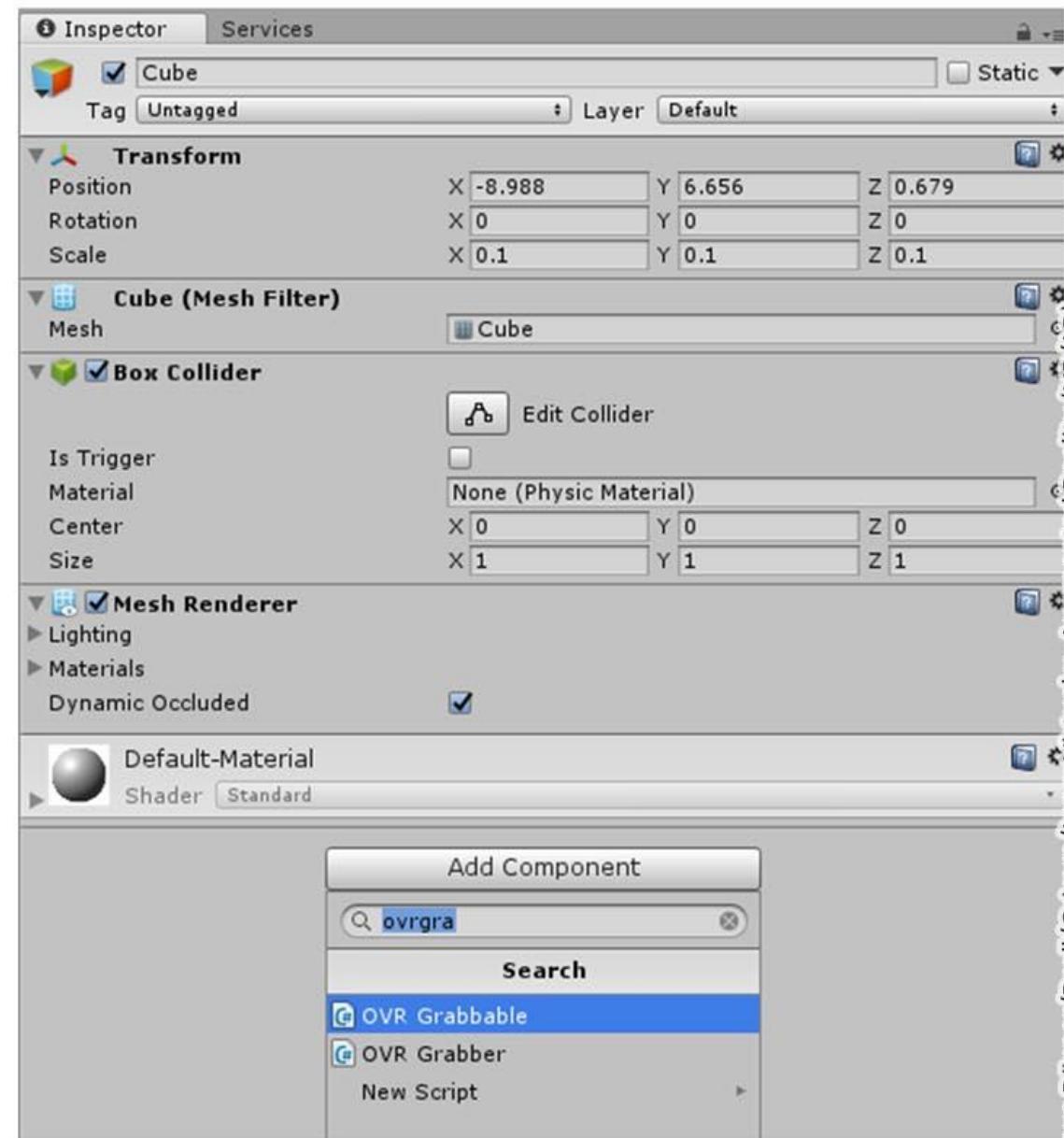
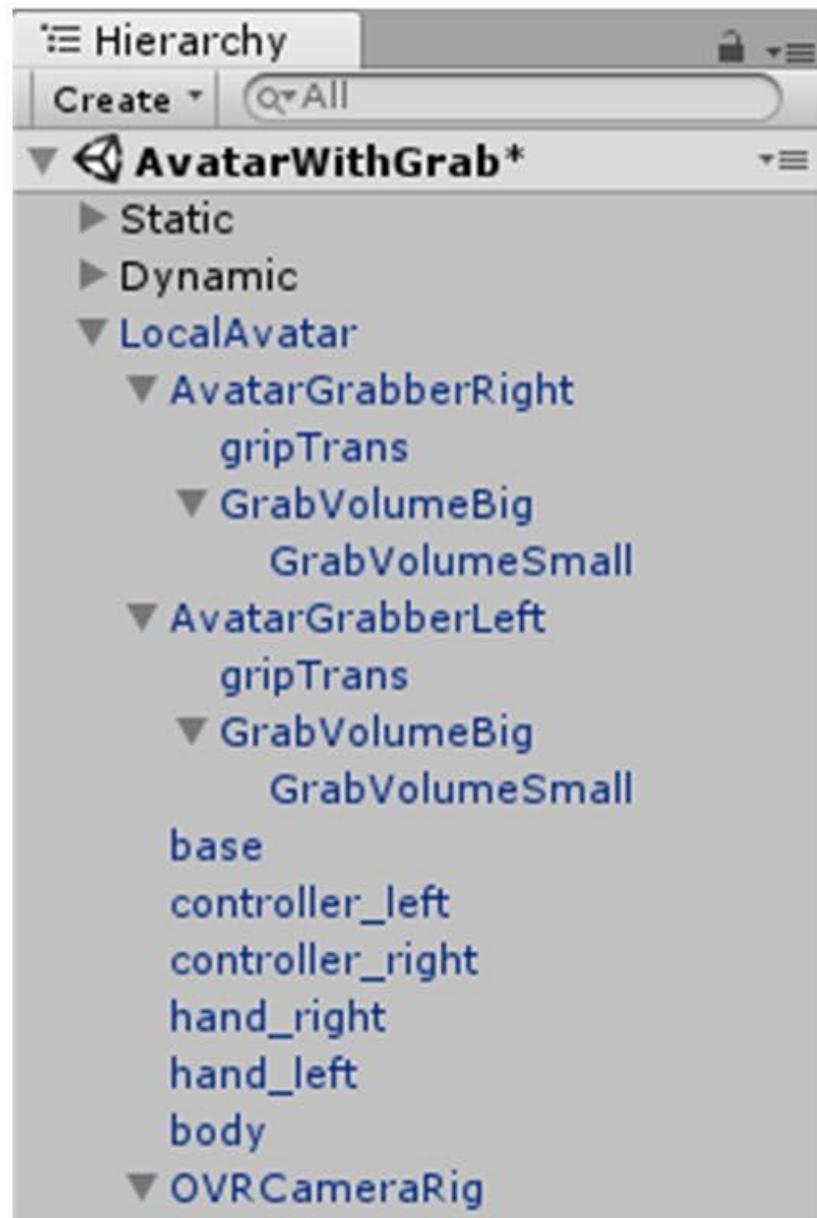


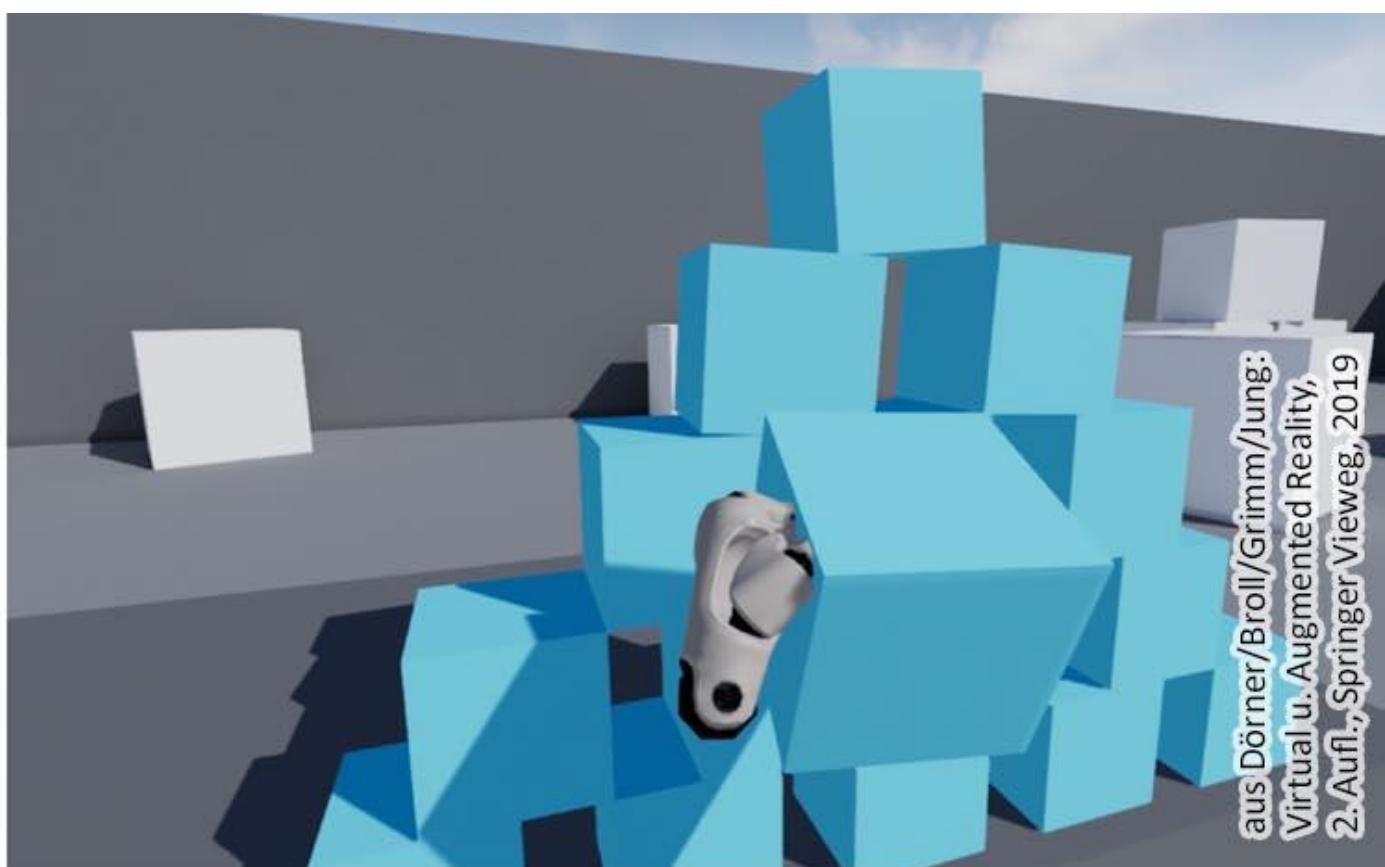
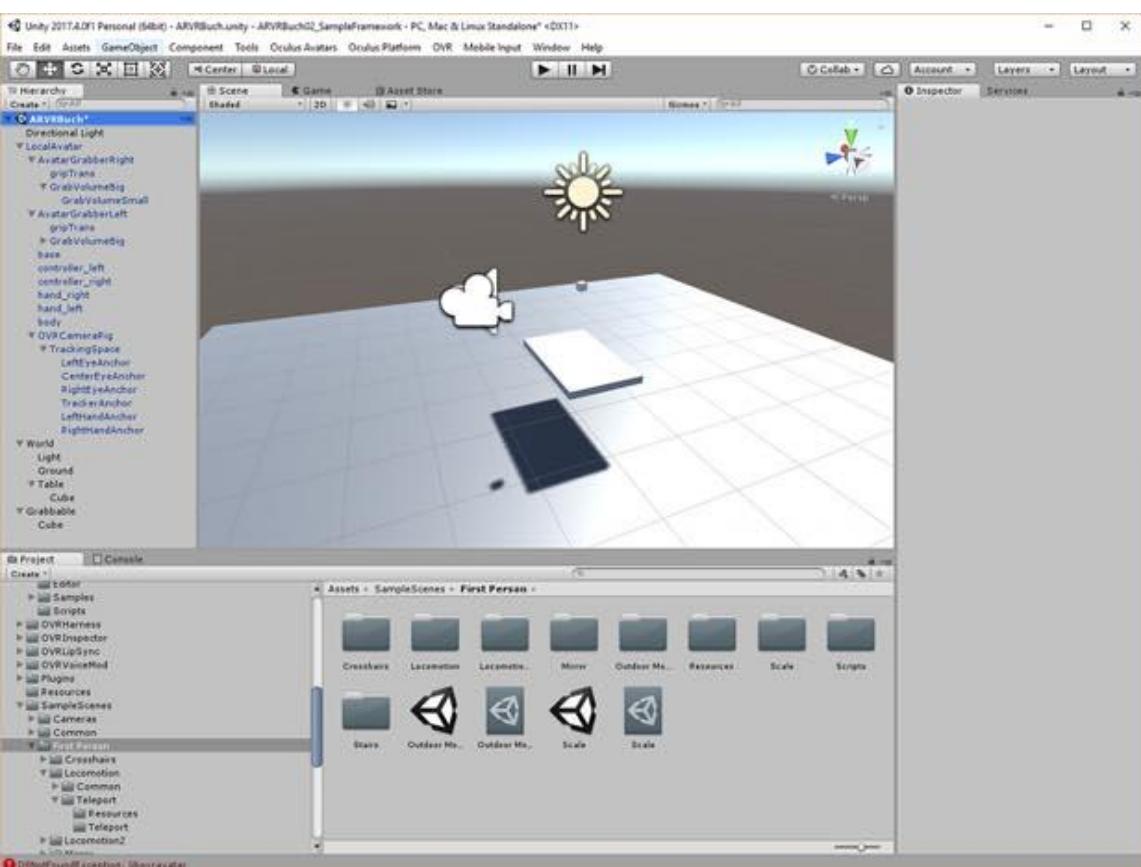
**Abb. 10.8** Detektion einer vertikalen planaren Ebene (rot) rekonstruiert auf Basis detekterter Ankerpunkte (Cyan)



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

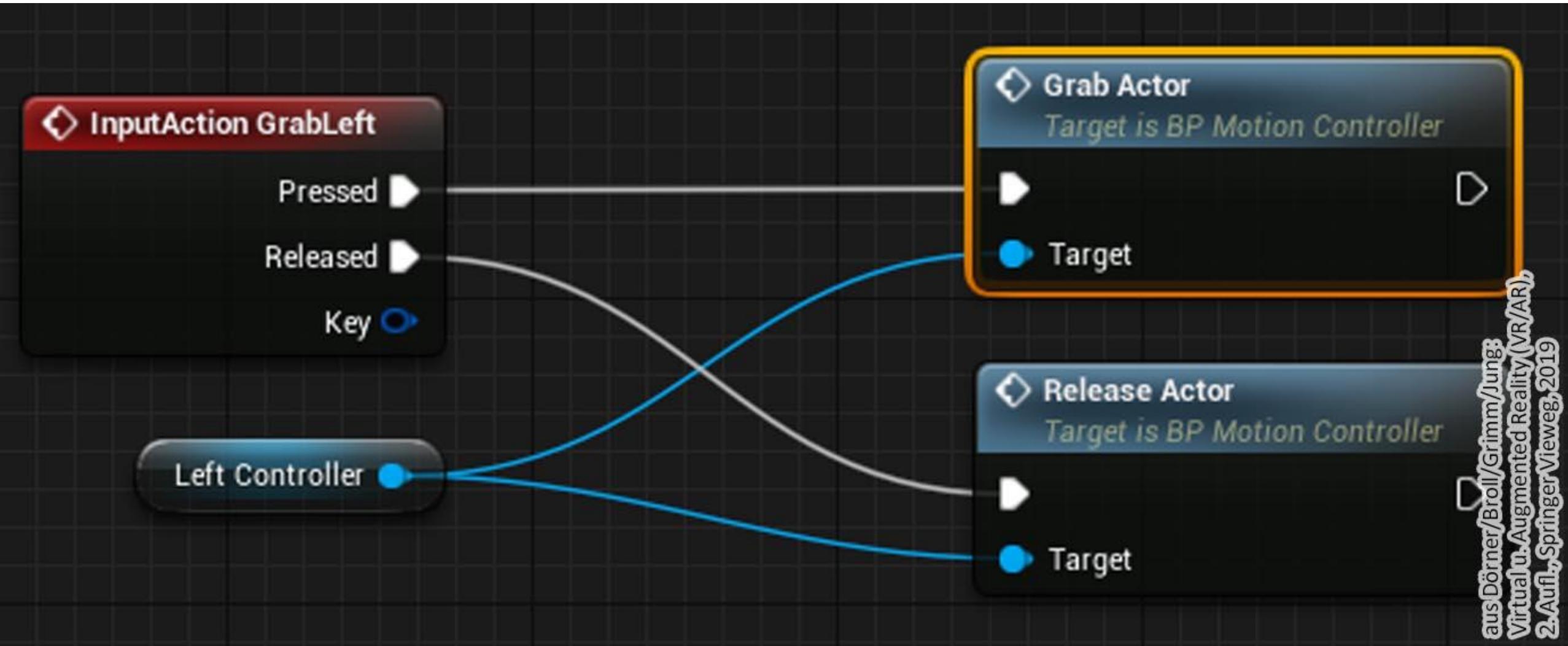
**Abb. 10.9** Darstellung der Beleuchtung in ARKit (links) und ARCore (rechts). Da ARKit generierte Umgebungsbeleuchtungen erzeugt, wirken insbesondere metallische Oberflächen realistischer als unter ARCore





aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 10.11** Links: Tischplatte mit Würfel, Kamera, Lichtquelle und Sonne in der Szene. Rechts: Finale Szene mit mehreren Würfeln



**Abb. 10.12** Ausschnitt eines hier verwendeten Blueprints zur Verarbeitung des Controller-Inputs

Details      World Settings

Search

World

Game Mode

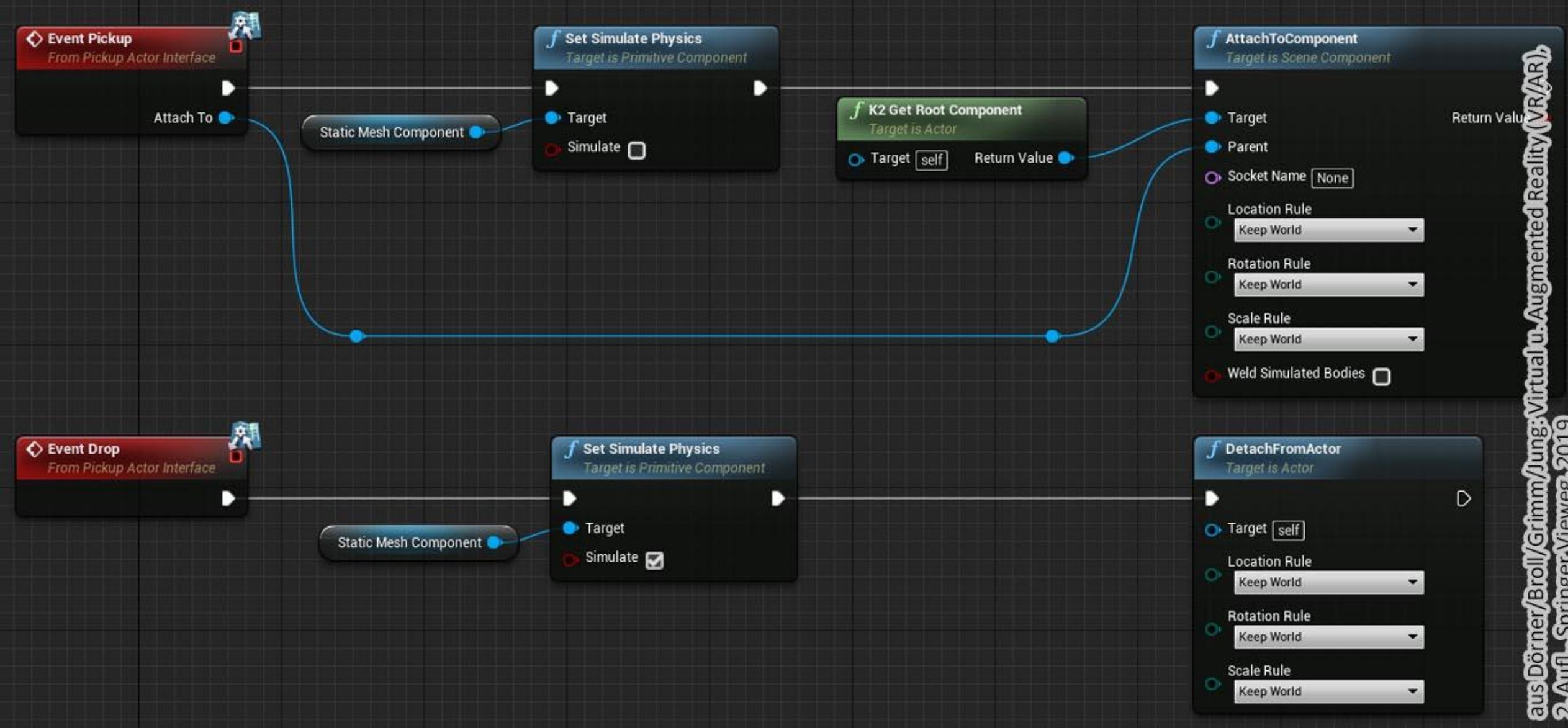
GameMode Override: ARVRGameMode

Selected GameMode

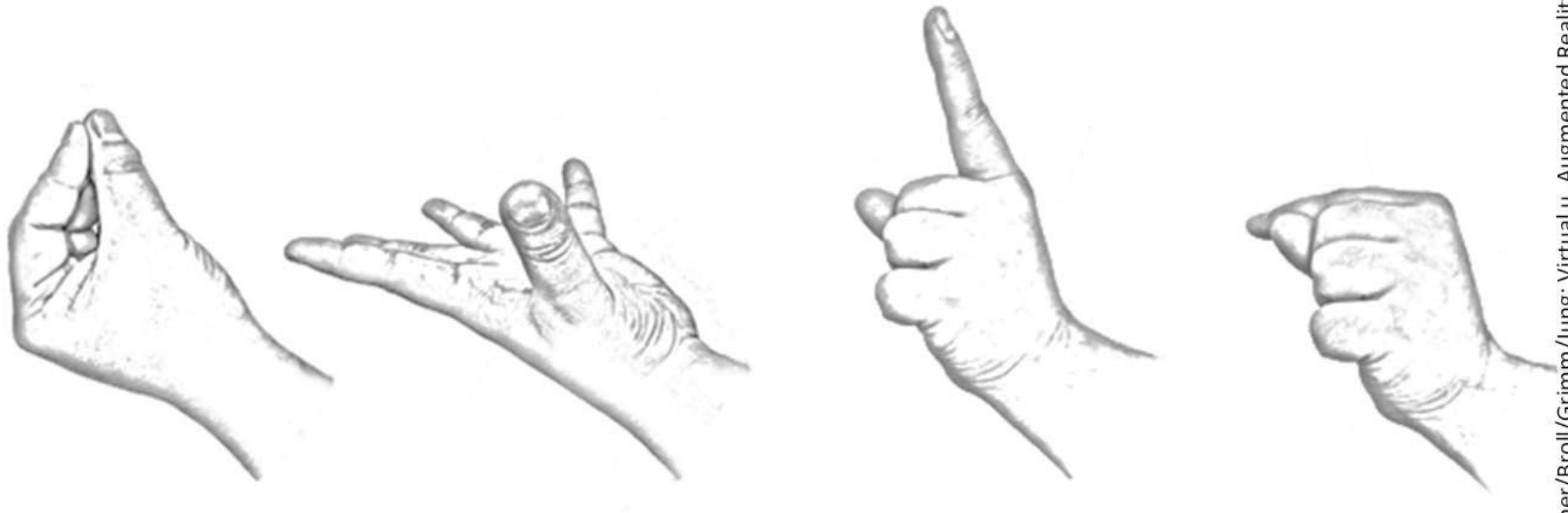
Default Pawn Class	MotionControllerPawn
HUD Class	HUD
Player Controller Class	PlayerController
Game State Class	GameStateBase
Player State Class	PlayerState
Spectator Class	SpectatorPawn

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung: „Virtual u. Augmented Reality (VR/AR),  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

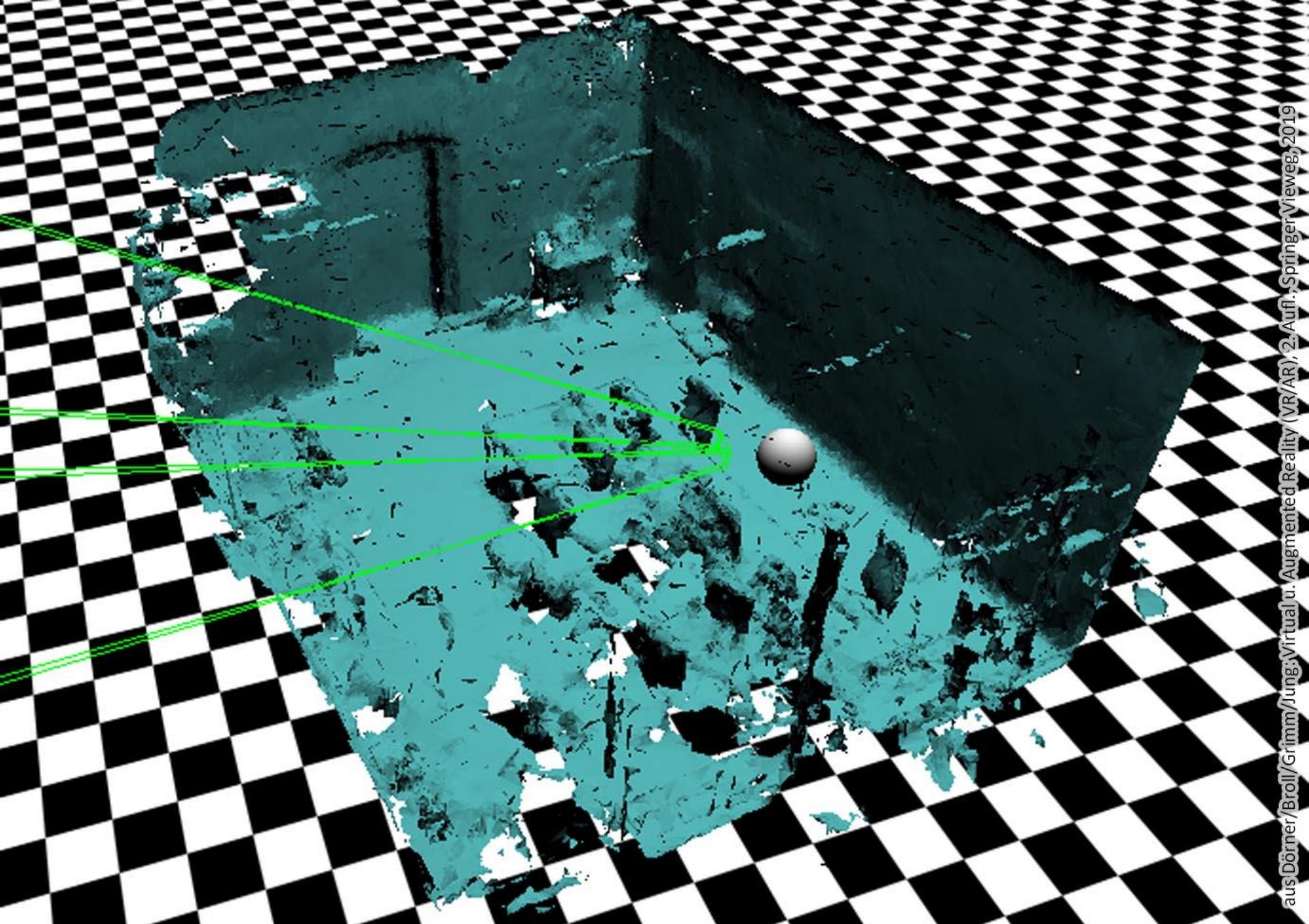
Abb. 10.13 Ansicht der World Settings für eine VR-Szene



**Abb. 10.14** Blueprint für das Greifen und Fallenlassen eines Objektes



**Abb. 10.15** Grundlegende Gesten zur Interaktion mit der HoloLens: Bloom-Geste (links) und Air-Tap-Geste (rechts)

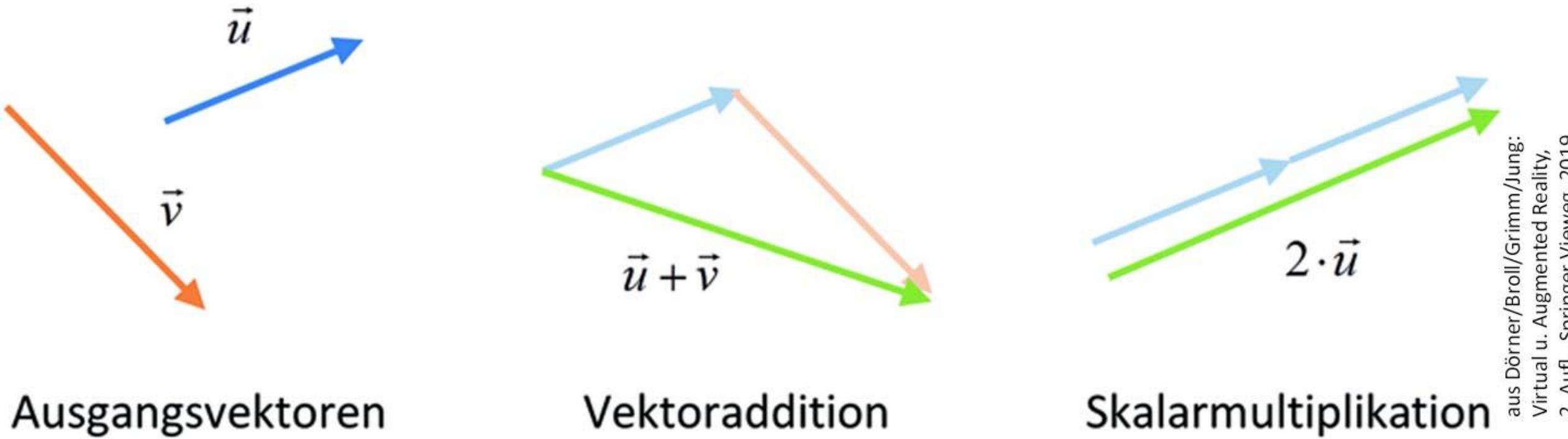


**Abb. 10.16** Visualisierung des Spatial Mapping im Device Portal



aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019

**Abb. 10.17** Darstellung von zwei unterschiedlich beleuchteten Szenen und des Einflusses der Beleuchtungssituation auf die Materialeigenschaften



**Abb. 11.1** Vektoraddition und Skalarmultiplikation an einem Beispiel

aus Dörner/Broll/Grimm/Jung:  
Virtual u. Augmented Reality,  
2. Aufl., Springer Vieweg, 2019