

**Erasmus+ Programm**

**KA2 STRATEGISCHE PARTNERSCHAFT  
„Die Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens durch  
Augmented Reality“  
SPACAR  
N° 2019-1-LT01-KA202-060471**

**DIE ENTWICKLUNG VON UNTERRICHTSMATERIALIEN -  
METHODIK**

**14/11/21**

Prof. Manuel Contero  
Universitat Politècnica de València



Dieses Werk und dessen Inhalte sind lizenziert unter [CC BY 4.0 Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

N° 2019-1-LT01-KA202-060471

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einführung .....	6
2. Räumliches Denken .....	6
3. Messung des räumlichen Denkens.....	11
3.1 Mental Cutting Test (MCT) .....	11
3.2 Mental Rotation Test (MRT).....	12
3.3 Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR) .....	12
3.4 Purdue Spatial Visualization Tests: Rotationen (PSVT: R) and its revised version .....	13
3.5 Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization (PSVT: V) .....	13
3.5 Purdue Spatial Visualization Tests: Development (PSVT: D).....	14
3.6 Test zur räumlichen Orientierung (SOT) .....	14
4. Pädagogischer Rahmen .....	15
4.1 Gestaltungsgrundsätze.....	18
4.2 Taxonomie der Übungen.....	18
4.3 Orientierung an der Struktur der Ergebnisse .....	19
5. Aufbau der Übungen .....	20
6. Rahmen für die Validierung.....	20
7. Referenzen .....	22
Anhang 1 Beispiele für Übungen.....	25
Beispiel-Übung 1 .....	26
Beispiel-Übung 2 .....	27
Beispiel-Übung 3 .....	29
Anhang 2 Praktischer Leitfaden für die Nutzung der SPACAR-Plattform und der mobilen App 31	
A2.1 Beschreibung der Plattform.....	32
A2.2 Kurs Management.....	33
A2.3 Management der Übung.....	36
A2.4 Nutzerverwaltung .....	38
A2.5 Nutzergruppen.....	40
A2.6 Mobile Anwendung.....	41
A2.7 Korrektur von 3D-Modellen .....	46

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1. Faktorstruktur der Domäne der visuellen Verarbeitung (GV) .....	7
Abbildung 2. Erweiterter Rahmen des Visualisierungsprozesses (GV) .....	10
Abbildung 3. Beispiel-Item für MCT .....	12
Abbildung 4. Beispiel-Item für MRT .....	12
Abbildung 5. Beispiel-Item für DAR:SR.....	13
Abbildung 6. Beispiel-Item für PSVT:R .....	13
Abbildung 7. Beispiel-Item für PSVT: V .....	14
Abbildung 8. Beispiel-Item für PSVT: D .....	14
Abbildung 9. Test-Item für räumliche Orientierung.....	15
Abbildung 10. Konzeption des Tests .....	21
Abbildung 11. Kursmanagement der Plattform .....	32
Abbildung 12. Anmeldebildschirm und Menü für die Sprachauswahl.....	33
Abbildung 13. Kurse auf der Plattform .....	33
Abbildung 14. Daten für die Kurserstellung.....	34
Abbildung 15. Bearbeitung der Kursdaten.....	34
Abbildung 16. Bearbeitung der Kursdaten (II) .....	35
Abbildung 17. Teil der linken Seitenleiste.....	35
Abbildung 18. Beschreibung der Übung .....	36
Abbildung 19. Bearbeitung von Informationen zur Übung.....	37
Abbildung 20. Beschreibung einer Übung.....	37
Abbildung 21 Kontrolle der angehängten Dateien in einer Übung.....	38
Abbildung 22. Users' tab .....	39
Abbildung 23. Fenster zur Benutzerdefinition .....	39
Abbildung 24. Aktionen für Nutzer .....	39
Abbildung 25. Bearbeitung von Nutzerdaten .....	40
Abbildung 26. Startbildschirm und Anmeldeformular .....	41
Abbildung 27. Passwort wiederherstellen .....	42
Abbildung 28. Language selection .....	42
Abbildung 29. Freischalten eines Kurses.....	43
Abbildung 30. Einen Kurs öffnen.....	43
Abbildung 31. Einen Kurs löschen .....	44
Abbildung 32: Übungsauswahl (links) und Bildergalerie einer Übung (rechts) .....	44
Abbildung 33. Ressourcendatei.....	45
Abbildung 34. Galerie .....	45
Abbildung 35. Beispiel einer 3D-Visualisierung .....	45
Abbildung 36. Augment Reality-Visualisierung.....	46

Abbildung 37. QR-Code für alle Kurse.....	46
Abbildung 38. Musterteile für das Training. ....	47
Abbildung 39. Importieren einer Datei in Blender.....	47
Abbildung 40. Transformieren in Blender.....	48
Abbildung 41. Objektdateneigenschaften in Blender .....	48
Abbildung 42. Auswahl des Bearbeitungsmodus in Blender .....	49
Abbildung 43. Auswahl der Kanten.....	49
Abbildung 44. Ausgewählte Kanten .....	50
Abbildung 45. Befehl zur Kantenaufteilung .....	50
Abbildung 46. Festgelegtes Modell.....	51

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1. Teilfaktoren der visuellen Verarbeitung (Gv) .....	7
Tabelle 2. Teilfaktoren, die derzeit nicht in der CHC-Theorie vertreten sind .....	8
Tabelle 3. Teilfaktoren, die durch die SPACAR-Übungen verbessert werden können .....	10
Tabelle 4. Struktur der originalen Bloom'sche Taxonomie im kognitiven Bereich.....	16
Tabelle 5. Bloom'sche Taxonomie im Technischen Zeichnen.....	16
Tabelle 6. Nutzerarten und ihre Berechtigungen.....	40

## 1. Einführung

Aus wissenschaftlicher Sicht wurde die Entwicklung des räumlichen Denkens von vielen Autoren als Schlüsselfaktor in vielen naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen angeführt und anerkannt (Metz et al., 2012; Wai et al., 2009). Studien zeigen immer wieder, dass gutes räumliches Denken in direktem Zusammenhang mit dem Erfolg in Wissenschaft, Technik, Ingenieurwesen und Mathematik steht (Adanez & Velasco, 2002; Sorby, 1990; Strong & Smith, 2001; Xiao et al., 2018).

Obwohl sich viele Lehrkräfte immer noch hauptsächlich auf Vorlesungen, traditionelle Lehrmethoden und Laborübungen beschränken, zeigt die wachsende Zahl empirischer Untersuchungen, dass das Verständnis komplexer Sachverhalte durch theoretische Vorlesungen nicht unbedingt gefördert wird (Terenzini & Pascareua, 1994). Der Lernerfolg kann hingegen erhöht werden, wenn die Lehrkräfte interaktive (Arafah & Levin, 2003) und schülerzentrierte Lehrstrategien einsetzen und sich die Vorteile moderner Technologien zunutze machen (Kolb, 2014). Wie Millar (2003) feststellt, setzt ein guter Unterricht ständige kreative Maßnahmen voraus. In dieser Hinsicht bietet die Augmented Reality (AR)-Technologie eine attraktive und ansprechende Ressource zur Ergänzung und Verbesserung traditioneller Lehrmethoden, die in der Regel auf Übungen mit Stift und Papier basieren. Gleichzeitig wird die Entwicklung von Fähigkeiten zur Visualisierung, Selbsteinschätzung und zum selbstgesteuerten Lernen gefördert (Chen et al., 2011; Martín-Gutiérrez et al., 2010).

## 2. Räumliches Denken

Räumliches Denken als wesentliche Komponente der menschlichen Intelligenz ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen in der Psychologie. Es finden sich in der Literatur verschiedene Ansätze und Klassifizierungen, um dies zu analysieren. Einige Autoren (Linn & Petersen, 1985; Lohman & Kyllonen, 1983) unterteilen räumliches Denken in mehrere Teilfähigkeiten, die sich jeweils auf unterschiedliche Aspekte beziehen: "Spatial Relation - räumliche Beziehung" ist die Fähigkeit, die Position von zwei oder mehr Objekten im Raum relativ zu sich selbst und in Bezug zueinander wahrzunehmen (Thurstone, 1938); "Spatial Visualization - räumliche Visualisierung" bezieht sich auf die Fähigkeit, in drei Dimensionen zu denken und insbesondere zwei- und dreidimensionale Objekte gedanklich zu bewegen; "Spatial Orientation - räumliche Orientierung" bezieht sich auf die Fähigkeit, die Position oder Richtung von Objekten oder Punkten im Raum zu identifizieren.

Andere Autoren (Olkun, 2003; Pellegrino et al., 1984) vereinfachen diese Klassifizierung, indem sie sie auf nur zwei Kategorien beschränken: "Räumliche Beziehungen", die die zuvor beschriebenen räumlichen Beziehungen und räumlichen Orientierungen umfassen, und "Räumliche Visualisierung" als gedankliche Verarbeitung und Einbeziehung von Anregungen, die aus mehr als einem Teil oder beweglichen Teilen bestehen. Dabei kommt es in der Regel zu Bewegungen zwischen den einzelnen Teilen einer komplexen Anordnung und/oder zum Falten und Entfalten von flachen Mustern. In Anlehnung an die neuesten Ansätze auf dem Gebiet der Forschung zur menschlichen

Intelligenz wird die räumliche Fähigkeit aus der Perspektive der allgemeinen Psychologie als ein Faktor zweiter Ordnung mit der Bezeichnung "**Visuelle Verarbeitung**" (Gv) identifiziert, dessen Struktur der Teilfaktoren in Abbildung 1 dargestellt ist.

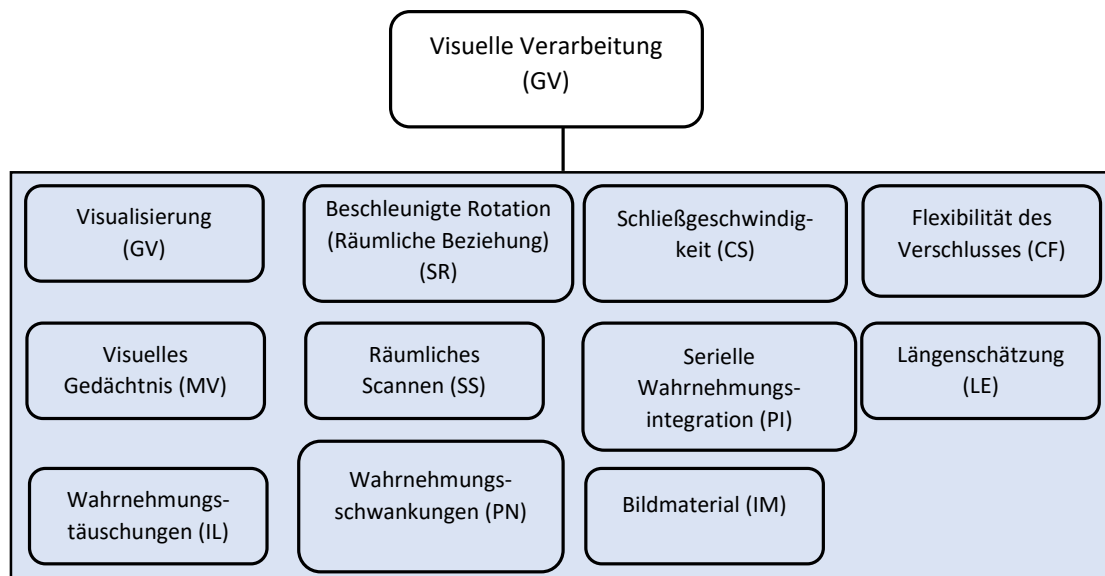


Abbildung 1. Faktorstruktur der Domäne der visuellen Verarbeitung (GV) aus der CHC-Theorie (Buckley et al., 2019)

Das Cattell-Horn-Carroll Modell, kurz CHC-Modell (Schneider & McGrew, 2012), ist ein Ergebnis der Entwicklung von Intelligenztheorien. Diese fassen die allgemein messbare Intelligenz als Ergebnis mehrerer Faktoren auf, die sich gegenseitig positiv verstärken. Visuelle Verarbeitung (Gv) ist die Fähigkeit, simulierte mentale Bilder (oft in Verbindung mit aktuell wahrgenommenen Bildern) zur Problemlösung zu nutzen. Die detaillierte Struktur der Teilfaktoren ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1. Teilfaktoren der visuellen Verarbeitung (Gv) (Schneider & McGrew, 2012)

Teilfaktor	Definition
Visualisierung (Vz)	Die Fähigkeit, komplexe Muster wahrzunehmen und mental zu simulieren, wie sie transformiert aussehen könnten (z. B. gedreht, in der Größe verändert, teilweise verdeckt)
Beschleunigte Rotation (räumliche Beziehungen) (SR)	Die Fähigkeit, Probleme durch die mentale Rotation einfacher Bilder schnell zu lösen
Schließgeschwindigkeit (CS)	Die Fähigkeit, ein vertrautes und bedeutungsvolles visuelles Objekt schnell aus unvollständigen (z. B. vagen, teilweise verdeckten, unzusammenhängenden) visuellen Reizen zu

	identifizieren, ohne im Voraus zu wissen, um welches Objekt es sich handelt
Flexibilität des Verschlusses (CF)	Die Fähigkeit, eine visuelle Figur oder ein Muster zu identifizieren, die in ein komplexes ablenkendes oder verschleiertes visuelles Muster oder eine Anordnung eingebettet sind, wenn man im Voraus weiß, was das Muster ist
Visuelles Gedächtnis (MV)	Die Fähigkeit, sich komplexe Bilder über kurze Zeiträume (weniger als 30 s) zu merken
Räumliches Scannen (SS)	Die Fähigkeit, einen Weg aus einem Labyrinth oder einem Feld mit vielen Hindernissen zu visualisieren
Serielle Wahrnehmungsintegration (PI)	Die Fähigkeit, ein Objekt zu erkennen, nachdem nur Teile davon in schneller Folge angezeigt werden
Längenschätzung (LE)	Die Fähigkeit, die Länge von Objekten visuell abzuschätzen
Wahrnehmungstäuschungen (IL)	Die Fähigkeit, sich nicht von visuellen Täuschungen täuschen zu lassen
Wahrnehmungswechsel (PN)	Konsistenz in der Wechselfrequenz zwischen verschiedenen visuellen Wahrnehmungen
Bildmaterial (IM)	Die Fähigkeit, mental sehr lebendige Bilder zu produzieren

Other researchers in the last years have added moving or dynamic stimuli when considering the analysis of spatial ability. Besides, in Tabelle 2 there is a list of other potential subfactors considered by other researchers relate to visual processing (Gv) not included in the CHC theory, organized graphically in

Abbildung 2.

*Tabelle 2.* Teilfaktoren, die derzeit nicht in der CHC-Theorie vertreten sind (Schneider & McGrew, 2012)

Teilfaktor	Definition
Räumliche Beziehungen	Die Fähigkeit, Probleme durch die mentale Rotation komplexer Bilder in einer relativ ungeplanten Situation zu lösen
Räumliche Orientierung (SO)	Das Verständnis der Anordnung von Elementen innerhalb eines visuellen Reizmusters, die Fähigkeit, von den wechselnden Orientierungen, in denen eine räumliche Konfiguration dargestellt werden kann, nicht verwirrt zu bleiben und die Fähigkeit, die räumliche Orientierung in



	Bezug auf den eigenen Körper zu bestimmen (McGee <a href="#">1979</a> , S.897)
Bildqualität	Die Fähigkeit, ein mentales Bild zu erzeugen, Details zum Bild hinzuzufügen und/oder zu entfernen, das Bild auf bestimmte Weise zu drehen, zu pflegen und zu transformieren (Burton und Fogarty 2003 , S.310)
Bildgeschwindigkeit	Die Effizienz der Prozesse, die an der Erzeugung, Aufrechterhaltung und Transformation mentaler Repräsentationen beteiligt sind (Burton und Fogarty 2003, S.311)
Form- und Richtungsillusionen	Diese Gruppierung umfasst überwiegend Verzerrungen der scheinbaren Form, Parallelität und Kollinearität, die in Mustern mit zahlreichen sich kreuzenden Linienelementen aufzutreten scheinen. Charakteristisch für diese Klasse sind die Illusionen von Poggendorff, Wundt und Zöllner (Coren et al. 1976, S.134)
Größenkontrast-Illusionen	Diese Klassifikation... stellt jene illusorischen Verzerrungen dar, bei denen die scheinbare Größe eines Elements von der Größe anderer Elemente beeinflusst zu werden scheint, die es umgeben oder seinen Kontext bilden. Die Illusionen von Delboeuf, Ebbinghaus, Jastrow und Ponzo sind charakteristisch für die Illusionen über diesen Faktor (Coren et al. 1976, S.134)
Überschätzungsillusionen	[Diese] Gruppierung [ist] auf der Grundlage der Verhaltensmanifestation, die nicht sofort auf einen zugrunde liegenden Mechanismus hinweist, sondern auf ein Muster der Wechselbeziehung. Zu den Illusionen mit den höchsten Belastungen dieses Faktors gehören alle scheinbar längeren Versionen der Mueller-Lyer-Illusion, beide Teile der Baldwin-Illusion, das scheinbar längere Segment der horizontal-vertikalen Illusion und das scheinbar längere Segment der Oppel-Kundt Illusion (Coren et al. 1976, S.134)
Unterschätzung Illusionen	[Dieser Faktor] umfasst die meisten der scheinbar kürzeren Abschnitte der Mueller-Lyer-Illusion, den anscheinend kürzeren Abschnitt der Oppel-Kundt-Illusion und die horizontal-vertikalen Illusionen, er scheint ein Faktor zu sein, der die Ergänzung zu [Überschätzungsillusionen] ist, repräsentiert überwiegend Unterschätzungen der linearen Ausdehnung (Coren et al. 1976, S.135)
Bezugsrahmen Illusionen	[Dieser Faktor beinhaltet] den Vergleich eines Elements mit seinem globalen Bezugsrahmen... Illusionen wie der Stab- und-Rahmen sollten in diese Klassifikation fallen (Coren et al. 1976, S.135)
Richtungsurteil	Die Fähigkeit zur Ausführung von Aufgaben, die die Vorhersage von Richtungen beinhalten (Colom et al., 2002)

Geschwindigkeitsbeurteilung	Die Fähigkeit zur Durchführung von Aufgaben, die die Vorhersage der Zielzeit von sich bewegenden Objekten beinhalten (Colom et al., 2002)
Bewegungserkennung	Die Fähigkeit, kaum sichtbare Bewegungen eines Objekts zu erkennen und die Richtung dieser Bewegung zu bestimmen (Roff 1952, S.4).
Dynamisches visuelles Gedächtnis	Die Fähigkeit, sich komplexe dynamische Bilder über kurze Zeiträume (weniger als 30 s) zu merken
Dynamische serielle Wahrnehmungsintegration	Die Fähigkeit, ein dynamisches Objekt zu erkennen, nachdem nur Teile davon in schneller Folge angezeigt werden
Dynamisches räumliches Scannen	Die Fähigkeit, einen Weg aus einem dynamischen Labyrinth oder einem Feld mit vielen Hindernissen zu visualisieren
Dynamische Wahrnehmungswechsel	Konsistenz in der Wechselgeschwindigkeit zwischen verschiedenen visuellen Wahrnehmungen eines dynamischen Reizes

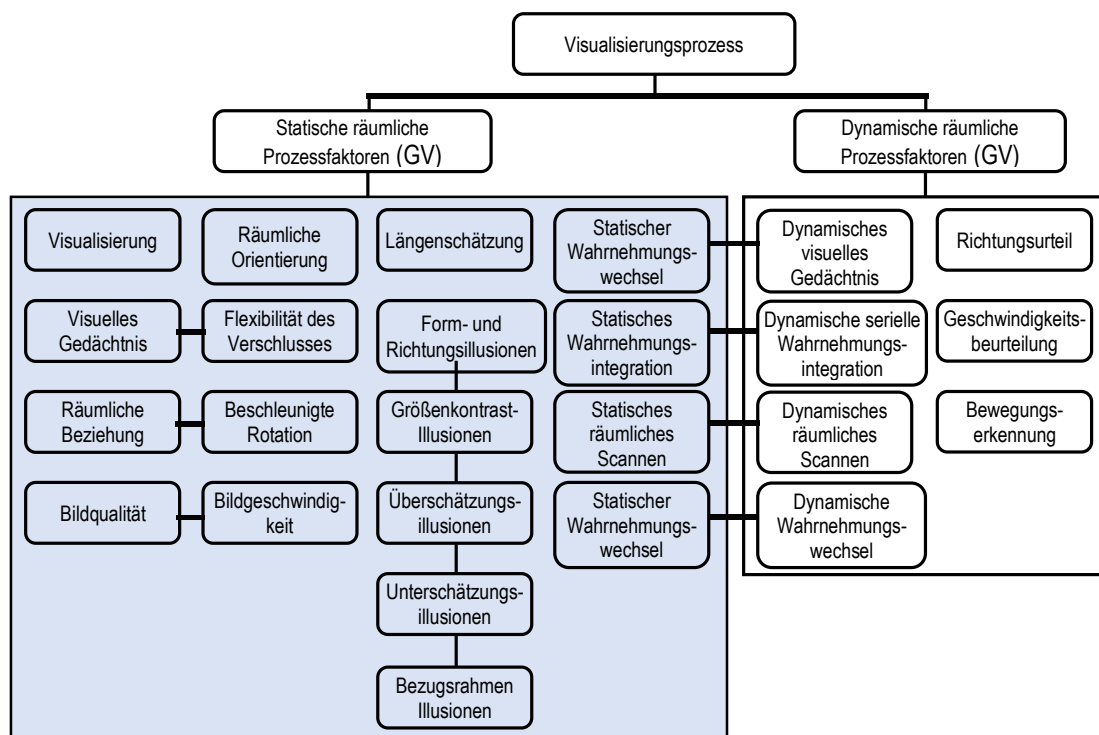


Abbildung 2. Erweiterter Rahmen des Visualisierungsprozesses (Gv)  
(Buckley et al., 2019)

Im Zusammenhang mit dem SPACAR-Projekt werden die zu entwickelnden Ressourcen die Verbesserung der statischen Faktoren unterstützen. Innerhalb dieser Faktoren wird der potenzielle Nutzen von Ausbildungs-/Lernaktivitäten die Teilfaktoren beeinflussen, die in Tabelle 3 dargestellt sind.

Tabelle 3. Teilfaktoren, die durch die SPACAR-Übungen verbessert werden können

Teilfaktoren	Definition
Visualisierung (Vz)	Die Fähigkeit, komplexe Muster wahrzunehmen und mental zu simulieren, wie sie transformiert aussehen könnten (z. B. gedreht, in der Größe verändert, teilweise verdeckt)
Beschleunigte Rotation	Die Fähigkeit, Probleme durch die mentale Rotation einfacher Bilder schnell zu lösen
Schließgeschwindigkeit (CS)	Die Fähigkeit, ein vertrautes und bedeutungsvolles visuelles Objekt schnell aus unvollständigen (z. B. vagen, teilweise verdeckten, unzusammenhängenden) visuellen Reizen zu identifizieren, ohne im Voraus zu wissen, um welches Objekt es sich handelt
Visuelles Gedächtnis (MV)	Die Fähigkeit, sich komplexe Bilder über kurze Zeiträume (weniger als 30 s) zu merken
Räumliches Scannen (SS)	Die Fähigkeit, einen Weg aus einem Labyrinth oder einem Feld mit vielen Hindernissen zu visualisieren
Räumliche Beziehungen	Die Fähigkeit, Probleme durch die mentale Rotation komplexer Bilder in einer relativ ungeplanten Situation zu lösen
Räumliche Orientierung (SO)	Das Verständnis der Anordnung von Elementen innerhalb eines visuellen Reizmusters, die Fähigkeit, von den wechselnden Orientierungen, in denen eine räumliche Konfiguration dargestellt werden kann, nicht verwirrt zu bleiben und die Fähigkeit, die räumliche Orientierung in Bezug auf den eigenen Körper zu bestimmen (McGee 1979, S.897)
Bildqualität	Die Fähigkeit, ein mentales Bild zu erzeugen, Details zum Bild hinzuzufügen und/oder zu entfernen, das Bild auf bestimmte Weise zu drehen, zu pflegen und zu transformieren (Burton und Fogarty 2003, S.310)
Bildgeschwindigkeit	Die Effizienz der Prozesse, die an der Erzeugung, Aufrechterhaltung und Transformation mentaler Repräsentationen beteiligt sind (Burton und Fogarty 2003, S.311)

### 3. Messung des räumlichen Denkens

Die Messung des räumlichen Denkens wird durch internationale Tests standardisiert, die in den letzten 20 Jahren umfassend analysiert wurden (Nagy-Kondor, 2017). In diesem Abschnitt werden die am häufigsten verwendeten Instrumente im Zusammenhang mit Studien zur Entwicklung der räumlichen Fähigkeiten von Studierenden der Ingenieurwissenschaften beschrieben (Marunić & Glažar, 2014).

#### 3.1 Mental Cutting Test (MCT)

Der standardisierte MCT (CEEB, 1939) besteht aus 25 Items. Jedes Item (siehe Abbildung 3) zeigt eine Perspektive auf ein Objekt und eine Schnittebene. Die Testperson muss die richtige Figur auswählen, die den entsprechenden Schnitt darstellt. Einige der Aufgaben haben relativ ungewöhnliche Formen und in einigen Fällen ist es sehr schwierig, die Position der

Schnittebene im Verhältnis zum Objekt zu erkennen (Tsutsumi, 2004). Die Bearbeitung des MCT dauert 20 Minuten, und das Ergebnis ist eine numerische Punktzahl von 25.

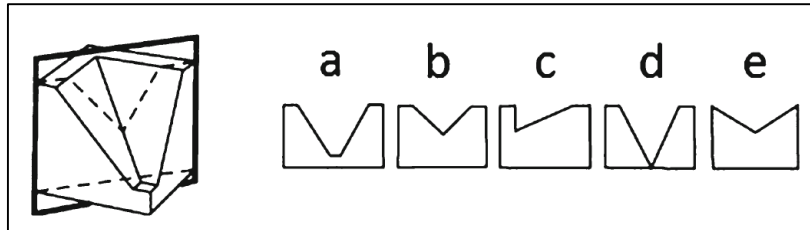


Abbildung 3. Beispiel-Item für MCT

### 3.2 Mental Rotation Test (MRT)

Der Mental Rotations Test ist ein Test der räumlichen Fähigkeit von Steven G. Vandenberg und Allan R. Kuse, der erstmals 1978 veröffentlicht wurde. Er besteht aus 20 Items (siehe Abbildung 4 für ein Beispiel), die in zwei gleiche Sets aufgeteilt sind, wobei für die Bearbeitung jedes Sets drei Minuten zur Verfügung stehen. Jedes Item besteht aus fünf Aufforderungen, die ein aus dreidimensionalen Würfeln bestehendes Ziel und vier Alternativen (zwei richtige und zwei falsche Alternativen) enthalten. Die richtigen Alternativen sind strukturell identisch mit dem Objekt, werden aber in einer gedrehten Position gezeigt. Die Teilnehmer werden aufgefordert, die beiden richtigen Alternativen zu finden. Für jedes Item mit zwei richtigen Möglichkeiten werden zwei Punkte vergeben. Ein Punkt wird vergeben, wenn nur eine der Alternativen gewählt wird und diese richtig ist, und kein Punkt wird vergeben, wenn eine der beiden Alternativen richtig ist, die andere aber nicht, oder wenn beide falsch sind. Die maximale Punktzahl, die erreicht werden kann, beträgt 40.

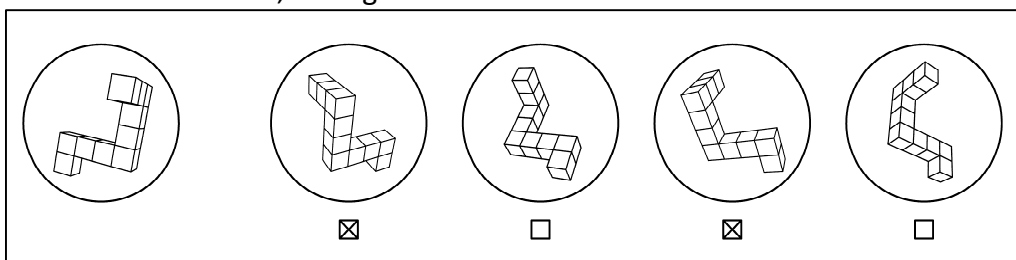


Abbildung 4. Beispiel-Item für MRT

### 3.3 Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR)

DAT:SR (Bennet et al., 1956) besteht aus 50 Items (siehe Abbildung 5 für ein Beispiel) und die Aufgabe besteht darin, ein geeignetes 3D-Objekt aus vier Alternativen auszuwählen, die durch Falten der vorgegebenen ungefalteten Form entstehen würden. Der DAT:SR-Test dauert 20 Minuten, und das Ergebnis ist eine numerische Punktzahl von 50.

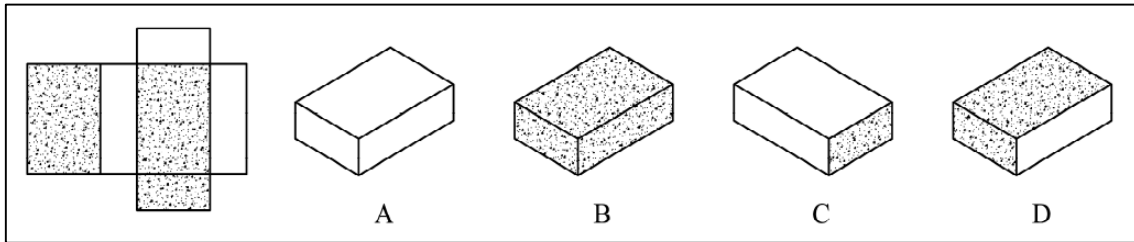


Abbildung 5. Beispiel-Item für DAR:SR

### 3.4 Purdue Spatial Visualization Tests: Rotationen (PSVT: R) and its revised version

PSVT: R (Guay, 1977) besteht aus 30 Items und benötigt 20 Minuten. Für jedes Item wird ein bestimmtes Objekt im Raum gedreht. Dann wird eine Reihe von fünf Auswahlmöglichkeiten präsentiert, die eine gedrehte Version eines zweiten Objekts zeigen. Die Versuchspersonen müssen die Auswahl treffen, bei der das zweite Objekt um den gleichen Umfang im Raum gedreht wurde wie das erste Objekt (siehe Abbildung 6 für ein Beispiel).

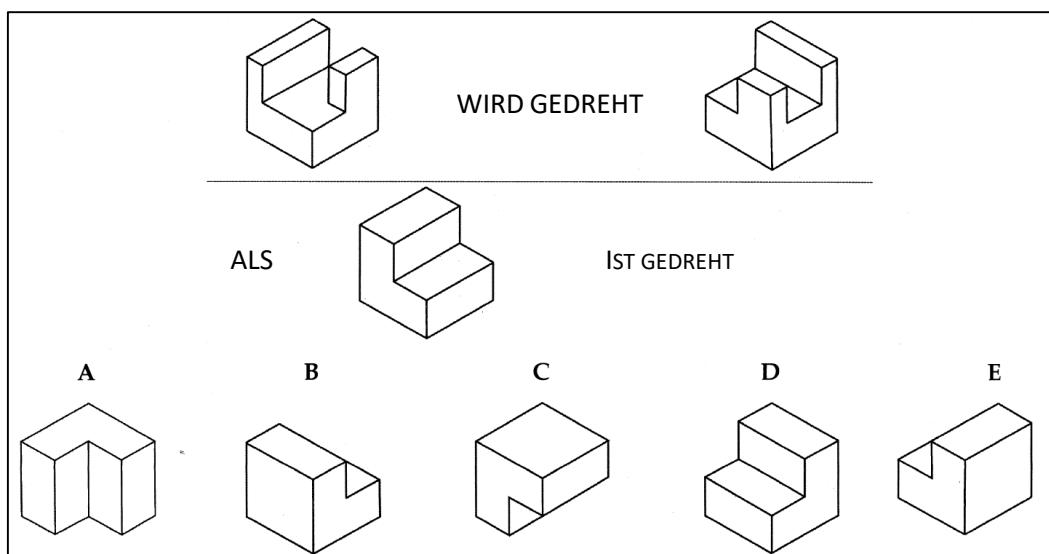


Abbildung 6. Beispiel-Item für PSVT:R

Der Revised Purdue Spatial Visualization Test: Visualisierung der Rotation (Revised PSVT:R) (Yoon, 2011) ist eine Überarbeitung des PSVT:R. Das Instrument enthält 2 praktische Items, gefolgt von 30 Testaufgaben, die aus 13 symmetrischen und 17 asymmetrischen Figuren von 3-D-Objekten bestehen, die in isometrischer Perspektive gezeichnet sind. In der überarbeiteten Version sind die Figuren neu skaliert, und die Aufgaben sind von leicht nach schwer neu geordnet.

### 3.5 Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization (PSVT: V)

PSVT: V (Guay, 1977) besteht aus 30 Items. Die Teilnehmer müssen ein in einem durchsichtigen Kasten eingerahmtes Objekt von einer bestimmten, mit einem Punkt

markierten Ecke aus visualisieren. Es werden fünf Alternativen angeboten. Nur eine ist richtig.

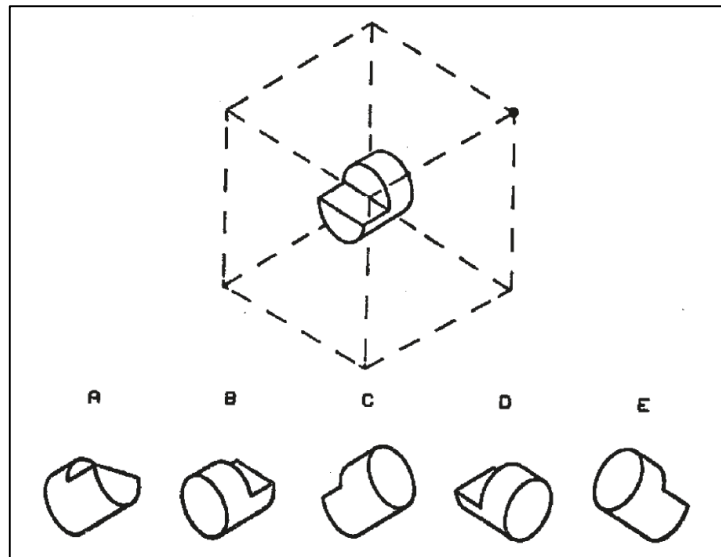


Abbildung 7. Beispiel-Item für PSVT: V

### 3.5 Purdue Spatial Visualization Tests: Development (PSVT: D)

PSVT: R (Guay, 1977) besteht aus 30 Aufgaben, in denen die Entwicklung eines Objekts dargestellt wird. Die Teilnehmer müssen zwischen 5 Optionen wählen, nämlich dem Objekt, das durch seine axonometrische Projektion dargestellt wird, und dessen Entwicklung gezeigt wird. Nur eine Alternative ist richtig.

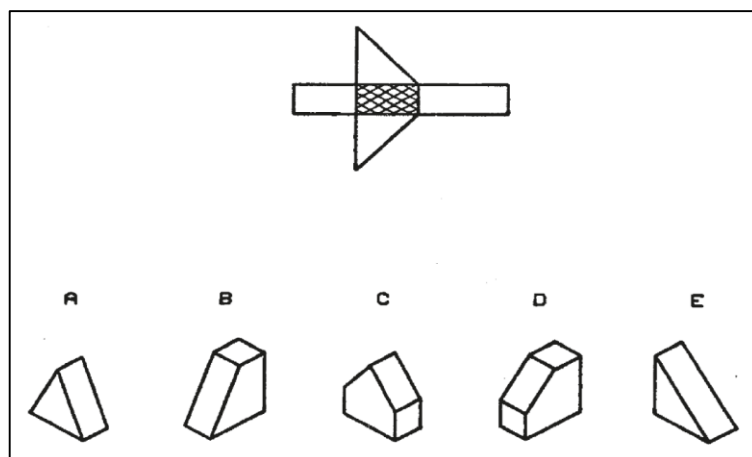


Abbildung 8. Beispiel-Item für PSVT: D

### 3.6 Test zur räumlichen Orientierung (SOT)

Der Test zur räumlichen Orientierung (Hegarty & Waller, 2005) besteht aus 12 Items. Auf der oberen Hälfte des Papiers werden sieben Objekte gezeichnet, die den einzelnen Punkten entsprechen (siehe Abbildung 9). Die Teilnehmer werden gebeten,

sich vorzustellen, dass sie sich an der Position eines Objekts (dem Bahnhof) befinden, das einem anderen Objekt gegenübersteht, und dann zu versuchen, die Richtung zu einem dritten Objekt (Ziel) anzugeben. Die Teilnehmer geben ihre Antwort mit Hilfe eines Kreises, der in der unteren Hälfte der Seite gezeichnet ist. Zum Beispiel, wenn der imaginäre Stationierungspunkt das Blumenschild und das Zielobjekt der Baum ist. Wenn das Zielobjekt die Katze ist, sollte der Teilnehmer die gepunktete Linie zeichnen, wie in Abbildung 9 dargestellt, um eine korrekte Antwort zu geben.

Die Punktzahl für jedes Item wird durch Messung der absoluten Abweichung in Grad zwischen der Antwort des Teilnehmers und der richtigen Richtung zum Ziel (absoluter Richtungsfehler) ermittelt. Die Gesamtpunktzahl des Teilnehmers wird als durchschnittliche Abweichung über alle versuchten Items berechnet.

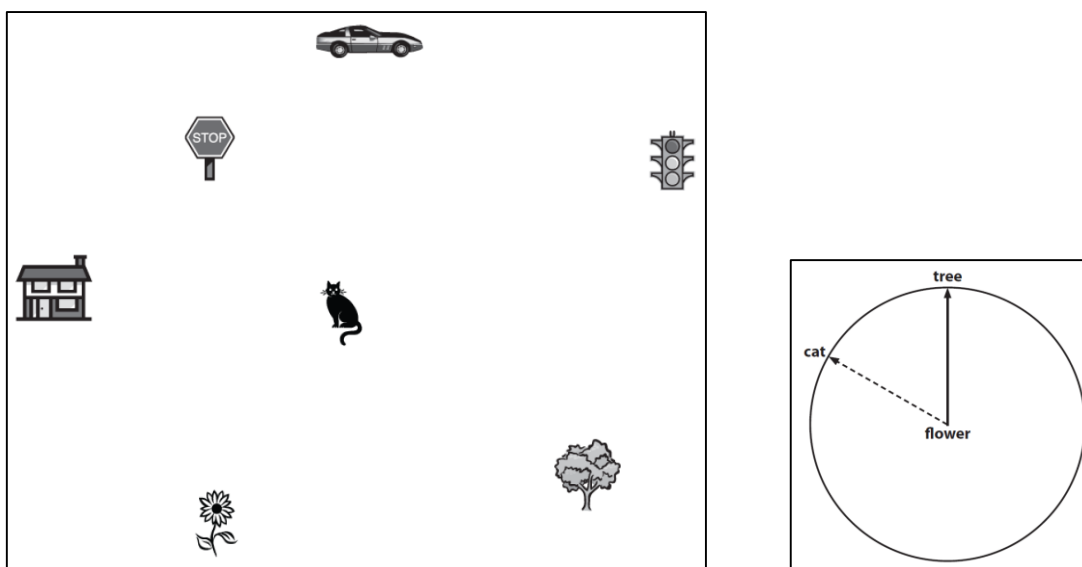


Abbildung 9. Test-Item für räumliche Orientierung

## 4. Pädagogischer Rahmen

Die technische Grafik bietet viele Möglichkeiten zur Erstellung spezifischer didaktischer Inhalte zur Schulung räumlicher Fähigkeiten. Eine der wichtigsten Quellen für Übungen sind die geometrischen Verfahren (Projektion + Schnitt), die ein 3D-Objekt mit seiner Darstellung in 2D verbinden. Geometrische Transformationen wie Rotation und Symmetrie bieten ebenfalls gute Übungsmöglichkeiten. Die 3D-CAD-Modellierung ist ebenfalls eine gute Grundlage für Übungen. Der Modellierungsprozess erfordert spezifische Fähigkeiten, um die Formmerkmale zu identifizieren, die in Kombination mit den richtigen Booleschen Operatoren ein korrektes 3D-Modell ergeben, das eine virtuelle Darstellung eines realen 3D-Teils bietet.

Um den didaktischen Inhalt auf sinnvolle Weise zu organisieren, wird die Bloomsche Taxonomie (Bloom et al., 1956) eingesetzt, um die Trainingsaktivitäten zu strukturieren. Obwohl es einige neue Ansätze (Krathwohl, 2002) gibt, die die



ursprüngliche Taxonomie überarbeiten und dabei die weite Verbreitung der ursprünglichen Taxonomie und frühere Arbeiten berücksichtigen, die sie mit dem Bereich der technischen Grafik verbinden (Violante et al., 2020), wird die ursprüngliche Taxonomie in diesem Dokument befolgt, wie in Tabelle 4 beschrieben.

*Tabelle 4. Struktur der originalen Bloom'sche Taxonomie im kognitiven Bereich*

Bereiche	Unterbereiche
1. Wissen	
	1.1 Wissen von konkreten Einzelheiten 1.1.1 Terminologisches Wissen 1.1.2 Wissen einzelner Fakten
	1.2 Wissen der Wege und Mittel, mit konkreten Einzelheiten zu arbeiten 1.2.1 Wissen von Konventionen 1.2.2 Wissen von Trends und zeitlichen Abfolgen 1.2.3 Wissen von Klassifikationen und Kategorien 1.2.4 Wissen von Kriterien 1.2.5 Wissen von Methoden
	1.3 Wissen von Verallgemeinerungen und Abstraktionen eines Fachgebiets 1.3.1 Wissen von Prinzipien und Verallgemeinerungen 1.3.2 Wissen von Theorien und Strukturen
2. Verstehen	
	2.1 Übersetzen
	2.2 Interpretieren
	2.3 Extrapolieren
3. Anwendung	
4. Analyse	
	4.1 Analyse von Elementen
	4.2 Analyse von Beziehungen
	4.3 Analyse von ordnenden Prinzipien
5. Synthese	
	5.1 Herstellen einer einzigartigen Nachricht
	5.2 Entwerfen eines Plans für bestimmte Handlungen
	5.3 Ableiten einer Folge abstrakter Beziehungen
6. Evaluation	
	6.1 Urteilen aufgrund innerer Evidenz
	6.2 Urteile aufgrund äußerer Kriterien

*Tabelle 5. Bloom'sche Taxonomie im Technischen Zeichnen (Violante et al., 2020)*

Bereiche	Beschreibung	Schlüsselwörter	Beispielfragen zu den Methoden der orthografischen Projektion
1. Wissen	Wissenselemente nach Aufforderung aus dem Gedächtnis abrufen (grundlegende Begriffe, Fakten, Methoden, Verfahren und Konzepte)	zitieren, definieren, identifizieren, kennzeichnen, auflisten, zuordnen, benennen, erkennen, wiedergeben, auswählen, angeben	1. Schreiben Sie die Namen der einzelnen Ansichten in die Skizze. 2. Die wichtigsten Arten von Projektionsmethoden auflisten 3. Ordnen Sie das richtige Symbol der entsprechenden Projektionsmethode zu



2. Verstehen	Verstehen der Verwendung und der Auswirkungen der gegebenen Informationen (Begriffe, Fakten, Methoden, Verfahren, Konzepte)	klassifizieren, umwandeln, beschreiben, unterscheiden, erklären, erweitern, Beispiele geben, veranschaulichen, interpretieren, umschreiben, zusammenfassen, übertragen	<ol style="list-style-type: none"> <li>Bei der Methode der ersten Winkelprojektion wird die Ansicht von links auf (a) über der Vorderansicht (b) rechts von der Vorderansicht (c) über der Draufsicht (d) unter der Vorderansicht platziert</li> <li>Bei welcher der folgenden Projektionsmethoden werden keine Projektoren verwendet, die senkrecht zur Projektionsebene stehen: (a) Isometrisch (b) Orthographisch (c) Schräg (d) Axonometrisch?</li> </ol>
3. Anwendung	Strategien, Konzepte, Grundsätze und Theorien in konkreten Situationen anwenden. Lösen von Problemen. Theorie anwenden	anwenden, anordnen, berechnen, ausführen, konstruieren, demonstrieren, entdecken, ausführen, implementieren, modifizieren, operieren, vorhersagen, vorbereiten, produzieren, in Beziehung setzen, zeigen, lösen, anwenden	<ol style="list-style-type: none"> <li>In jeder mit Buchstaben versehenen Zeile steht der Kreis für die Position einer fehlenden Ansicht. Wählen Sie die richtige Ansicht aus den vorgeschlagenen Ansichten aus.</li> <li>Wählen Sie für jede Zeile die bildliche Ansicht des Objekts aus, die die angegebenen orthografischen Ansichten ergibt</li> </ol>
4. Analyse	Zerlegen von Informationen in ihre Bestandteile, um Beziehungen zu erkennen.	analysieren, zuordnen, bestimmen, darstellen, differenzieren, unterscheiden, vergleichen, einschätzen, ableiten, ordnen, skizzieren, aufzeigen, trennen, unterteilen	<ol style="list-style-type: none"> <li>Gegenüberstellung der 1-Winkel-Methode der Projektion und der 3-Winkel-Methode der Projektion</li> </ol>
5. Synthese	Informationen auf eine andere Art und Weise zusammenstellen, indem Elemente in einem neuen Muster kombiniert werden oder alternative Lösungen vorgeschlagen werden	kombinieren, zusammenstellen, konstruieren, schaffen, entwerfen, entwickeln, ausarbeiten, formulieren, integrieren, erfinden, modifizieren, organisieren, planen, produzieren, vorschlagen, neu anordnen, reorganisieren, überarbeiten, umschreiben	<ol style="list-style-type: none"> <li>Formulierung der richtigen Anzahl von Ansichten, die zur vollständigen Beschreibung eines Objekts in der 1-Winkel-Methode der Projektion erforderlich sind</li> </ol>
6. Evaluation	Beurteilung des Nutzens von Ideen, Materialien und Methoden durch Entwicklung und Anwendung von Standards und Kriterien	einschätzen, beurteilen, prüfen, schlussfolgern, gegenüberstellen, kritisieren, bewerten, Hypothesen aufstellen, beurteilen, rechtfertigen, begründen, unterstützen, testen	<ol style="list-style-type: none"> <li>Überprüfung, ob die in den Abbildungen enthaltenen Projektionen der Zeichnung in geeigneter Weise verwendet wurden</li> </ol>

In Abschnitt 2 dieses Dokuments wurde die visuelle Verarbeitung (GV) als die Fähigkeit definiert, simulierte gedankliche Bilder (oft in Verbindung mit aktuell wahrgenommenen Bildern) zur Lösung von Problemen zu nutzen. Das Ziel des SPACAR-Projekts ist es, eine Reihe von intellektuellen Leistungen zu entwickeln, um die Verwendung von visuellen Bildern zur Lösung von Problemen im Bereich der technischen Grafik zu fördern. Um die Entwicklung dieser Übungen zu leiten, bietet Tabelle 5 einige Beispiele im Kontext der technischen Grafik, um die Ebenen der Bloomschen Taxonomie zu verstehen. Die Auswahl der Übungen nach dem

entsprechenden Bloom'schen Niveau ermöglicht es den Lehrenden, sie an unterschiedliche Bildungsniveaus und Kontexte anzupassen. Die Rolle der Augmented Reality besteht darin, sowohl Unterstützung für das Verständnis der Aufgabe (Input) als auch die Lösung oder die Schritte, die für die Lösung erforderlich sind (Output), zu bieten.

#### 4.1 Gestaltungsgrundsätze

Die Übungen des Projekts entsprechen den folgenden Leitlinien:

1. Hauptziel der Übungen ist die Verbesserung der räumlichen Fähigkeiten der Lernenden, die diese Ressourcen nutzen.
2. Die Übungen orientieren sich an den Bloom'schen Niveaustufen 2-6 und werden den Lernenden entsprechend ihrem "Vorwissen" zur Verfügung gestellt.
3. Die Übungen bieten eine abgestufte Schwierigkeit. Für jedes Bloom'sche Niveau sind Übungen mit steigendem Schwierigkeitsgrad vorgesehen. Zur Messung des Schwierigkeitsgrads ist ein objektiver Maßstab heranzuziehen, z. B. die Komplexität der in der Übung verwendeten Geometrie.
4. Die Übungen werden den Lernenden schrittweise zur Verfügung gestellt, beginnend mit dem Bloom'schen Niveau 2 und endend mit dem Niveau 6.
5. Soweit möglich, sollten skizzenhafte Aktivitäten als Teil der Übungen integriert werden, da sie auch zur Entwicklung räumlicher Fähigkeiten beitragen (Mohler & Miller, 2008).
6. Aufgaben aus den Tests für räumliche Fähigkeiten, die in der in Abschnitt 6 dieses Dokuments beschriebenen Validierungsstudie verwendet wurden, sollten in keiner der Übungen enthalten sein.

#### 4.2 Taxonomie der Übungen

Um den Teilnehmenden des Projekts bei der Ausarbeitung der Ergebnisse zu helfen, enthält dieser Abschnitt einige Beispiele für Aktivitäten, die nach ihrem kognitiven Niveau in der Bloomschen Taxonomie geordnet sind. Diese Liste ist nicht erschöpfend und kann in zukünftigen Versionen dieses Dokuments erweitert werden.

##### Verständnisebene (1)

Einige Aktivitäten, die sich für diese Stufe eignen, sind:

- Identifizierung von Flächen und Scheitelpunkten sowohl in orthografischen als auch in axonometrischen Ansichten eines dreidimensionalen virtuellen Objekts, das als Input dient.
- Identifizierung von orthographischen Ansichten eines dreidimensionalen Modells, das als Input dient.
- Identifizierung der Geometrie eines durch Schnitt, Achse und Winkel definierten Rotationskörpers.
- Identifizierung des Ergebnisses einer Booleschen Operation, die auf mehrere Objekte angewendet wird.

- Isometrisches Skizzieren von Objekten mit Quaderstruktur, die durch eine Kodierung definiert sind (Connolly et al., 2009).

### **Anwendungsebene (2)**

Einige Aktivitäten, die sich für diese Stufe eignen, sind:

- Erstellung von orthografischen Ansichten (mit und ohne verdeckte Linien) aus der Perspektive: Objekt mit steigendem Schwierigkeitsgrad: Quader, einfache und zweifache schiefe Ebenen, zylindrische Flächen.
- Identifizierung der gedrehten Version eines Objekts (Kette von Drehungen).
- Identifizierung und Skizzieren einer spiegelverkehrten Version eines Objekts.

### **Analyseebene (3)**

Einige Aktivitäten, die sich für diese Stufe eignen, sind:

- Identifizierung und Nummerierung von Teilen in Montagezeichnungen.
- Identifizierung von Prismen, die als Bausteine in Teilen verwendet werden.
- Identifizierung von Entwicklungen von Objekten.

### **Syntheseebene (4)**

Einige Aktivitäten, die sich für diese Stufe eignen, sind:

- Definition der Schritte der konstruktiven Festkörpergeometrie (CSG) zum Aufbau eines 3D-Modells.
- Erstellung von Perspektiven aus orthografischen Ansichten.
- Interpretation von topographischen Karten.
- Identifizierung eines Objekts anhand seiner Entwicklung.
- Erstellung des BIM-Modells eines Gebäudes oder Projekts unter Verwendung der Zeichnungen als Input.

### **Evaluationsebene (5)**

Einige Aktivitäten, die sich für diese Stufe eignen, sind:

- Kompatibilität von Baugruppentteilen in Explosionszeichnungen.
- Durchführbarkeit eines CSG-Baums zur Darstellung eines Modells.
- Bewertung der Korrektheit der Anzahl und des Inhalts von Schnitten, Querschnitten und Ansichten zur Definition eines Objekts.

## **4.3 Orientierung an der Struktur der Ergebnisse**

Die intellektuellen Ergebnisse des SPACAR-Projekts sind in fünf Hauptgruppen unterteilt:

- O1: Geometrische Körper in Ebenen schneiden.
- O2: Schnittpunkte von geometrischen Flächen.
- O3: Parallelprojektionen.
- O4: Konstruktion von Maschinenelementen.
- O5: Zeichnungen für Architektur und Bauwesen.

Jeder der fünf Hauptgruppen bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Anwendung der in Abschnitt 4.2 aufgeführten verschiedenen Übungstypen. Aufgrund der größeren Komplexität der Themen, die von O3, O4 und O5 abgedeckt werden, kann diese Art von Outputs von allen kognitiven Ebenen der Bloomschen Taxonomie abgedeckt werden.

## 5. Aufbau der Übungen

Jede Übung umfasst mindestens die folgenden Informationen:

- Identifizierung der intellektuellen Leistung.
- Kennung/Nummer der Übung.
- Titel
- Beschreibung.
- Digitale Dateien.
- Ergebnis.
- Erforderliches Vorwissen zur Lösung der Aufgabe.
- Beschreibung des Augmented-Reality-Inhalts.

3D-Inhalte, die mit Hilfe von Augmented Reality angezeigt werden, sind in den Dateiformaten FBX oder OBJ verfügbar. Es wurde eine Word-Vorlage zur Durchführung der Übungen entwickelt. Ein Beispiel für eine Übung, die diese Vorlage verwendet, ist in Anhang 1 dargestellt.

## 6. Rahmen für die Validierung

Um die Wirksamkeit der intellektuellen Ergebnisse des Projekts zu bewerten, wird empfohlen, ein quasi-experimentelles Design anzuwenden (Campbell & Stanley, 2015), da es schwierig ist, die Probanden (die Lernenden) nach dem Zufallsprinzip der Versuchs- oder Kontrollgruppe zuzuordnen. Einige der Universitäten und Berufsbildungszentren, die am SPACAR-Projekt teilnehmen, oder andere Zentren, die durch die Verbreitungsaktivitäten des Projekts ermittelt wurden, könnten die Lernenden für die experimentelle Studie bereitstellen.

In Abbildung 10 ist ein Blockdiagramm mit dem Versuchsplan dargestellt. In Bezug auf den zu verwendenden Pre- und Posttest wird unter Berücksichtigung der am häufigsten verwendeten Tests in früheren Studien, die die Entwicklung räumlicher Fähigkeiten und die Ingenieurausbildung miteinander verbinden, empfohlen, diese zu verwenden:

- Revised Purdue Spatial Visualization Tests: Rotations (Revised PSVT: R).
- Differential Aptitude Test: Space Relations (DAT: SR).
- Spatial Orientation Test (SOT).

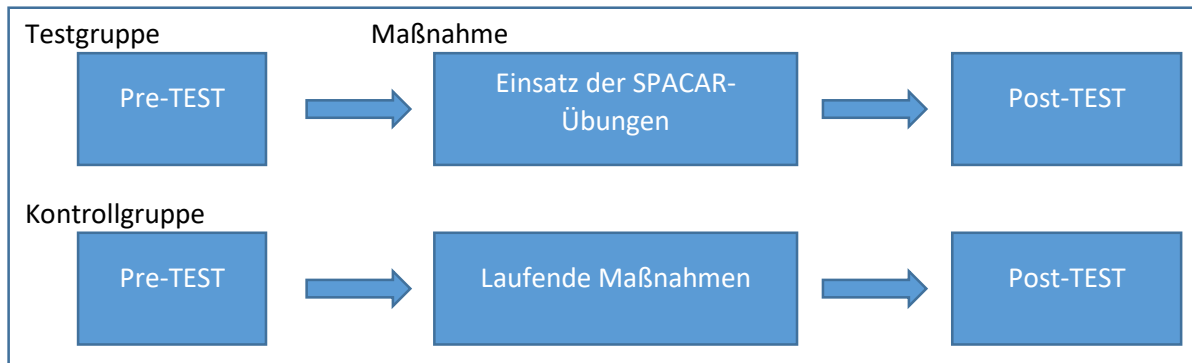


Abbildung 10. Konzeption des Tests

Um die Auswirkungen des SPACAR-Outputs auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler zu analysieren, wird empfohlen, den Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) zur gleichen Zeit wie die Posttests durchzuführen. Der IMMS basiert auf dem ARCS-Modell (Attention, Relevance, Confidence and Satisfaction) (Keller, 2010). Der IMMS hat 36 Items. Die Unterskalen Relevanz und Vertrauen haben jeweils 9 Items, die Unterskala Zufriedenheit hat 6 Items und die Unterskala Aufmerksamkeit hat 12 Items. Sowohl die Test- als auch die Kontrollgruppe erhalten den IMMS.

Um das subjektive Feedback der Schüler zur Augmented-Reality-App (Experimentalgruppe) zu erfassen, wird empfohlen, die Handheld Augmented Reality Usability Scale (HARUS) zu verwenden (Santos et al., 2015).

Die durch die Validierungsstudien erzielten Ergebnisse werden die Sichtbarkeit und den Einfluss des SPACAR-Projekts verbessern und einen zusätzlichen Verbreitungsweg für die Projektergebnisse durch wissenschaftliche Konferenzen und Fachzeitschriften bieten.

## 7. Referenzen

- Adanez, G. P., & Velasco, A. D. (2002). Predicting academic success of engineering students in technical drawing from visualization test scores. *Journal of Geometry and Graphics*, 6(1), 99–109.
- Arafeh, S., & Levin, D. (2003). The digital disconnect: The widening gap between internet-savvy students and their schools. *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 1002–1007.
- Bennet, G. K., Seashore, H. G., & Wesman, A. G. (1956). The differential aptitude tests: An overview. *The Personnel and Guidance Journal*, 35(2), 81–91.  
<https://doi.org/10.1002/j.2164-4918.1956.tb01710.x>
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Walker, H. H., & Krathwohl, D. R. (1956). Taxonomy of educational objectives. Vol. 1: Cognitive domain. In *New York: McKay*.
- Buckley, J., Seery, N., & Canty, D. (2019). Spatial cognition in engineering education: developing a spatial ability framework to support the translation of theory into practice. *European Journal of Engineering Education*, 44(1–2), 164–178.  
<https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1327944>
- Burton, L. J., & Fogarty, G. J. (2003). The factor structure of visual imagery and spatial abilities. *Intelligence*, 31(3), 289–318.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (2015). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Ravenio Books.
- CEEB. (1939). *Special Aptitude Test in Spatial Relations*. College Entrance Examination Board New York.
- Chen, Y.-C., Chi, H.-L., Hung, W.-H., & Kang, S.-C. (2011). Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 137(4), 267–276.
- Colom, R., Contreras, M., Botella, J., & Santacreu, J. (2002). Vehicles of spatial ability. *Personality and Individual Differences*, 32(5), 903–912.
- Connolly, P., Harris, L. V. A., & Sadowski, M. (2009). Measuring and enhancing spatial visualization in engineering technology students. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. <https://peer.asee.org/4712>
- Coren, S., Girgus, J. S., Erlichman, H., & Hakstian, A. R. (1976). An empirical taxonomy of visual illusions. *Perception & Psychophysics*, 20(2), 129–137.
- Guay, R. B. (1977). Purdue spatial visualization test-visualization of rotations. W. Lafayette, IN. *Purdue Research Foundation*.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, 121–169.
- Keller, J. M. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance*. 21–42.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1250-3>
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into*



- Practice*, 41(4), 212–218.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 1479–1498.
- Lohman, D. F., & Kyllonen, P. C. (1983). Individual differences in solution strategy on spatial tasks. *Individual Differences in Cognition*, 1, 105–135.
- Martín-Gutiérrez, J., Contero, M., & Alcañiz, M. (2010). Intelligent Tutoring Systems. In V. Aleven, J. Kay, & J. Mostow (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 6094, Issue PART 1, pp. 296–306). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-13388-6>
- Marunić, G., & Glažar, V. (2014). Improvement and assessment of spatial ability in engineering education. *Engineering Review. University of Rijeka*, 34(2), 139–150.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889.
- Metz, S. S., Donohue, S., & Moore, C. (2012). Spatial skills: A focus on gender and engineering. *International Journal of Science Education*, 31, 3.
- Millar, S. B. (2003). Effecting faculty change by starting with effective faculty: Characteristics of successful STEM education innovators. *National Research Council, Improving Undergraduate Instruction in Science, Technology, Engineering, and Mathematics: Report of a Workshop*, 101–117.
- Mohler, J. L., & Miller, C. L. (2008). Improving spatial ability with mentored sketching. *The Engineering Design Graphics Journal*, 72(winter), 19–27.
- Nagy-Kondor, R. (2017). Spatial Ability: Measurement and Development. In M. S. Khine (Ed.), *Visual-spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice* (pp. 35–58). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_3)
- Newcombe, N. S., Weisberg, S. M., Atit, K., Jacovina, M. E., Ormand, C. J., & Shipley, T. F. (2015). The Lay of the Land: Sensing and Representing Topography. *Baltic International Yearbook of Cognition, Logic and Communication*, 10, 1–57. <https://doi.org/10.4148/1944-3676.1099>
- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1–10.
- Pellegrino, J. W., Alderton, D. L., & Shute, V. J. (1984). Understanding spatial ability. *Educational Psychologist*, 19(4), 239–253.
- Roff, M. (1953). *A factorial study of tests in the perceptual area* (Issue 8). Psychometric Society.
- Santos, M. E. C., Polvi, J., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C., & Kato, H. (2015). Toward standard usability questionnaires for handheld augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 66–75.
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2012). The Cattell–Horn–Carroll model of intelligence. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual*

- assessment (3rd., pp. 99–144). Guilford Press.
- Sorby, S. A. (1990). Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2), 21–32.
- Terenzini, P. T., & Pascareua, E. T. (1994). Living with myths: Undergraduate education in America. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 26(1), 28–32.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities* (Vol. 119). University of Chicago Press Chicago.
- Tsutsumi, E. (2004). A Mental Cutting Test using drawings of intersections. *Journal for Geometry and Graphics*, 8(1), 117–126.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604.
- Violante, M. G., Moos, S., & Vezzetti, E. (2020). A methodology for supporting the design of a learning outcomes-based formative assessment: the engineering drawing case study. *European Journal of Engineering Education*, 45(2), 305–327. <https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1622653>
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817.
- Xiao, Z., Wauck, H., Peng, Z., Ren, H., Zhang, L., Zuo, S., Yao, Y., & Fu, W. T. (2018). Cubicle: An adaptive educational gaming platform for training spatial visualization skills. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI*, 91–101. <https://doi.org/10.1145/3172944.3172954>
- Yoon, S. Y. (2011). *Psychometric properties of the revised Purdue spatial visualization tests: visualization of rotations (The Revised PSVT: R)*. (Doctoral dissertation). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global database. (UMI No. 3480934).



## Anhang 1 Beispiele für Übungen

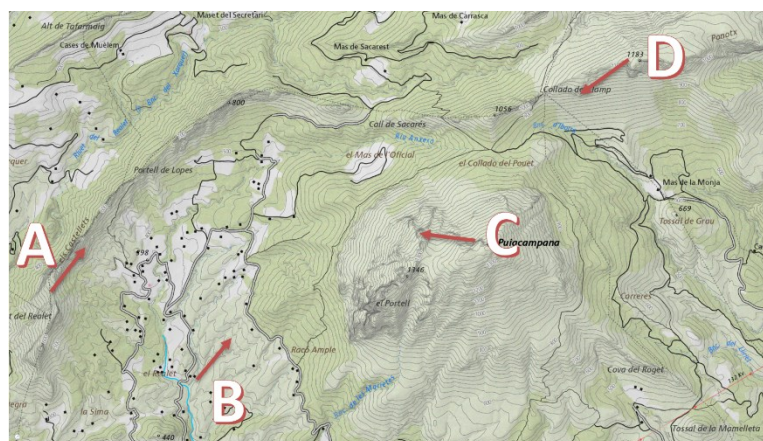
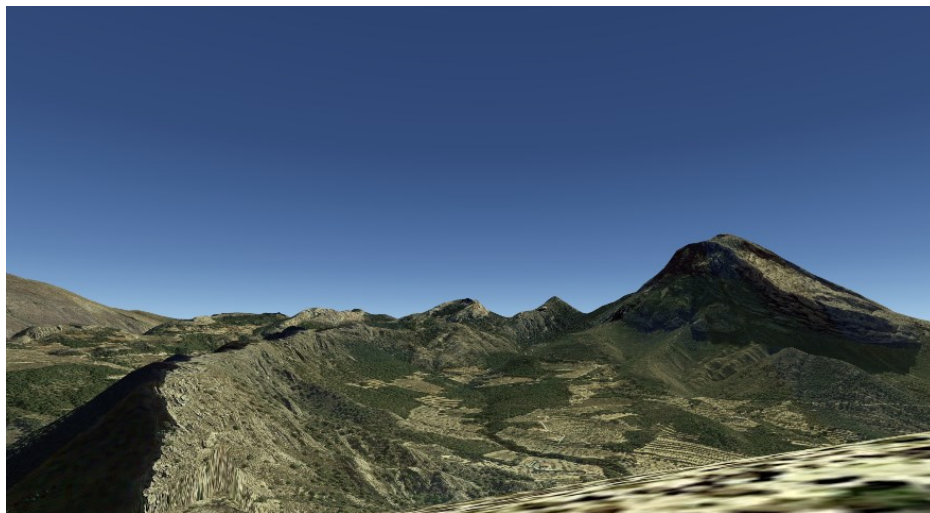
## Beispiel-Übung 1

**Titel:** Bestimmung des Standpunkts auf einer topografischen Karte

**Beschreibung:** Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich auf dem Gipfel eines Berges und sehen die auf dem Bild dargestellte Landschaft. Sie müssen Ihren Standort auf der entsprechenden topografischen Karte bestimmen. Wählen Sie die Antwort aus, die angibt, wo und in welcher Richtung Sie sich Ihrer Meinung nach befinden.

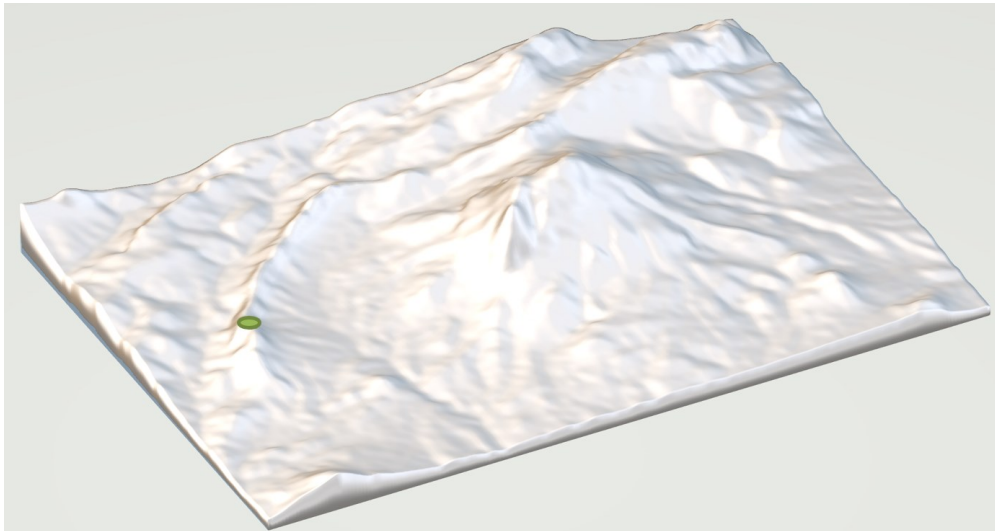
**Digitale Dateien:**

IO5-11-a.png: Bilddatei für die Landschaftsansicht.



IO5-11-b.png: Bilddatei zur topografischen Karte

IO5-11-c.fbx: digitales Oberflächenmodell, das dem von der topografischen Karte abgedeckten Gebiet entspricht. Der grüne Bereich stellt die Lösung der Übung dar



**Ergebnis:** Die korrekte Antwort ist A. Dieser Standort wird im digitalen 3D-Modell durch eine grüne Fläche dargestellt.

**Augmented reality-Inhalt:** A 3D-Modell des Geländes mit der Lösung der Aufgabe.

**Vorkenntnisse:** Lesen von topografischen Karten.

## Beispiel-Übung 2

**Titel:** Farnsworth-Haus

**Beschreibung:** Das Farnsworth House, das zwischen 1946 und 1951 von dem Architekten Mies van der Rohe entworfen und gebaut wurde, gilt als ein berühmtes Meisterwerk der Architektur. Es befindet sich in Plano, Illinois, 58 Meilen südwestlich von Chicago. Erstellen Sie ein 3D-Strukturmodell des Gebäudes anhand der Gebäudezeichnungen, die in der Library of Congress frei zugänglich sind unter: <https://www.loc.gov/resource/hhh.il0323.sheet>

**Digitale Dateien:**

IO5-20-a.png: Bild des Gebäudes von Grigas, V. (Photographer, 2013)



IO5-20-b.fbx: 3D-Modell Baus



**Result:** A 3D-Modell des Baukörpers

**Augmented reality-Inhalt:** Das Ergebnis der Übung (3D-Modell des Baukörpers)

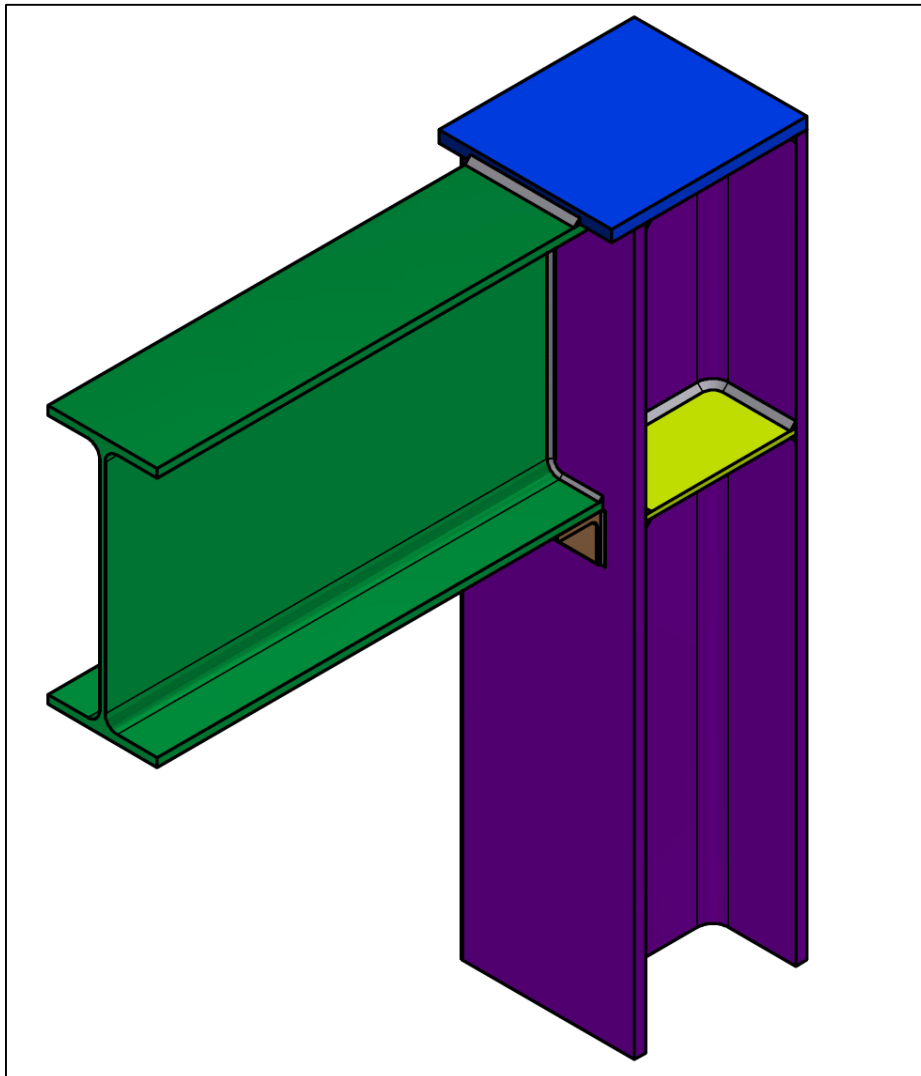
**Vorkenntnisse:** Auswerten von Architekturzeichnungen und 3D-Modellierung.

### Beispiel-Übung 3

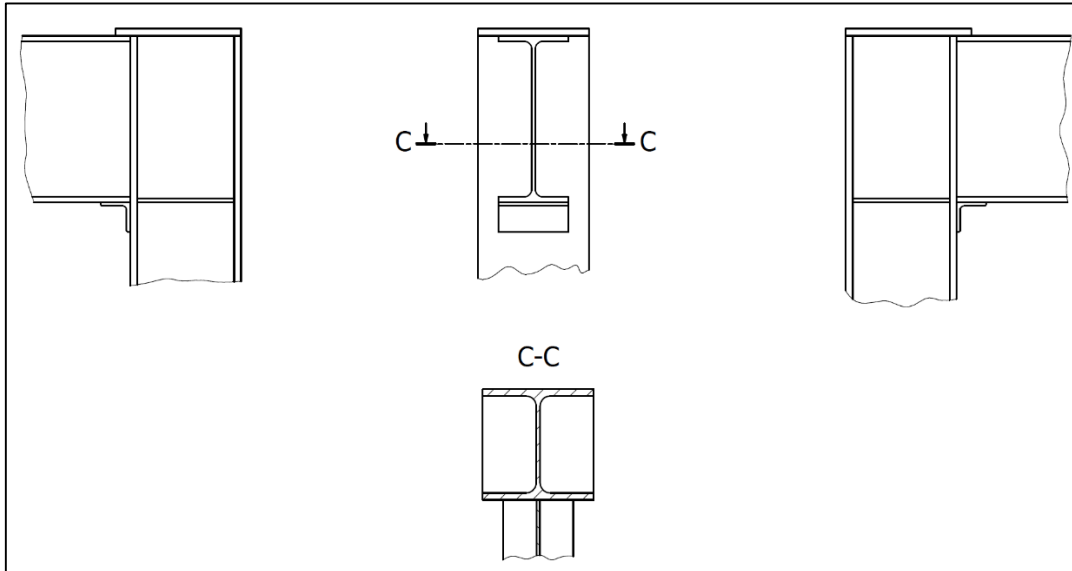
**Titel:** Metallkonstruktionen. Halbstarre Verbindung eines IPE-Trägers mit einer HEB-Stütze im Obergeschoss

**Beschreibung:** Fügen Sie anhand eines 3D-Modells der Verbindung die Schweißsymbole zu den Zeichnungsansichten hinzu, die die Verbindung darstellen. Berücksichtigen Sie für alle Schweißnähte eine effektive Stärke der Schweißnahtkehle von 10 mm (es werden nur Kehlnähte verwendet). Alle Schweißnähte werden vor Ort ausgeführt, mit Ausnahme der Schweißnähte, die mit der Winkelstütze verbunden sind.

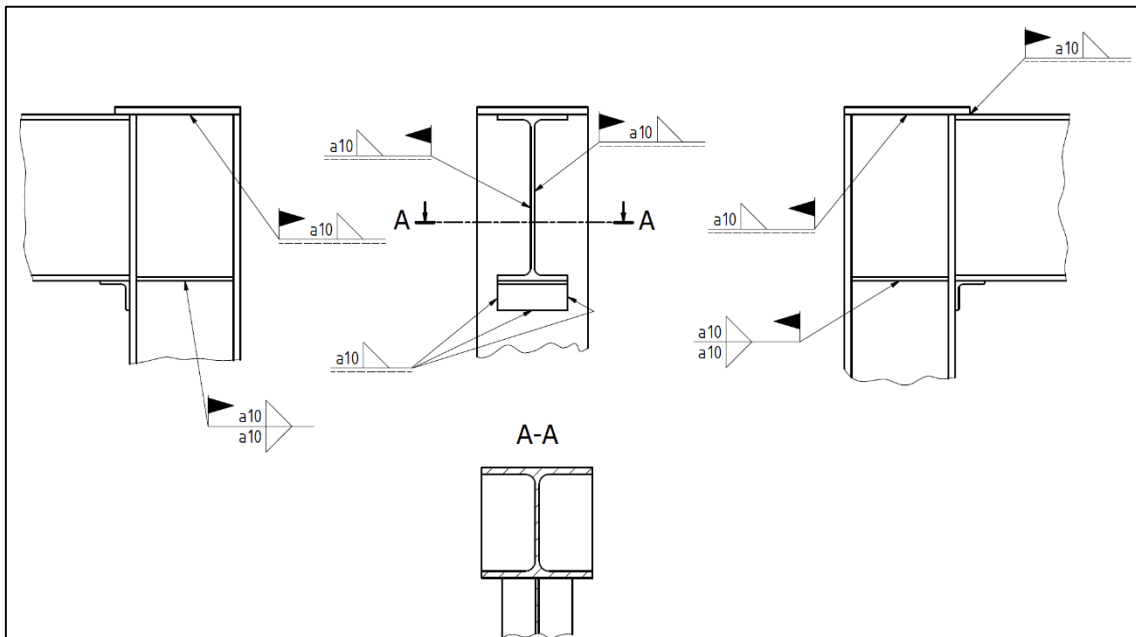
**Digitale Dateien:** IO5-07-a.fbx: 3D-Modell der Verbindung



IO5-07-b.png: Zeichnungsansichten der Verbindung.



IO5-07-c.png: Zeichnung mit der Lösung



**Ergebnis:** Die Antwort finden Sie in IO5-07-c.png.

**Augmented reality-Inhalt:** A 3D-Modell der Verbindung.

**Vorkenntnisse:** Schweißtechnische Beschriftungen in technischen Zeichnungen.



## Anhang 2

### Praktischer Leitfaden für die Nutzung der SPACAR-Plattform und der mobilen App

## A2.1 Beschreibung der Plattform

Das SPACAR-Konsortium hat eine Web-Plattform für die Durchführung der Kurse entwickelt. Der Inhalt der Kurse kann über eine App für Mobiltelefone genutzt werden, in der verschiedene Arten von Dateien visualisiert werden können. 3D-Modelle können über Augmented Reality visualisiert werden. In einigen Fällen werden diese 3D-Modelle als Input für die Übungen verwendet. In anderen Fällen werden sie verwendet, um die Lösung des Problems zu präsentieren. Die Webplattform ist verfügbar unter: <https://admin-spacar.azurewebsites.net>

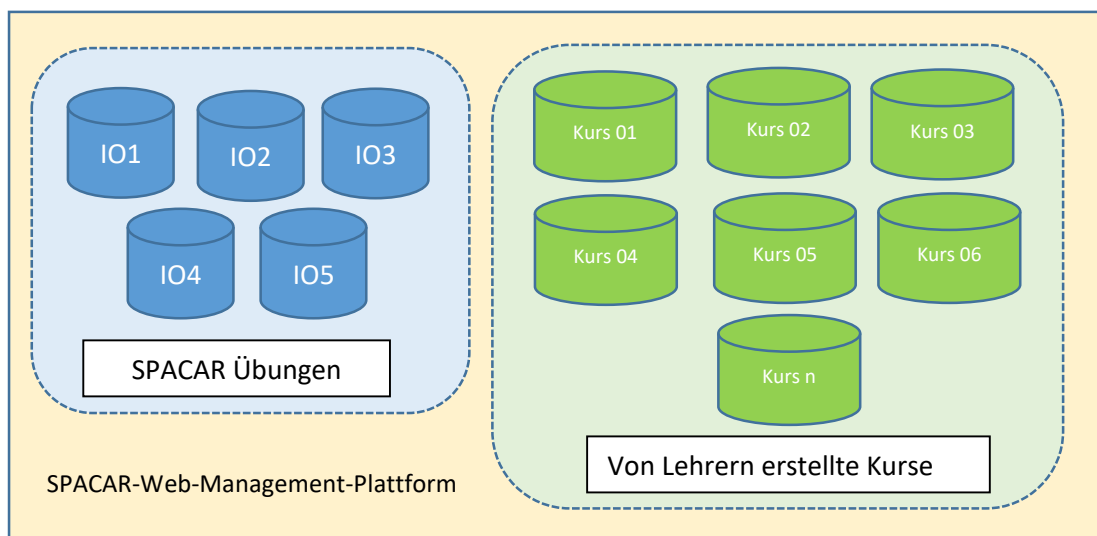


Abbildung 11. Kursmanagement der Plattform

Die intellektuellen Ergebnisse (IO) des SPACAR-Projekts bieten eine Sammlung von Übungen, die in 5 Gruppen organisiert sind (IO):

- IO1: 1. Schnitt von geometrischen Körpern in Ebenen.
- IO2: 2. Schnitte von geometrischen Flächen.
- IO3: 3. Geometrische Projektionen.
- IO4: 4. Konstruktion einzelner Elemente von Maschinenteilen.
- IO5: 5. Bau- und Konstruktionszeichnung.

Die SPACAR-Webplattform (Anmeldebildschirm siehe Abbildung 12) bietet Lehrenden mit den entsprechenden Verwaltungsrechten die Möglichkeit, eigene Kurse zu erstellen. Ein Kurs ist eine Sammlung von Übungen. Diese Übungen können aus dem von den SPACAR-Partnern entwickelten IO übernommen werden. Sie können aber auch von Grund auf neu erstellt werden, wenn die Lehrenden sie für eine bessere Anpassung an ihre eigenen Lernziele erweitern möchten. Die Sprache der Benutzeroberfläche der Webplattform kann über das Symbol im oberen rechten Teil des Bildschirms ausgewählt werden (siehe Abbildung 13). Damit wird das in Abbildung 12 rechts dargestellte Menü aufgerufen.



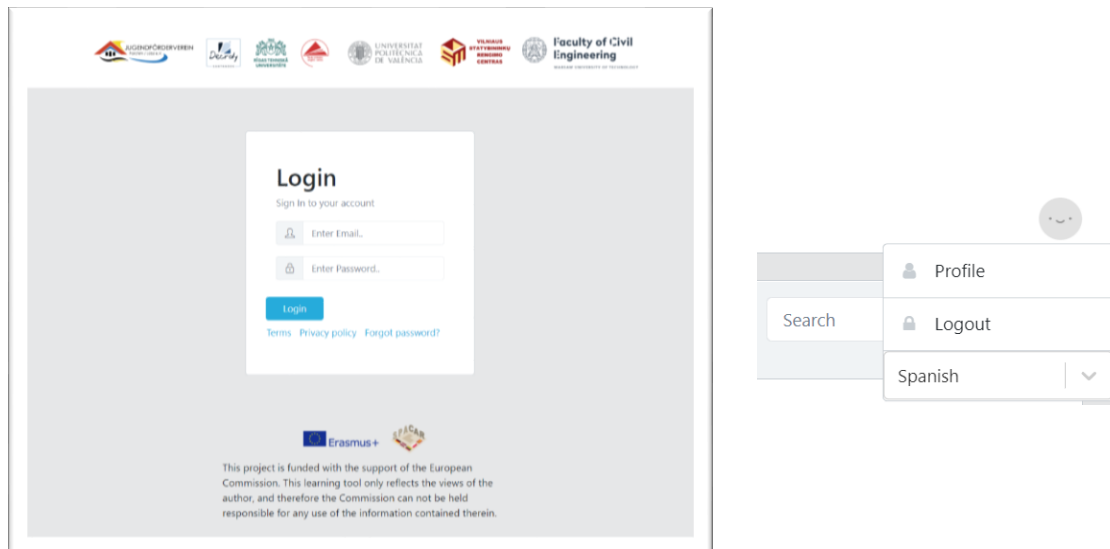



Abbildung 12. Anmeldebildschirm und Menü für die Sprachauswahl

## A2.2 Kurs Management

Für das Kursmanagement sind folgende Funktionen verfügbar:

- Um alle Kurse zu sehen, klicken Sie auf die Registerkarte "Kurse" im oberen Registermenü (Abbildung 13). Die Kurse, die den im Rahmen des Projekts entwickelten geistigen Leistungen entsprechen sind am Symbol  zu erkennen.

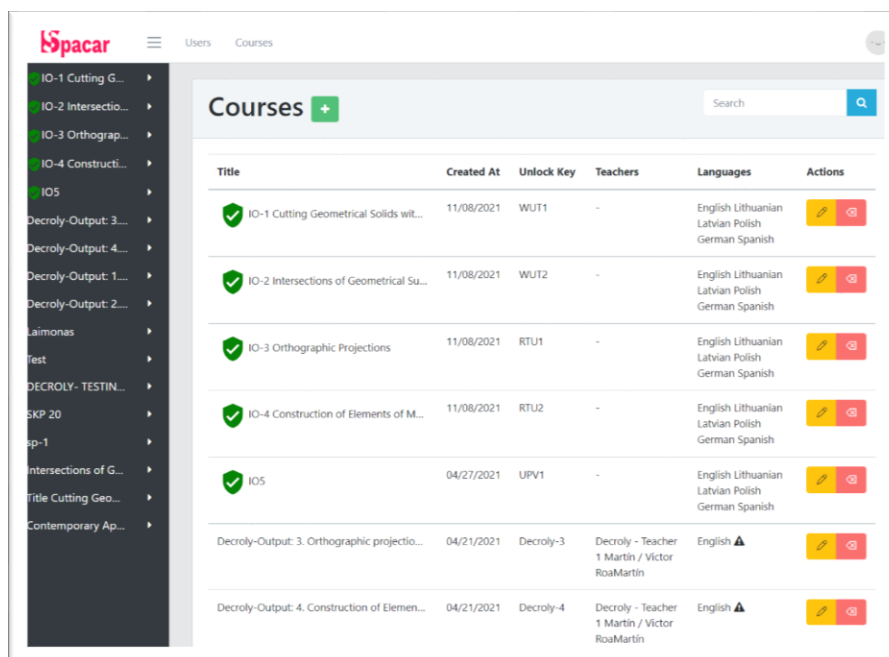


Abbildung 13. Kurse auf der Plattform

- um einen neuen Kurs zu erstellen, drücken Sie die grüne Taste + Füllen Sie die erforderlichen Felder aus und drücken Sie "Submit" (Abbildung 14). Um eine neue Sprache hinzuzufügen, drücken Sie das Pluszeichen (+) und wählen Sie die Sprache aus. Name und Beschreibung sind für jede Sprache unterschiedlich, Freischaltsschlüssel und Lehrer sind für den gesamten Kurs gleich.

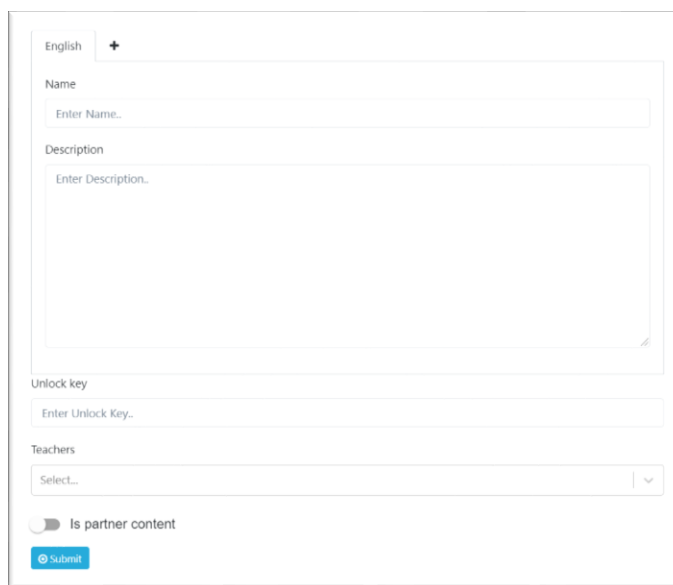


Abbildung 14. Daten für die Kurserstellung

- Um die Kursinformationen zu bearbeiten, klicken Sie auf die entsprechende Zeile in der Liste, um den Bildschirm Kursinfo aufzurufen. Drücken Sie dann auf die orangefarbene Schaltfläche mit dem Bleistiftsymbol (Abbildung 15). Felder bearbeiten und drücken Sie "Submit". Um eine Sprache aus dem Kurs zu entfernen, drücken Sie das x-Zeichen (Kreuz) auf der Registerkarte Sprache (Abbildung 16)

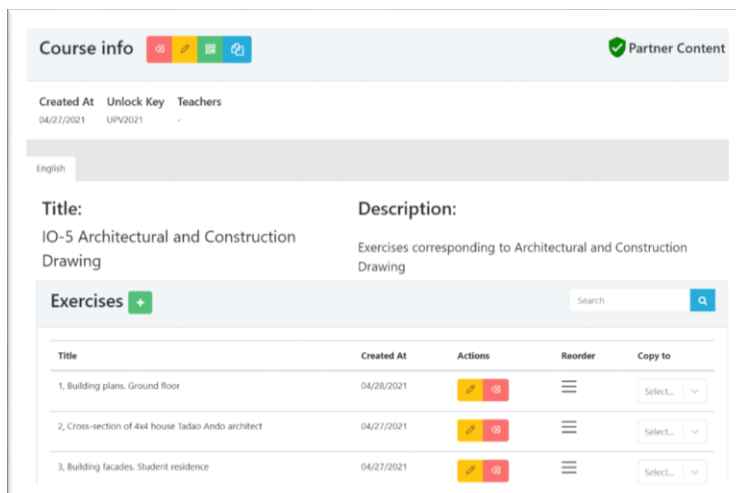


Abbildung 15. Bearbeitung der Kursdaten

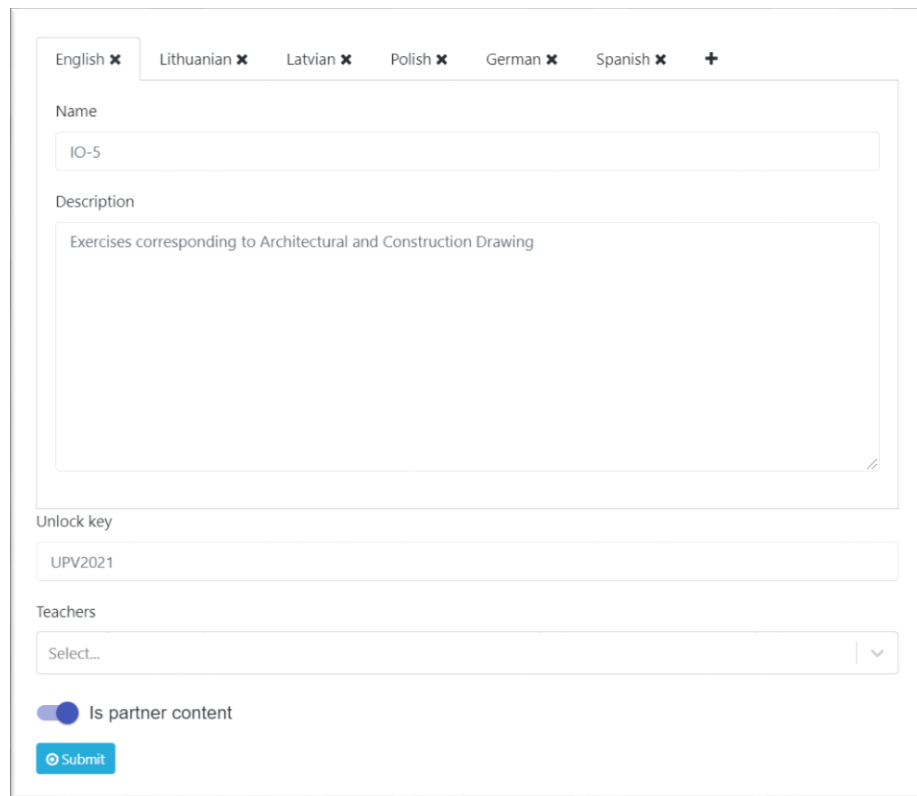


Abbildung 16. Bearbeitung der Kursdaten (II)

- Um den Kurs zu löschen, drücken Sie die rote Taste (Abbildung 15).  
Um den QR-Code auszudrucken, der zur Visualisierung der Augmented-Reality-Inhalte mit der SPACAR-Mobil-App verwendet werden soll, klicken Sie auf das grüne Symbol neben dem Bereich "Kursinformationen" oben im Fenster (Abbildung 15)
- Um das Kursfenster zu öffnen, klicken Sie auf eine Kurszeile in der Kurstabelle oder in der Seitenleiste (Abbildung 17).

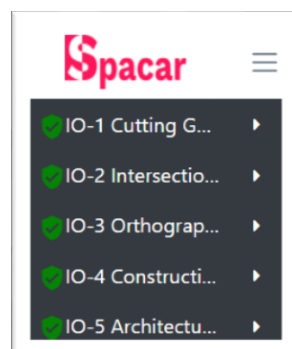
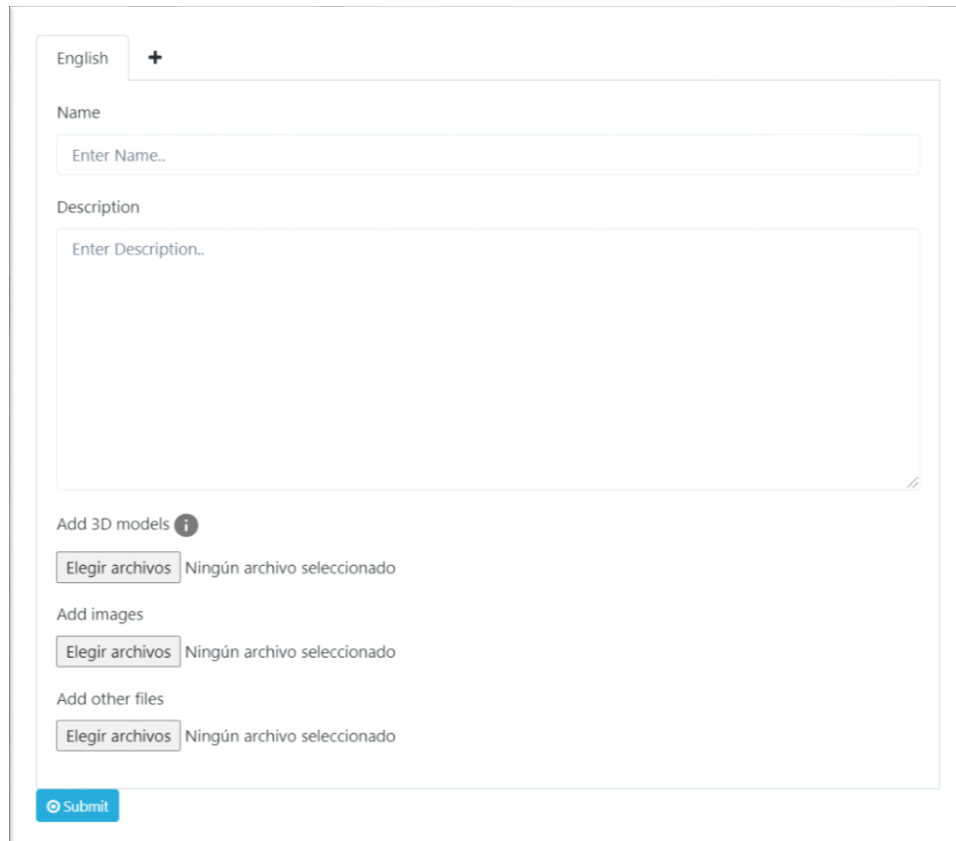


Abbildung 17. Teil der linken Seitenleiste

## A2.3 Management der Übung

- Um die Übungen des Kurses zu sehen, klicken Sie auf eine Kurszeile in der Kurstabelle oder in der Seitenleiste.
- Um eine neue Übung zu erstellen, drücken Sie die grüne Taste mit + (plus).
- Füllen Sie die erforderlichen Felder aus und drücken Sie "Submit" (Abbildung 18) (Abbildung 9). Wenn der Kurs mehrere Sprachen hat, fügen Sie eine neue Übungssprache hinzu, indem Sie das Pluszeichen (+) drücken und die Sprache auswählen.

**Exercises** 



The screenshot shows a web form for creating an exercise. At the top, there is a language selector with 'English' and a '+' icon. Below this are two text input fields: 'Name' with a placeholder 'Enter Name..' and 'Description' with a placeholder 'Enter Description..'. Under the description field, there are three sections for adding media: 'Add 3D models' with an information icon, 'Add images', and 'Add other files'. Each section has a button labeled 'Elegir archivos' (Choose files) and the text 'Ningún archivo seleccionado' (No file selected). At the bottom left of the form is a blue 'Submit' button with a circular icon.

Abbildung 18. Beschreibung der Übung

- Um die Informationen zur Übung zu bearbeiten, drücken Sie auf die orangefarbene Schaltfläche mit dem Stiftsymbol in der Spalte "Aktionen". (Abbildung 19). Felder bearbeiten und drücken Sie "Submit" (Abbildung 20). Um eine Sprache aus der Übung zu entfernen, drücken Sie das x-Zeichen (Kreuz) auf der Registerkarte Sprache.

English
Lithuanian
Latvian
Polish
German
Spanish

**Title:**  
IO-5

**Description:**  
Exercises corresponding to Architectural and Construction Drawing

**Exercises** +

Search













Title	Created At	Actions	Reorder	Copy to
1, Building plans. Ground floor	04/28/2021	 		Select 
2, Cross-section of 4x4 house Tadao Ando architect	04/27/2021	 		Select 
3, Building facades. Student residence	04/27/2021	 		Select 


Abbildung 19. Bearbeitung von Informationen zur Übung.

English
Lithuanian ✕
Latvian ✕
Polish ✕
German ✕
Spanish ✕

**Name**

**Description**  

Using as input a 3D model the joint, create the corresponding drawings including welding symbols. Consider an effective throat thickness of 10 mm for all the welds (only fillet welds are used). All welds are made on field except those corresponding to the angular support.

Add models 

Elegir archivos
Ningún archivo seleccionado

Add images



Elegir archivos
Ningún archivo seleccionado

Add other files

Elegir archivos
Ningún archivo seleccionado

Submit

Abbildung 20. Beschreibung einer Übung

- Um eine Übung zu löschen, drücken Sie die rote Taste in der Spalte "Aktion". (Abbildung 19).
- Um alle Übungen in einen anderen Kurs zu kopieren, drücken Sie die blaue Taste und wählen den Kurs aus, in den Sie die Übungen kopieren möchten (Abbildung 15) 
- Um eine Übung in einen anderen Kurs zu kopieren, drücken Sie die Auswahl in der Aktionsspalte und wählen Sie den Kurs aus, in den Sie die Übungen kopieren möchten (Abbildung 19).
- Um die Reihenfolge der Übungen zu ändern, halten Sie in der Spalte "Neu ordnen" gedrückt und ziehen Sie sie an die gewünschte Stelle in der Reihenfolge. 
- Um das Übungsfenster zu öffnen, drücken Sie auf die Übungszeile in der Übungstabelle oder in der Seitenleiste (Abbildung 19).
- Um die Visualisierung einer mit der Übung verbundenen Datei zu aktivieren, verwenden Sie das Augensymbol (Abbildung 21). Nutzer der mobilen App müssen ihre Kursinhalte aktualisieren.
- Um eine mit der Übung verknüpfte Datei zu löschen, verwenden Sie das Papierkorbsymbol (Abbildung 21).

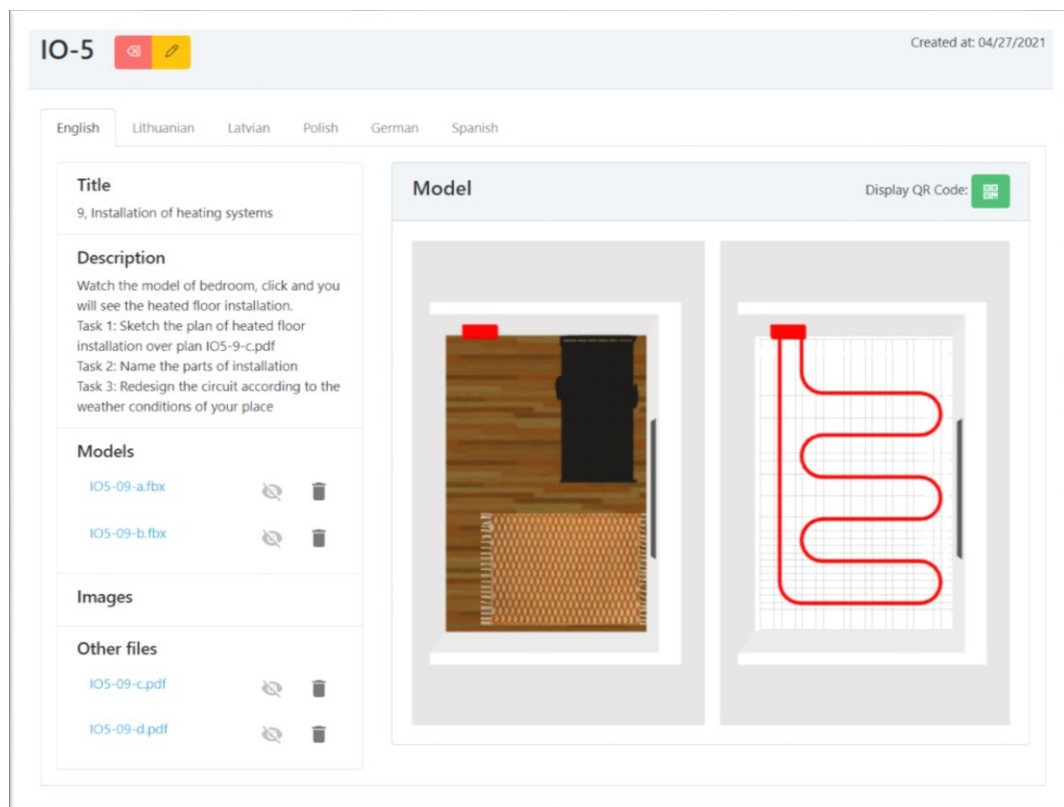


Abbildung 21 Kontrolle der angehängten Dateien in einer Übung

## A2.4 Nutzerverwaltung

Nur Benutzer mit administrativen Rechten können die folgenden Aktionen durchführen.

- Um alle registrierten Benutzer anzuzeigen, klicken Sie auf die Registerkarte "Benutzer" im oberen Registermenü (Abbildung 22).

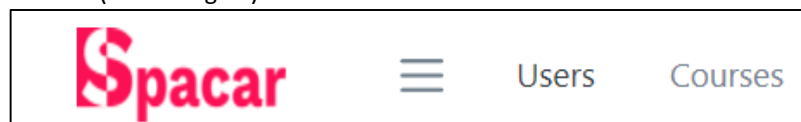


Abbildung 22. Users' tab

- Um einen neuen Benutzer anzulegen, drücken Sie die grüne Taste mit dem Pluszeichen (+). Füllen Sie die erforderlichen Felder aus und drücken Sie "Submit" (Abbildung 23).

Users +

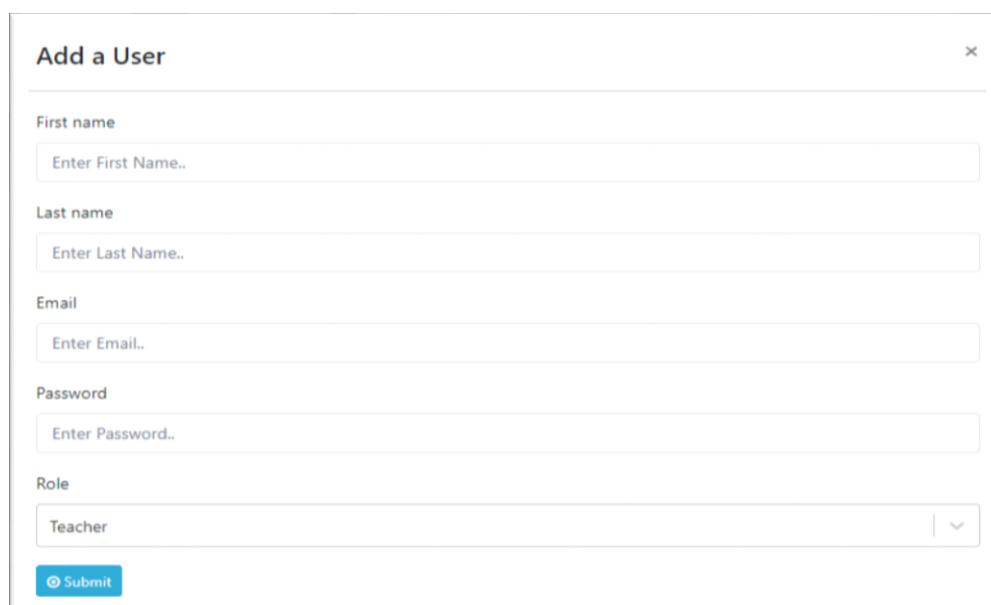
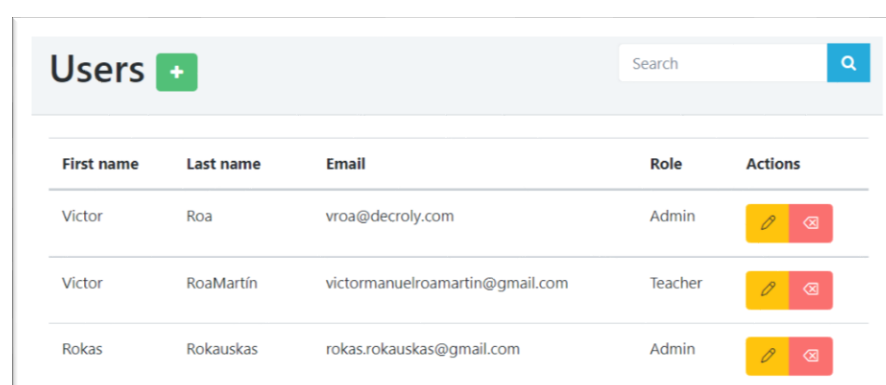


Abbildung 23. Fenster zur Benutzerdefinition









First name	Last name	Email	Role	Actions
Victor	Roa	vroa@decroly.com	Admin	 
Victor	RoaMartín	victormanuelroamartin@gmail.com	Teacher	 
Rokas	Rokauskas	rokas.rokauskas@gmail.com	Admin	 

Abbildung 24. Aktionen für Nutzer

- Um einen Benutzer zu löschen, drücken Sie die rote Taste in der Spalte "Aktion". (Abbildung 24).
- Um die Benutzerinformationen zu bearbeiten, drücken Sie auf die orangefarbene Schaltfläche mit dem Stiftsymbol in der Spalte "Aktion" (Abbildung 24). Felder bearbeiten und drücken Sie "Submit" (Abbildung 25).

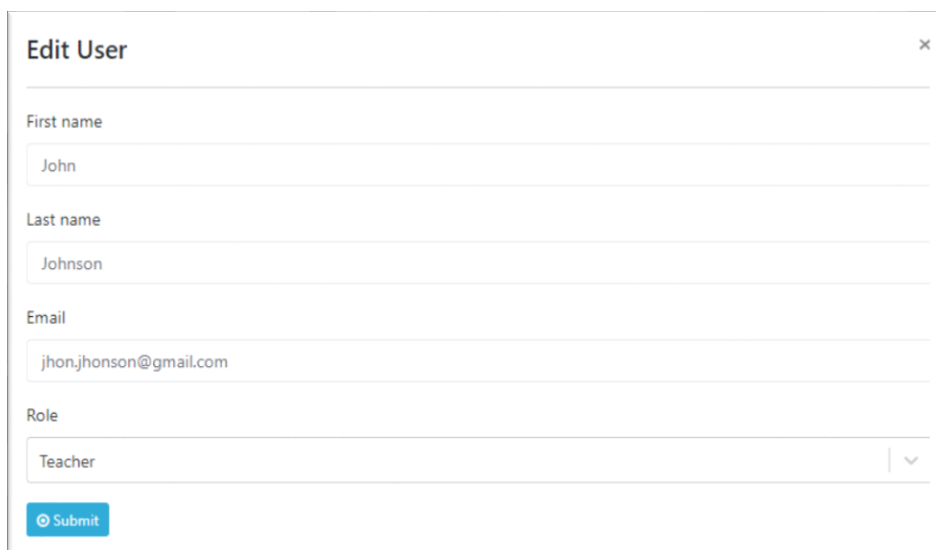


Abbildung 25. Bearbeitung von Nutzerdaten

## A2.5 Nutzergruppen

Die Plattform unterstützt drei Arten von Nutzern, wie in Tabelle 6 beschrieben. Sie haben unterschiedliche Berechtigungsstufen für die von der Plattform unterstützten Aufgaben.

Tabelle 6. Nutzerarten und ihre Berechtigungen

	Admin	Lehrer/in	Student/in Schüler/in
Andere Benutzer erstellen, bearbeiten, löschen	✓	✗	✗
Registrierte Benutzer ansehen	✓	✓ (nur ihre Lernenden)	✗
Kurse erstellen, bearbeiten, löschen	✓	✓ (nur zugewiesen)	✗
Übungen erstellen, bearbeiten, löschen	✓	✓	✗
Kurse und Übungen einsehen	✓	✓ (nur zugewiesen)	✓ (nur freigeschaltet)
Standardsprache ändern	✓	✗	✗



Übungen kopieren	✓	✓	✗
Kurse freischalten	✗	✗	✓
Ansehen von 3D-Modells in Augmented Reality	✗	✗	✓
Bildergalerie der Übung ansehen	✗	✗	✓

## A2.6 Mobile Anwendung



Die SPACAR-App ist das Element, das den Lernenden den Zugang zu den Inhalten der entwickelten Kurse ermöglicht. Wenn der Lernende noch nicht im System registriert ist, kann er/sie auf dem Startbildschirm (Abbildung 26) durch Anklicken des Wortes "Registrieren" seine/ihre E-Mail-Adresse und sein/ihr Passwort eingeben, um einen neuen Benutzer im System anzulegen. Das Passwort muss mindestens 8 Zeichen lang sein und mindestens einen Großbuchstaben, einen Kleinbuchstaben und eine Zahl oder ein Symbol enthalten.

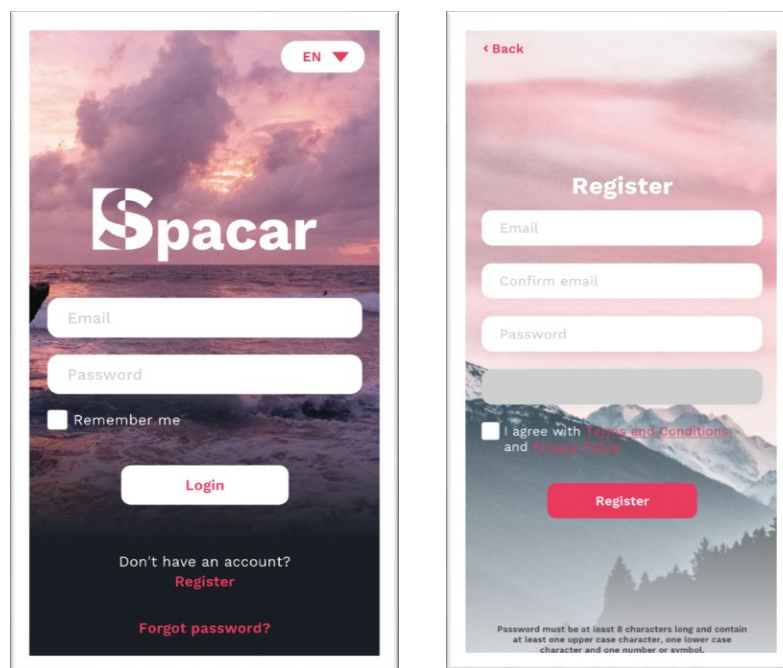


Abbildung 26. Startbildschirm und Anmeldeformular

Falls Sie Ihr Passwort vergessen haben, können Sie es wiederherstellen, indem Sie auf "Passwort vergessen" klicken, um den Bildschirm "Passwort wiederherstellen" zu öffnen. (Abbildung 27).

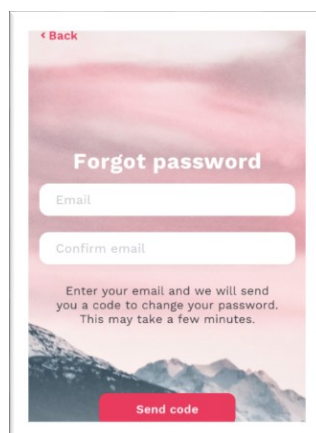


Abbildung 27. Passwort wiederherstellen

Hauptfunktionen der App: Die wichtigsten Aspekte sind:

- Um die angezeigte Sprache zu ändern, drücken Sie die Taste in der oberen rechten Ecke des Anmeldebildschirms oder des Einstellungsbildschirms und wählen Sie die Sprache aus (Abbildung 28).



Abbildung 28. Language selection

- Um einen Kurs freizuschalten, drücken Sie die Plustaste, geben Sie den Schlüssel ein und drücken Sie "Freischalten". (Abbildung 29).



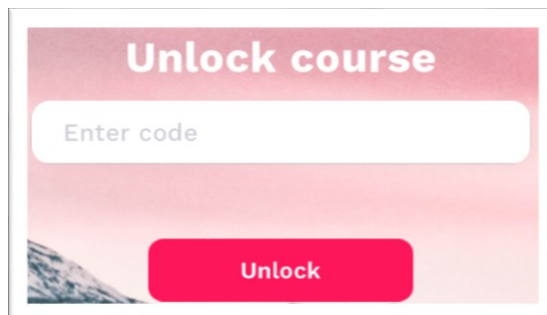


Abbildung 29. Freischalten eines Kurses

- Um einen Kurs zu öffnen, drücken Sie auf die Schaltfläche mit dem Titel des gewünschten Kurses. Diese Schaltflächen werden hinzugefügt, wenn die Kurse freigeschaltet sind (Abbildung 30).

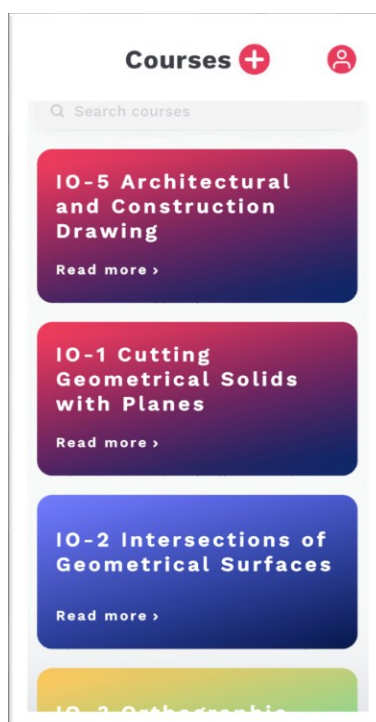


Abbildung 30. Einen Kurs öffnen

- Um einen Kurs zu entfernen, klicken Sie auf die Schaltfläche am unteren Rand eines Kurses und wählen Sie "Entfernen". (Abbildung 31).

**✖ Remove course**

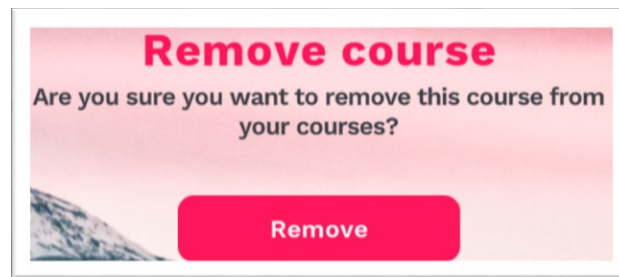


Abbildung 31. Einen Kurs löschen

- Um eine Übung zu öffnen, drücken Sie auf die Schaltfläche mit dem Titel der gewünschten Übung (Abbildung 32). Um ein Bild in der Galerie der Übung anzusehen, drücken Sie auf eine der Schaltflächen, die ein Bild anzeigen.

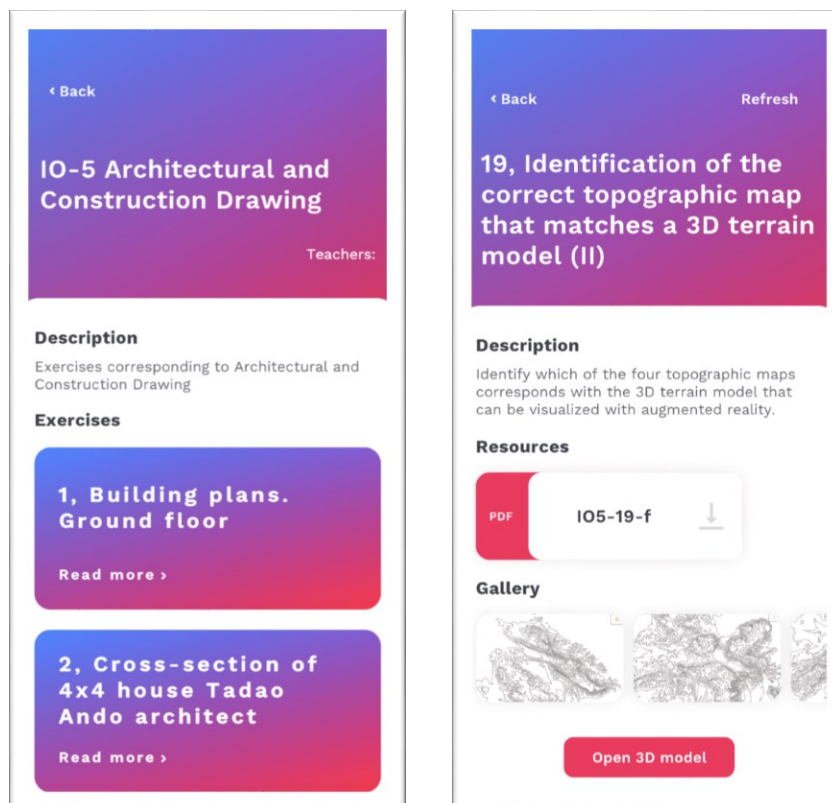


Abbildung 32: Übungsauswahl (links) und Bildergalerie einer Übung (rechts)

- Um eine Datei herunterzuladen, bei der es sich nicht um ein Bild oder ein 3D-Modell handelt (sie werden als Ressourcen aufgeführt), klicken Sie auf den Titel der Datei (Abbildung 17).

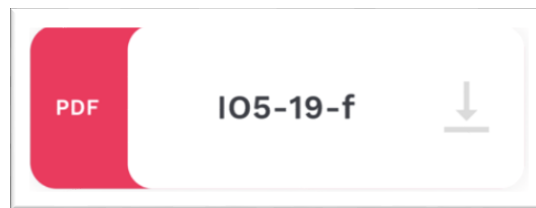


Abbildung 33. Ressourcendatei

- Um ein Bild in der Galerie der Übung zu betrachten, drücken Sie auf eine der Tasten, die ein Bild anzeigen (Abbildung 34)

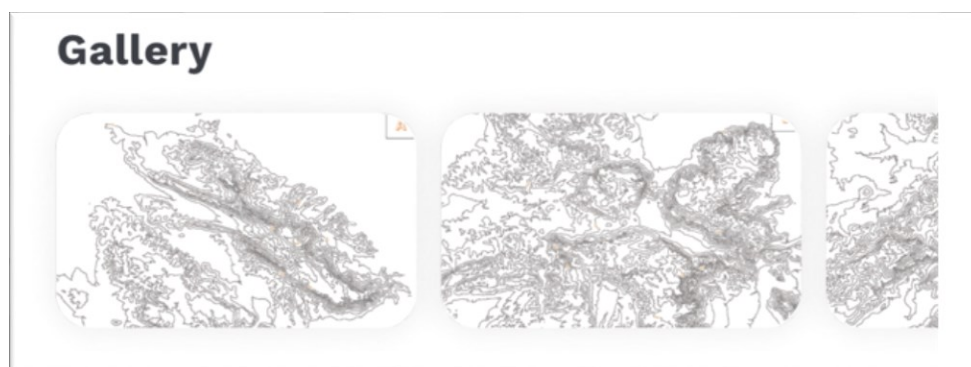


Abbildung 34. Galerie

- Um das 3D-Modell zu betrachten, drücken Sie auf die Schaltfläche "3D-Modell öffnen". Das 3D-Modell wird geladen und kann mit den Fingern gedreht und gezoomt werden (
- Abbildung 35)

Open 3D model

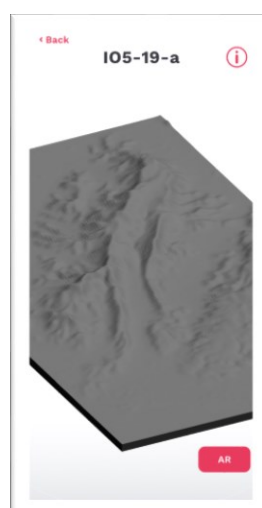


Abbildung 35. Beispiel einer 3D-Visualisierung

- Um das 3D-Modell in der augmented reality zu betrachten, drücken Sie die Taste "AR".

AR



Abbildung 36. Augment reality-Visualisierung

Um die Augmented-Reality-Visualisierung zu nutzen, muss ein QR-Code (siehe Abbildung 37) ausgedruckt werden. Die Kamera des Mobiltelefons muss in der Lage sein, den QR-Code zu sehen, um erfolgreich zu arbeiten.



Abbildung 37. QR-Code für alle Kurse

## A2.7 Korrektur von 3D-Modellen

Manchmal sehen 3D-Modelle schief aus und ihre Schattierung wirkt falsch. Dieses kurze Tutorial hilft bei der Behebung dieses Problems mit der Open-Source-Anwendung Blender, die heruntergeladen werden kann von <https://www.blender.org>.

In Abbildung 38 sind einige Beispiele von Modellen vor und nach der Korrektur dargestellt.



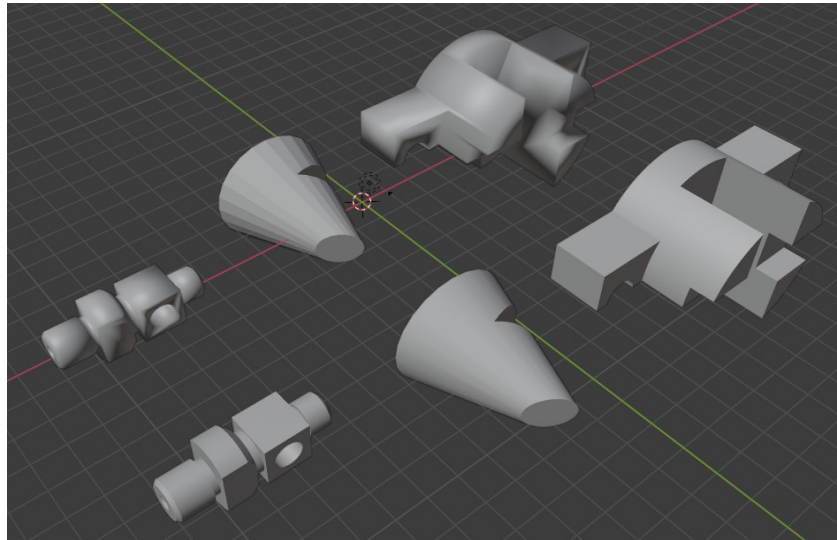


Abbildung 38. Musterteile für das Training.

1. Zuerst importieren Sie das Modell in Ihre Blender-Szene (Datei -> Importieren -> Modellformat auswählen -> Modell auswählen) (Abbildung 39).

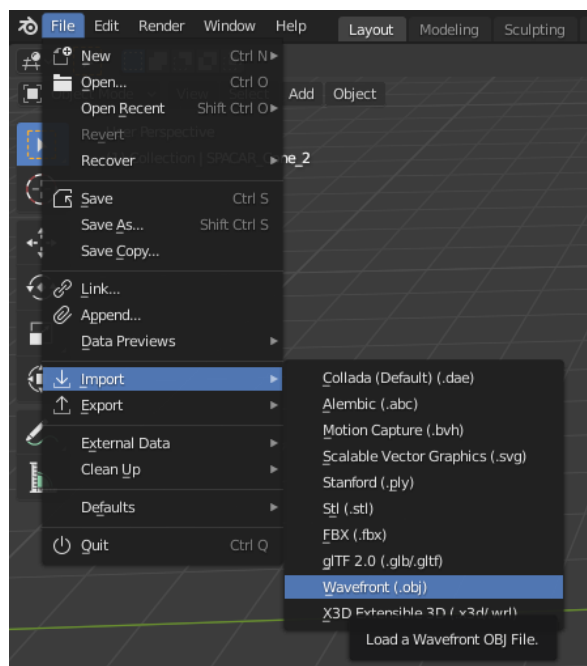


Abbildung 39. Importieren einer Datei in Blender

2. Linke Maustaste auf dem Modell drücken.
3. Wenn es zu groß ist, drücken Sie "n" auf der Tastatur und ändern Sie die Abmessungen im neu angezeigten Feld "Transformieren". (Abbildung 40).



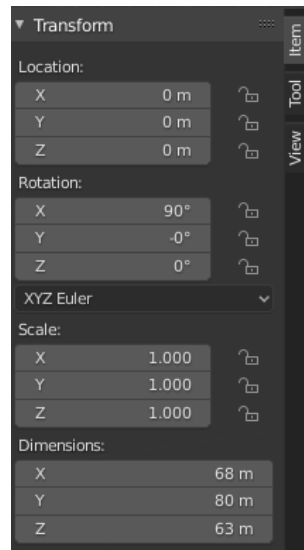


Abbildung 40. Transformieren in Blender

4. Drücken Sie die Schaltfläche "Objektdateneigenschaften" (grünes Dreieck), erweitern Sie die Registerkarte "Normalen" und wählen Sie "Automatisch glätten". (Abbildung 41).

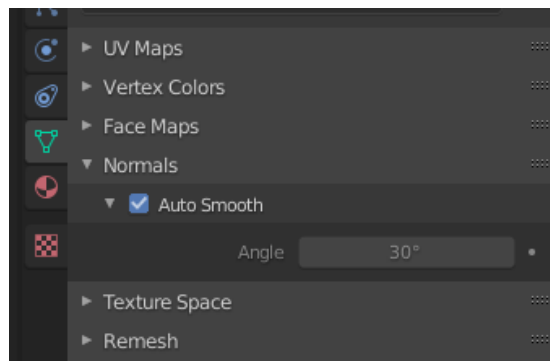


Abbildung 41. Objektdateneigenschaften in Blender

5. Wenn die Option "Automatisch glätten" bereits ausgewählt ist und Sie noch eine Glättung benötigen, deaktivieren Sie die Option "Automatisch glätten" und drücken Sie die Tabulatortaste auf Ihrer Tastatur oder wählen Sie "Bearbeitungsmodus" im oberen Menü. (Abbildung 42).

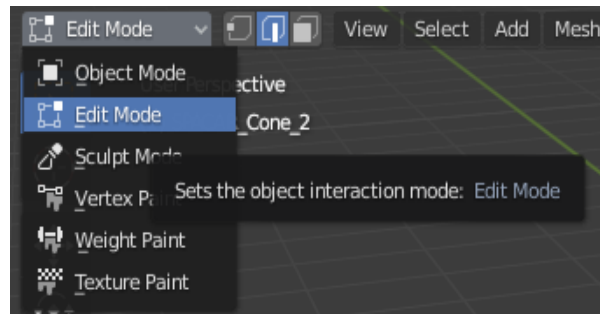


Abbildung 42. Auswahl des Bearbeitungsmodus in Blender

6. Drücken Sie dann die Taste 2 auf Ihrer Tastatur (oberhalb der Buchstaben, nicht auf dem Nummernblock) oder wählen Sie die mittlere Option "Edge Select" - Vergewissern Sie sich, dass "Select Box" auf der Seite ausgewählt ist.



7. Wählen Sie dann die Kanten des Modells mit der Maus aus, indem Sie einen Auswahlrahmen um sie herum ziehen (oder wählen Sie sie einzeln aus) (Abbildung 43).

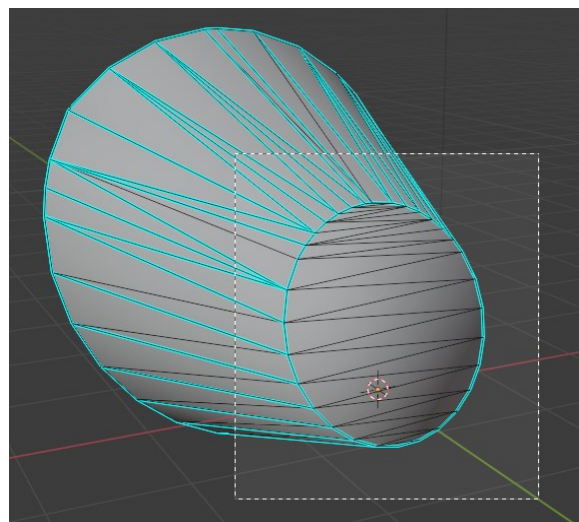


Abbildung 43. Auswahl der Kanten

8. Achten Sie darauf, dass nur die scharfen Kanten ausgewählt werden. (Abbildung 44).

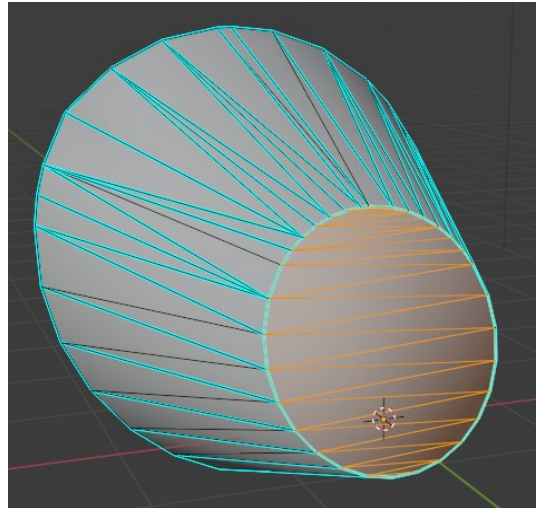


Abbildung 44. Ausgewählte Kanten

9. Sobald die Kanten ausgewählt sind, drücken Sie die rechte Maustaste und wählen Sie "Kantenaufteilung". (Abbildung 45).

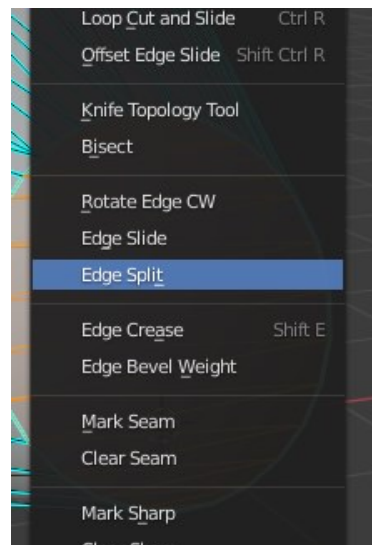
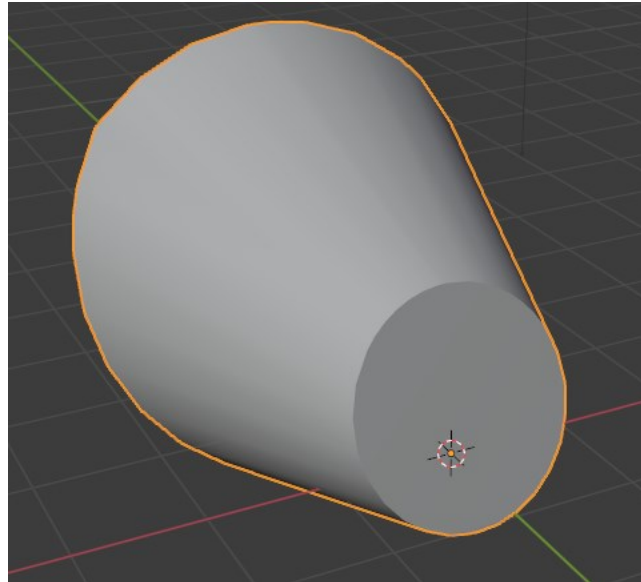


Abbildung 45. Befehl zur Kantenaufteilung

10. Wiederholen Sie die Schritte 7 - 9 für jede flache Seite des Modells. (Abbildung 46).



*Abbildung 46. Festgelegtes Modell*