

## Forschendes Lernen – vor Ort und virtuell.

### Virtual Reality (VR)-Anwendungen im Kontext von Exkursionen am Beispiel der Mittelgebirgslandschaft Kellerwald/Edersee

\* tillmann@studiumdigitale.uni-frankfurt.de, studiumdigitale – Zentrale eLearning-Einrichtung, Goethe-Universität Frankfurt

\*\* j.wunderlich@em.uni-frankfurt.de, Institut für Physische Geographie, Goethe-Universität Frankfurt

eingereicht am: 24.04.2023, akzeptiert am: 11.08.2023

Die Entwicklung eines Verständnisses zur Geomorphogenese eines Landschaftsausschnitts und Anwendung von Wissen im Gelände ist für Studierende und Schüler\*innen eine Herausforderung. Aufgrund der Dreidimensionalität und zeitlichen Variabilität fällt es schwer, adäquate mentale Modelle zu Landschaftsstrukturen und geomorphodynamischen Prozessen aufzubauen. Der Beitrag beschreibt einen Ansatz des forschenden Lernens vor Ort zur Erschließung eines Landschaftsausschnitts und zum Aufbau eines mentalen Modells zur Landschaftsentwicklung in mehreren methodischen Schritten. Die Integration von Lernerfahrungen aus Geländebeobachtungen, dem Zeichnen der Reliefelemente und einer Virtual Reality (VR)-Umgebung erleichtern dabei durch Perspektiv- und Maßstabswechsel das Verständnis für raum-zeitliche Einordnungen, Verbindungen und Lage der Landschaftselemente und ihre Entwicklung.

Keywords: Forschendes Lernen, Exkursion, Geomorphologie, Landschaftsentwicklung, Virtual Reality (VR)

#### **Inquiry-based learning – on-site and virtual.**

#### **Virtual Reality (VR) applications in the context of excursions using the example of the low mountain range landscape of Kellerwald/Edersee**

Developing an understanding of the geomorphogenesis of a landscape section and applying knowledge in the field is challenging for students of geography. Due to the three-dimensionality and temporal variability, it is difficult to build adequate mental models of landscape structures and geomorphodynamic processes. This paper describes an approach of on-site inquiry learning to access a landscape section and build a mental model of landscape evolution in several methodological steps. The integration of learning experiences via field observations, drawing relief elements and a virtual reality (VR) environment facilitate the understanding of spatio-temporal arrangements, connections and location of landscape elements and their development by changing perspective and scale.

Keywords: inquiry-based learning, field trip, geomorphology, landscape evolution, virtual reality (VR)

### **Einleitung**

Die Beschäftigung mit geomorphologischen Fragestellungen hilft zu verstehen, wie Landschaften entstehen, wie Menschen und Umgebung interagieren, welche Konsequenzen sich aus alltäglichen räumlichen Entscheidungen ergeben, wie sich Naturkatastrophen entwickeln und wie Auswirkungen auf den Menschen vermieden werden können, wie Ressourcen nachhaltig genutzt und eine standortgerechte Landnutzung gefördert wer-

den kann. Der Aufbau von Verständnis und Wissen zu diesen Phänomenen und Prozessen wird allgemein als ein Schlüssel für geographische Bildung anerkannt (vgl. Commission on Geographical Education 2016).

#### *Herausforderungen physisch-geographischen Wissensaufbaus auf Exkursionen*

Das Institut für Physische Geographie der Goethe-Universität forscht und lehrt zu terrestrischen

Mensch-Umwelt-Systemen im Globalen Wandel. Die Beobachtung und das Verstehen raum-zeitlicher Variabilität von Strukturen, Prozessen und Funktionen erdräumlicher Systeme stehen hierbei im Zentrum physisch-geographischer Lehre. Die Komplexität betrachteter Themenbereiche wie Klima, Klimawandel, Oberflächenentwicklung und Landschaftsveränderungen entsteht aus der Vielfalt der Systemkomponenten mit Wechselwirkungen und Rückkopplungseffekten, die als räumliche Phänomene auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und Zeitskalen untersucht werden. Aufgrund der Dreidimensionalität und zeitlichen Variabilität haben Studierende erhebliche Verständnisschwierigkeiten und Probleme, adäquate mentale Modelle (vgl. Schnotz & Bannert 2003) von diesen Strukturen und Prozessen aufzubauen (vgl. Ormand et al. 2017). Für Studierende ist es eine Herausforderung, mithilfe derzeit im Studium zur Verfügung stehender Medien wie Lehrbüchern, Fotografien, Karten, Satellitenbildern, Animationen und Videos differenzierte mentale Modelle von Strukturen der Erdoberfläche zu bilden, die eine grundlegende Bedingung für weiterführende Verstehensprozesse darstellen (vgl. Tretter et al. 2006). In diesem Zusammenhang werden Exkursionen als ein wichtiges Element zur Förderung geographischer Lernprozesse angesehen (vgl. Fuller et al. 2000, 2006). Jedoch fällt es, unserer Beobachtungen nach, Studierenden auch bei Exkursionen vor Ort häufig schwer, wesentliche Landschaftselemente aus der Fülle an Eindrücken zu selektieren und ihre räumliche Lage zu fassen. Eine große Herausforderung stellt die Identifikation von Formen und deren zeitliche und räumliche Veränderung dar, die wiederum Rückschlüsse auf die Dynamik von Prozessen erlauben, wie zum Beispiel die Rekonstruktion ehemaliger Talböden und Flussverläufe, die für das Verständnis geomorphodynamischer Systeme wie der Entwicklung von Abflussregimen, Verständnis von Hochwasserentwicklung etc. fundamentale Bedeutung haben. Die unterschiedlichen Größenverhältnisse und Zeitskalen bei der Betrachtung der Phänomene sowie die Übertragung herkömmlicher zweidimensionaler Abbildungen übersteigt sehr schnell die visuell-räumliche Vorstellungskraft der Lernenden (vgl. Kastens & Manduca 2012).

### *Virtual Reality Learning Environments*

Der Umgang mit unterschiedlichen Darstellungsformen wie 2D- und 3D-Darstellungen kann das räumliche Vorstellungsvermögen verbessern und die Entwicklung von Vorstellungen räumlicher Zusammenhänge erleichtern (vgl. Ishikawa & Kastens 2005). Durch technische Weiterentwicklungen im Hard- und Softwarebereich von dreidimensionalen

(3D) virtuellen Lernumgebungen, auch *Virtual Reality Learning Environments (VRLE)* genannt (vgl. Huang et al. 2010), werden heute zuvor unerreichte Qualitäten der Veranschaulichung von Inhalten erzielt und Interaktionen möglich, die die Konzeption von Lernszenarien des entdeckenden, explorativen Lernens im virtuellen dreidimensionalen Raum erlauben (vgl. Fowler 2015).

Die Potentiale der Technologien zur Erleichterung des Verständnisses räumlicher Zusammenhänge geomorphologischer Prozesse sollen in Verbindung mit einer Exkursion mit physisch-geographischem Schwerpunkt genutzt werden. Die Anwendung interaktiver VR-Geodaten-Visualisierungen wurde daher in Verbindung mit einer Exkursion in die Mittelgebirgsregion Kellerwald/Edersee in Hessen entwickelt und erprobt. Die Lernelemente sind Teil des Veranstaltungskonzeptes ‚Forschendes Lernen vor Ort‘ aus dem Lehramtsstudiengang Geographie, bei dem forschungsorientierte Methoden mit einem problem- und erfahrungsbasierten Ansatz (vgl. Fuller et al. 2000; Dewey 1938) verbunden werden.

### *Lernziele und Kompetenzen*

Das hier beschriebene fachwissenschaftliche Ziel der Exkursion ist es, Studierende beim Aufbau eines adäquaten mentalen Modells der Reliefentwicklung einer deutschen Mittelgebirgslandschaft zu unterstützen. Die Studierenden sollen dazu befähigt werden, unterschiedliche Landschaftselemente und -formen zu benennen und die geomorphologische Entwicklung eines Landschaftsausschnitts (Genese) erklären zu können. Dazu sollen sie einzelne Landschaftsausschnitte und -formen im Gelände identifizieren und in ihrem Entwicklungsprozess zeitlich einordnen können (im konkreten Beispiel permische und tertiäre Rumpfflächen, quartäre Taleintiefungen mit Talmäandern, Flussterrassen etc.). Am Beispiel der Mittelgebirgslandschaft Kellerwald/Edersee sollen dabei allgemeingeographische Fragestellungen wie die der Rumpfflächenbildung oder Talentwicklung auf ein regionales Beispiel angewendet werden können. Zusätzlich dient das Konzept auch als didaktischer Doppeldecker, das heißt, dass die in der Veranstaltung erlebten Methoden und Vorgehensweisen in die spätere Lehrtätigkeit übertragen werden können (vgl. Wößmann 1996; Hentig 1978). Ziel ist es also auch, dass die Studierenden eigenen Unterricht nach der Methode des forschenden Lernens konzipieren können.

### *Forschendes Lernen*

Auch wenn forschendes und problemorientiertes Lernen häufig als Bezugspunkt für pädagogische Konzep-

te dient, werden die philosophischen Grundgedanken des Ansatzes nur selten angesprochen. Anders Chappell (2007), der in seinen Arbeiten anhand von Beobachtungsprotokollen von Unterricht feststellt, dass die Reflexion von Lernenden erst einsetzt, nachdem ein Problem erkannt und die Ungewissheit seiner Lösung akzeptiert wurde (vgl. Chappell 2007: 259). Dies ist der Kern von Deweys pädagogischer Philosophie, auf den sich unser Konzept des hier vorgestellten Ansatzes forschenden Lernens stützt (vgl. Dewey 1938). Forschendes Lernen ist ein methodischer Zugang, bei dem die Lernenden aktiv am Forschungsprozess beteiligt werden. Die Methode zielt darauf ab, dass Lernende eigenständig Fragen formulieren, Hypothesen aufstellen, Daten sammeln, analysieren und interpretieren (vgl. Huber & Reinmann 2019). Nach Dewey (1938) findet dabei „eine kontrollierte oder gerichtete Transformation einer unbestimmten Situation in eine, die in ihren konstituierenden Unterscheidungen und Beziehungen bestimmt ist, statt, um die Elemente der ursprünglichen Situation in ein vereinheitlichtes Ganzes umzuwandeln“ (Dewey 1938: 104) (siehe Abb.1).

Phase	Strukturmuster	Merkmale der Erfahrung
1.	unbestimmte Situation	Verwunderung, Verunsicherung, Irritationen
2.	Institution eines Problems	Vorläufige Interpretation der Situation
3.	Konkretisierung einer Problemlösung	Sorgfältiger Überblick: Untersuchung, Exploration, Analyse
4.	Vernünftiges Begründen	Ausarbeitung einer vorläufigen Hypothese, wird mit Tatsachen in Einklang gebracht
5.	Bewährung der Problemlösung	Gestaltung der Hypothesen als Handlungsplan; Anwendung und Testung

Abb. 1: Grundprinzipien des aktiven, forschenden Lernens  
(Quelle: Tillmann et al. 2017 nach Dewey 1938)

Die erste Phase umfasst Elemente, die als Beginn jedes Lernprozesses angesehen werden: Irritation und Verblüffung, die durch eine gegebene Situation und/oder Information verursacht werden. In Phase 2 werden die Bestandteile einer gegebenen Situation beobachtet und vorläufig interpretiert. Phase 3 ist gekennzeichnet durch die Beobachtung von Fakten und die Entwicklung von Bedeutungen, Ideen und der möglichen Übereinstimmung zwischen Fakten und Ideen. Die Funktion der Ideen ist es, Beobachtungen zu lenken und relevante Fakten zu ermitteln. Aufgrund schlussfolgernden Denkens werden in Phase 4 Hypothesen entwickelt. Sobald Fakten verfügbar sind, beginnt Phase 5. Beobachtete Fakten und Ideen/Hypothesen werden in eine operationale Beziehung gebracht, indem die konstituierenden Elemente von Phase 1 zu einer erklärenden Einheit neu angeordnet werden (vgl. Tillmann et al. 2017 nach Dewey 1938). Die Rolle der Lehrenden besteht dabei darin, zunächst

die Lernenden in eine irritierende oder verwundernde Ausgangssituation hineinzuführen. Dies kann auf einer Exkursion eine besondere Landschaftssituation sein (z. B. ehemalige zerschnittene Rumpfflächen als Hochflächen – Wieso sind die Berggipfel alle flach?) oder Strukturen (z. B. geologische Falte – Wie können feste Gesteine verbogen sein?). Dabei sollen zunächst Phänomene beobachtet und Fragen gestellt werden, die dabei aufkommen. Die Lehrenden unterstützen dann als Lernbegleiter\*innen den aktiven und partizipativen Lernprozess mit Hypothesenbildung, Datensammlung, Analyse und Interpretation (vgl. Tillmann et al. 2017 nach Dewey 1938).

### Forschendes Lernen am Beispiel der Exkursion Kellerwald/Edersee

Das hier vorgestellte Lehrveranstaltungs-konzept für Lehramtsstudierende der Geographie wurde über mehrere Jahre fortlaufend evaluiert und weiterentwickelt (vgl. Tillmann et al. 2017). Neben allgemeingeographischen und kulturhistorischen Fragestellungen (vgl. Wunderlich 2011) und Fragen zum Potential des Besuches des Nationalparks Kellerwald-Edersee zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung bildet die Geomorphogenese des Exkursionsgebietes einen inhaltlichen Schwerpunkt. Im Folgenden wird die fachdidaktische Herangehensweise zu diesem Themenschwerpunkt beschrieben. Die Vorgehensweise ist aus unserer Perspektive einerseits sehr gut geeignet, um sie auf andere physisch geographische Exkursionen mit geomorphologischem Schwerpunkt und/oder andere Räume zu übertragen. Andererseits lässt sie sich aber auch in einem angepassten Leistungsniveau und zeitlichen Rahmen für den Unterricht an Schulen adaptieren.

#### Naturräumliche Einordnung des Exkursionsgebietes

Der Kellerwald ist naturräumlich dem westhessischen Berg- und Senkenland zuzuordnen (vgl. Klausling 1988). Geologisch betrachtet ist er ein nach Osten gerichteter Ausläufer des Rheinischen Schiefergebirges. Er ist vorwiegend aus paläozoischen Gesteinen aufgebaut, die im Zuge der variskischen Gebirgsbildung gefaltet wurden. Neben geomorphologisch sehr widerständigen Quarziten dominieren Grauwacken sowie Ton- und Kieselschiefer. Gelegentlich treten auch Diabase auf. Nach Norden hin grenzt der Kellerwald an die Waldecker Tafel und im Südwesten an den Burgwald. Im Osten schließt sich die Hessische Senke an. Diese den Kellerwald umgebenden Naturräume sind überwiegend durch flach lagernde Gesteinsserien aus

der Zeit des Zechsteins und des Buntsandsteins gekennzeichnet, die dem paläozoischen Grundgebirge unmittelbar aufliegen. Bei den Sedimentgesteinen des Zechsteins handelt es sich überwiegend um Kalkstein und Dolomit. Sie treten in einem den Sporn des Kellerwaldes umgebenden schmalen Saum an die Oberfläche und werden distal von Sandsteinen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins überlagert. Das kuppige, stark gegliederte Relief des Kellerwaldes unterscheidet sich deutlich von den angrenzenden Landschaften, welche durch eher flächenhaften Charakter gekennzeichnet sind. Letztere erreichen Höhen von etwa 400 m ü. NN, während im nördlichen Kellerwald die Gipfelflagen meist zwischen 400 und 600 m ü. NN und im südlichen Hohen Kellerwald sogar bei 675 m ü. NN liegen. Im Norden ist das Relief des Kellerwaldes durch das stark gewundene in west-östlicher Richtung angelegte Edertal geprägt, in dem sich zwischen Herzhausen und Hemfurth-Edersee der künstlich aufgestaute Edersee erstreckt (vgl. Wunderlich 2011).

#### *Ablauf der Veranstaltung und methodisches Vorgehen*

Die Methode zur Erschließung eines Landschaftsausschnitts und Aufbau eines mentalen Modells zur Landschaftsentwicklung erfolgt in der Veranstaltung in mehreren Schritten.

#### **1) Vorbereitungsseminar**

Die Veranstaltung beginnt mit einem Vorbereitungsseminar mit vier über das Semester verteilten zweistündigen Präsenzterminen. Der erste Termin dient einer ersten Einführung in den Naturraum des Exkursionsgebietes (naturräumliche Lage, Geologie, Hydrologie, Klima) anhand eines Lehrenden-Inputs mit anschließender Diskussion zu ersten fachlichen Fragen. Die weiteren Vorbereitungssitzungen dienen der Diskussion von Theorien zur geomorphodynamischen Landschaftsentstehung unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und in unterschiedlichen geologischen Zeiträumen.

#### *Aufgabenstellung*

Vor den jeweiligen Präsenzterminen beantworten die Studierenden schriftlich Leitfragen (siehe Anhang) zu Kernaussagen ausgewählter Texte zu geomorphologischen Themen. Zusätzlich formulieren sie Fragen zu unklaren Aspekten und laden Lösungen und Fragen in einer Lernplattform hoch. Eine Kleingruppe leitet dann jeweils die Diskussion zu den geomorphologischen Theorien in Präsenz. Sie bereitet sich darauf mithilfe der Abgaben zu Leitfragen und unklaren Punkten der Mitstudierenden vor.

#### *Materialien*

Zu lesende Texte zu Theorien über Prozesse der Reliefentwicklung wurden danach ausgewählt, inwiefern sie besonders relevant für die Entwicklung der Oberflächenformen im Exkursionsgebiet sind. Sie behandeln die Themenkomplexe Fluvialmorphologie (Ahnert 1996: 213–221; Glawion et al. 2012: 163–171), Quartäre Reliefentwicklung und Terrassenbildung (Ahnert 1996: 234–240; Dalchow 1989: 91–120; Gebhardt et al. 2011: 439–445, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie 2004) und Rumpfflächenbildung (Ahnert 1996: 277–286; Gebhardt et al. 2011 434–442).

#### **2) Online Vorbereitung mit Zeichenkurs**

Eine Herausforderung bei der Beschäftigung mit Oberflächenformen im Gelände ist die genaue Beschreibung eines Landschaftsausschnitts. Wo lassen sich Verebnungen im Gelände erkennen, wo Sporne, Kuppen oder Rücken? Bei der Diskussion mit Studierenden im Gelände entsteht dann leicht die Illusion der Verständigung über einzelne Landschaftselemente. Dass leicht Missverständnisse über Formen und Lage entstehen wird aufgedeckt, wenn man die Studierenden darum bittet, eine Skizze oder Zeichnung zum Gegenstand anzufertigen. Das Skizzieren kann so als Werkzeug genutzt werden, um räumliches Denken und Verständnis zu unterstützen (vgl. Gagnier 2017). Beim Zeichnen wird oftmals ersichtlich, dass nicht genau beobachtet wurde, Elemente nicht erkannt wurden oder ganz andere Bereiche der Landschaft in den Blick genommen wurden.

#### *Aufgabenstellung*

Um Studierende an das genaue Beobachten eines Landschaftsausschnitts und die Entwicklung von eigenen Hypothesen zur Landschaftsentstehung heranzuführen, werden sie in der Vorbereitung der Exkursion dazu befähigt, eigene Zeichnungen und Skizzen im Gelände anzufertigen. Die Studierenden erlernen Grundkenntnisse zu Schraffuren, Perspektive, Proportionen, Gliederung einer Zeichnung etc., sodass sie in der Lage sind, einen dreidimensionalen Landschaftsausschnitt im Gelände auf einem Zeichenblatt abzubilden.

#### *Materialien*

Die grundlegenden Zeichenfähigkeiten eignen sie sich mithilfe eines online Zeichenkurses zum Selbstlernen an (siehe <http://lernbar.uni-frankfurt.de/mdigi/ZFG>), den wir in Kooperation mit einer Zeichenlehrerin der Städelschule in Frankfurt produziert haben.

### 3) Spurensuche zum geologischen Aufbau des Geländes (Steinbruch Nieder-Werbe)

Einer der ersten Standorte der Exkursion ist der Steinbruch *Schieferstein* in Nieder-Werbe (N 51,217551, E 8,995699, WGS84). Es stellt sich für die Studierenden eine verwundernde oder irritierende Ausgangssituation dar (z. B. die Frage „Wie kann es zu einem plötzlichen Wechsel von Gesteinsschichten kommen?“), deren Phänomene über den Prozess des forschenden Lernens erschlossen und enträtselt werden können.

#### *Inhaltlicher Abriss – Was lässt sich an dem Standort herausfinden?*

Vom nördlichen Rand des Steinbruchs kann man einen Blick auf die freigelegte Wand werfen. Es lassen sich zwei Gesteinskomplexe aufgrund ihrer unterschiedlichen Farbe und Lagerung unterscheiden. Unmittelbar unter der Oberfläche steht eine mehr als 5 m mächtige Serie horizontal geschichteter, teilweise gebankter, gelblichbrauner Sedimentgesteine an (siehe Abb. 2, links). Mit 10%iger Salzsäure lässt sich nachweisen, dass es sich um Kalksteine handelt. Sie überlagern diskordant rötlich-violette Gesteine, die ebenfalls eine Schichtung bzw. Bankung erkennen lassen. Die Schichten sind jedoch stark verstellt und fallen steil in unterschiedliche Richtungen ein. Teilweise sind Falten zu erkennen. Es handelt sich überwiegend um Grauwacke, die teils sandig, teils konglomeratisch ausgebildet ist. Einschaltungen von Tonschiefer, erkennbar an der Feinschichtung, sind ebenfalls zu beobachten. Entlang von Klüften sind teilweise eine deutliche Rotfärbung sowie Quarzadern auszumachen.

Die in dem Steinbruch aufgeschlossenen Gesteine und deren charakteristische Abfolge spiegeln sehr eindrucksvoll die erdgeschichtliche Entwicklung in dem Raum wider. Im Paläozoikum existierte vor etwa 400 Mio. Jahren im Bereich des heutigen Kellerwaldes ein Meeresbecken. In diesem wurden während des Devons und dem anschließenden Unteren Karbon (Kulm) mächtige Sedimente abgelagert, die aus den nördlich und südlich gelegenen Festlandsmassen herangeführt wurden. Je nach Sedimentationsmilieu kam es zur Ablagerung von Kiesen und Sanden, aber auch von Tonen. Seit dem Devon, vor allem jedoch am Ende des Unteren und während des Oberen Karbons, erfolgte durch die Bewegung von Lithosphärenplatten von Südosten und Nordwesten eine Stauchung der Sedimentserien, was zur Heraushebung des variskischen Gebirges führte. Gleich nach seiner Entstehung setzte die Abtragung des variskischen Gebirges ein. Durch intensive Verwitterung und Erosion während des Rotliegenden (Perm) wurden die gefalteten Sedimente gekappt. Es entstanden ausgedehnte Rumpfflächen. Vor etwa 250 Mio. Jahren transgredierte auf diesen Gebirgsrumpf aus nordöstlicher Richtung das Zechsteinmeer, in dessen küstennahen Bereichen es zur Ablagerung von stark kalkhaltigen Sedimenten kam. Der zentrale Bereich des Rheinischen Schiefergebirges einschließlich des Kellerwaldes war zu dieser Zeit Festland. An dem Steinbruchstandort markiert die Diskordanz zwischen Grundgebirge und Kalksteinen des Zechsteins die permische Rumpffläche, auf die das Zechsteinmeer transgredierte und auf die man an dieser Stelle förmlich ‚die Hand legen kann‘. Die markante Rotfärbung der Grauwacken sowie weiße Quarzadern entlang von Klüften (keine Reaktion



Abb. 2: Steinbruch Nieder-Werbe mit Blick auf die freigelegte Wand mit diskordant lagerndem Kalkstein über permischem Grundgebirge (Grauwacke) (links) und Spurensuche im Gelände (rechts) (Fotos: J. Wunderlich)

beim Salzsäuretest) werden auf die der Transgression vorausgegangene, intensive chemische Verwitterung zurückgeführt (vgl. Wunderlich 2011).

### *Aufgabenstellung und Materialien*

An dem Standort erschließen sich die Studierenden nach der Methode des forschenden Lernens (siehe Abb. 1) die Entstehung und den geologischen Aufbau des Geländes. Mithilfe geologischer und paläogeographischer Karten, Aufschlusskizzen zur geologischen Karte (vgl. Kulick 1968: 51), topographischer Karten, Geologenhammer, Lupe und Salzsäure zum Kalknachweis begeben sich die Studierenden auf die Spurensuche (siehe Abb. 2, rechts) im Steinbruch mit der Aufgabenstellung, eigenständig Hypothesen zur Entstehung und raum-zeitlichen Einordnung der Landschaftselemente (zeitliche Abfolge und Lagerung der Gesteinsschichten, Milieus der Entstehung, Talbildung, etc.) zu entwickeln. Die Herausforderung besteht darin, die Beobachtungen vor Ort mit den Materialien und Karten zu parallelisieren und in ein stimmiges Ganzes zu bringen.

Anhand der zu beobachtenden Spuren erschließen sich die Studierenden (mit Unterstützung durch die Exkursionsleitung) den geomorphodynamischen Entwicklungsprozess. Die diskordante Lagerung der Gesteinskomplexe lassen auf die Transgression des Zechsteinmeeres schließen und gestatten deren grobe zeitliche Einordnung. Der Salzsäuretest deutet auf den

in der geologischen Karte ausgewiesenen Kalkstein und Dolomit hin, die mit der Lupe erkannten Sandkörnchen und Tonplättchen auf die Grauwacke und Tonschiefer, die Rotfärbung der Grauwacke und Quarzadern auf intensive chemische Verwitterung, die mit der Rumpfflächenbildung im Perm in Verbindung steht, usw.

Abschließend werden von der Exkursionsleitung noch die Blockschollentektonik im Mesozoikum und die erneute Rumpfflächenbildung im Tertiär sowie die Talbildung im Quartär thematisiert. Die aus den beiden letztgenannten Prozessen resultierenden Oberflächenformen lassen sich durch einen Rundblick von der Steinbruchkante im Gelände erkennen. Eine Vertiefung erfolgt jedoch erst im Zusammenhang mit dem Zeichnen der Landschaft.

### **4) Zeichnen als Methode forschenden Lernens**

Eine Landschaft lesen zu lernen, das heißt, einzelne Landschaftselemente wie beispielsweise Verebnungsflächen, Höhenzüge oder Talhänge zu identifizieren und deren raum-zeitliche Entwicklung nachzuvollziehen, kann durch das Anfertigen einer Zeichnung im Gelände effektiv unterstützt werden (vgl. Tillmann et al. 2017). Die dazu erforderliche genaue Beobachtung des Geländes, die Aktivierung von Vorwissen und vorläufige Hypothesenbildung stellen den Anfang des forschenden Lernens dar.

Die zu entschlüsselnde Landschaft ist durch flächenhafte Elemente gekennzeichnet, die während



Abb. 3: Räumliche Zuordnung von Landschaftselementen zu Isotypen auf einer topographischen Karte (Quelle: Wander- und Radwanderkarte Edersee, 1:25.000, Kartographische Kommunale Verlagsgesellschaft mbH, verändert)

verschiedener klimatischer und geologischer Perioden entstanden. Die höheren flach gewellten Elemente wurden durch subtropisch-tropische, intensive chemische Verwitterung und Spüldenudation (so genannte Rumpfflächen) während des Tertiärs, die niedrigeren durch Flussterrassenbildung und Tiefenerosion während der Wechsel von Glazialen und Interglazialen im Quartär geformt (siehe Abb. 4, oben).

Beginn der für diesen Landschaftsausschnitt prägenden Morphogenese stellt die alpidische Gebirgsbildung im Tertiär dar, die vor etwa 65 Mio. Jahren begann. Es kam zu starken tektonischen Aktivitäten im Mittelgebirgsraum. Der Heraushebung der Hessischen Senke stand die Heraushebung so genannter Blockschollen im Bereich des Rheinischen Schiefergebirges gegenüber. Zugleich führte die intensive chemische Verwitterung unter tropisch wechselfeuchten Klimabedingungen zu einer tiefgründigen Zersetzung des Gesteins, was die flächenhafte Abtragung begünstigte. Die so im Tertiär entstandenen Rumpfflächen lassen sich, unabhängig von der Widerständigkeit des Gesteins, von den Sedimentgesteinen der Trias und des Perm (Zechstein) bis in das paläozoische Grundgebirge hinein verfolgen (vgl. Semmel 1980; Wunderlich 2011). Teilweise sind sie als Flächenreste erhalten, teilweise lassen sich diese tertiären Rumpfflächen nur

anhand einheitlicher Gipfelniveaus im 380–400 m-Niveau rekonstruieren. Die Zerschneidung der tertiären Rumpffläche und damit die Anlage des heutigen Reliefs, erfolgte im Quartär während der letzten 2,5 Mio. Jahre. Bei gleichzeitiger Hebung des Kellerwaldes änderten sich die klimatischen Bedingungen und damit auch die geomorphologischen Prozesse im Vergleich zum Tertiär signifikant. Der Ausblick auf den gewundenen Verlauf des Edertals lässt in den Schlingen die für Talmäander typischen Gegensätze von schwach geneigten Gleithängen zu den steilen Prallhängen erkennen. Durch die klimatischen Wechsel sind entlang der Talhänge immer wieder Verebnungsflächen (Flussterrassen) in vergleichbaren Höhenlagen auszumachen, die in mehreren Niveaus übereinander angeordnet sind und ehemalige Talböden darstellen. In dem betrachteten Landschaftsausschnitt (siehe Abb. 4) sind drei solcher Terrassenniveaus deutlich zu erkennen.

#### *Aufgabenstellung und Materialien*

Die Studierenden sind nun damit konfrontiert, die Landschaft, die sie zum ersten Mal sehen, ‚frei zu zeichnen‘ (siehe Abb. 4, oben). Sie befinden sich in einer Situation, in der sie eine gegebene Realität zu Papier

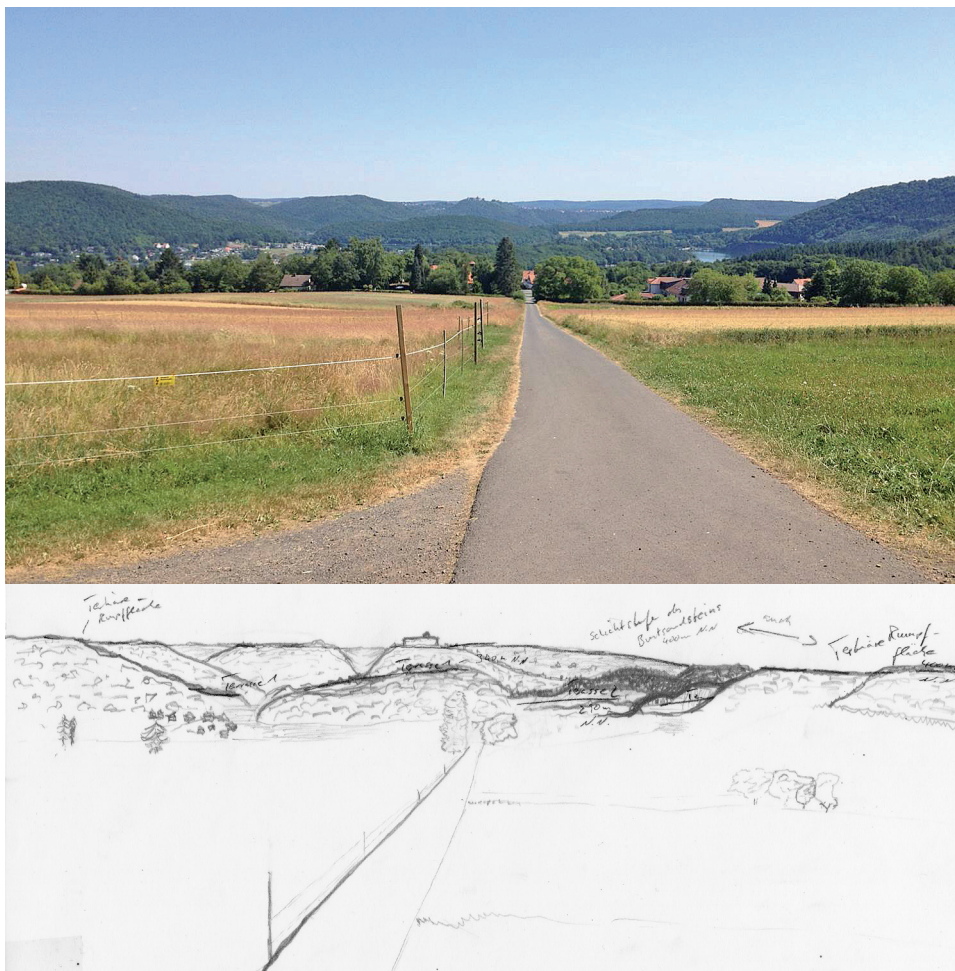


Abb. 4: Foto vom ‚Fünfenblick‘ (N 51,168642, E 8,991599, WSG84) nach Nordosten und die dazugehörige Landschaftszeichnung mit spezifischen Landschaftselementen und deren terminologischer Kennzeichnung (Foto und Zeichnung: A. Tillmann)

bringen und dabei Perspektive und Maßstab berücksichtigen müssen. Beim Zeichnen kommen Fragen nach der Entstehung auf. Die Beobachtung löst Irritationen aus (siehe Abb. 1, Phase 1). Wieso sind die Höhenzüge wie Ebenen geformt, sollten Berggipfel nicht eher kuppig sein? Wieso treten an den Hängen immer wieder Verebnungen auf? Einer vorläufigen Interpretation (Phase 2) folgt die Konkretisierung des Problems. Landschaftselemente werden beschrieben und gezeichnete Strukturen in ein zeitlich-räumliches Entwicklungskonzept eingeordnet (Phase 3). Vorläufige Hypothesen der Entstehung werden mit Tatsachen in Einklang gebracht (Phase 4). Es erfolgt die räumliche Zuordnung von Landschaftselementen zu Isotypen auf einer topografischen Karte, um räumlich entfernte liegende Verebnungsflächen und Gipfelniveaus in Beziehung zu setzen (siehe Abb. 3).

Anschließend werden Elemente der Landschaft mit Fachtermini als vorläufige Hypothesen auf einem über die Zeichnung gelegten Transparentpapier beschriftet (siehe Abb. 4, unten).

Als letzten Schritt werden Aspekte der geomorphogenetischen Entwicklung überprüft (Phase 5). Als Beleg für die Hypothese, dass die entdeckten Verebnungsflächen an den Talhängen ehemalige Talböden sind, werden auf den Feldern Lesesteine gesammelt. Über die Bestimmung des Rundungsgrades können diese als ehemalige Flusschotter (siehe Abb. 5) identifiziert und damit die Hypothese bestätigt werden, dass es sich um pleistozäne Terrassen der Eder handelt.

Die Methode des Zeichnens erhält so eine prädeutische Funktion innerhalb des Lernprozesses. Die Studierenden lernen vielfältige Eindrücke und Elemente in eine interpretative Struktur zu bringen.



Abb. 5: Abgerundeter Flusschotter des Flusses Eder und an die Oberfläche geflügter kantiger Schutt des anstehenden Gesteins (Foto: A. Tillmann)

Autor\*innen, die über künstlerische Skizzenstile reflektieren, beschreiben, wie das Zeichnen in jüngster Zeit sowohl methodisch als auch theoretisch wiederentdeckt wurde (vgl. Dobler 2014). Sie weisen darauf hin, dass die zeichnende Person aktiv mit Informationen umgeht, die sowohl intellektuell als auch manuell übersetzt werden. Ähnlich wie bei dem hier diskutierten Ansatz wird die Übersetzung als nachvollziehbarer Prozess vom Sehen zum Zeichnen beschrieben und „das Gesehene wird auf das Wesentliche reduziert“ (Dobler 2014: 5).

### 5) Virtual Reality-Anwendung zur Unterstützung des Verständnisses raum-zeitlicher Prozesse

Nach dem direkten Erforschen des Geländes nutzen die Studierenden zur Rekapitulation, Vertiefung und Reflexion des Gelernten eine interaktive 3D-Virtual Reality (VR)-Anwendung. Technische Entwicklungen wie die Visualisierung des Geländes in interaktiven dreidimensionalen Räumen, in denen sehr unterschiedliche Maßstabebenen und Perspektiven eingenommen werden können, versprechen das Verständnis für die Formen, Lage und Dimensionen von Landschaftselementen noch einmal erheblich verbessern zu können. Besonders starke Immersion mit überzeugender Illusion des Dreidimensionalen und weitreichenden Interaktionsmöglichkeiten bieten so genannte Head-Mounted Displays, die als VR-Brillen aufgesetzt und durch neue Ein-/Ausgabegeräte ergänzt werden (siehe Abb. 6).

Um tiefgreifendes Verständnis aufbauen zu können, sollten Lernende in der VR-Umgebung explorieren und manipulieren können (vgl. Fowler 2015). Lerneffekte fallen durch die Möglichkeiten direkter Manipulation höher aus, als in VR-Umgebungen, in denen lediglich betrachtet, aber nicht interagiert werden kann (vgl. Jang et al. 2017). Die von uns entwickelte



Abb. 6: Erkundung des Geländes virtuell in unterschiedlichen Perspektiven und Dimensionen (Foto: J. Wunderlich)



interaktive VR-Simulation stellt daher einen Ermöglichungsrahmen zum Aufbau tiefgreifenden Verständnisses raum-zeitlicher Prozesse dar. Die Reflexion der im Gelände zuvor aufgebauten mentalen Modelle und die Wiedergabetreue der 3D-Repräsentation können den Zugang zum Gegenstand erheblich erleichtern.

### *Aufgabenstellung*

Die Studierenden betreten das virtuelle Gelände zunächst aus der Vogelperspektive, um sich zu orientieren und Landschaftselemente aus der Realbegegnung wiederzuentdecken (siehe Abb. 7, links). Mit einem Höhenmesser werden Geländeabschnitte vermessen (siehe Abb. 7, mittig), die Höhe markiert und an unterschiedlichen Geländestellen verglichen. Zur Rekonstruktion der tertiären Rumpffläche und der Lage pleistozäner Ederterrassen kann in der Anwendung eine halbtransparente Ebene in das Gelände eingezogen werden („Tal zuschütten“), sodass Flächen gleicher Höhe einfacher erfassbar werden (siehe Abb. 7, rechts). Funktionen, wie die Himmelsrichtung und Sonnenstand, ermöglichen die Exploration weiterer funktionaler Zusammenhänge von Geofaktoren (z. B. Landnutzung und Exposition, Relief, Strahlungsverhältnisse und Vegetation).

### *Materialien*

Auf Grundlage digitaler Geländemodelle und verfügbarer 2D-Visualisierungen wurden 3D-Objekte für

die VR-Umgebung erzeugt und Abbildungssequenzen in dynamische 3D-Visualisierungen überführt. Geodaten der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation ( $x,y,z$ -Werte) wurden in die Game-Engine Unreal als digitales Geländemodell der Region um den Edersee (25 x 20 km) übertragen und mit Luftbildern bzw. Orthofotos als Texturen ausgestattet. Darüber hinaus wurde zur leichteren Orientierung die Burg Waldeck als 3D-Modell rekonstruiert und im Geländemodell platziert. Im Vergleich mit den Möglichkeiten in Google Earth VR, bei der die gesamte Erde als 3D-Anwendung in unterschiedlichen Maßstabsebenen zur Erkundung der Oberflächenformen genutzt werden kann, bietet die von uns speziell für den Landschaftsausschnitt konzipierte Anwendung weitreichendere Interaktionsmöglichkeiten mit dem Gelände.

Darüber hinaus wurde eine Animation in die VR-Umgebung zur Unterstützung der mentalen Modellbildung zum Prozess der Talbildung im Pleistozän durch Tal-/Gleitmäander mit Flusseintiefung und Gleithangbildung integriert (siehe Abb. 8). Dazu haben wir das Gelände zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien rekonstruiert, entsprechende Höhenlinien in einem geographischen Informationssystem (GIS) digitalisiert und in die Game-Engine Unreal übertragen. Eine Herausforderung bestand darin Verfahren zu entwickeln, um die Übergänge aus Abbildungssequenzen dynamisch zu modellieren. In der dynamischen Visualisierung, die im virtuellen Gelände in unterschiedlichen Perspektiven und von

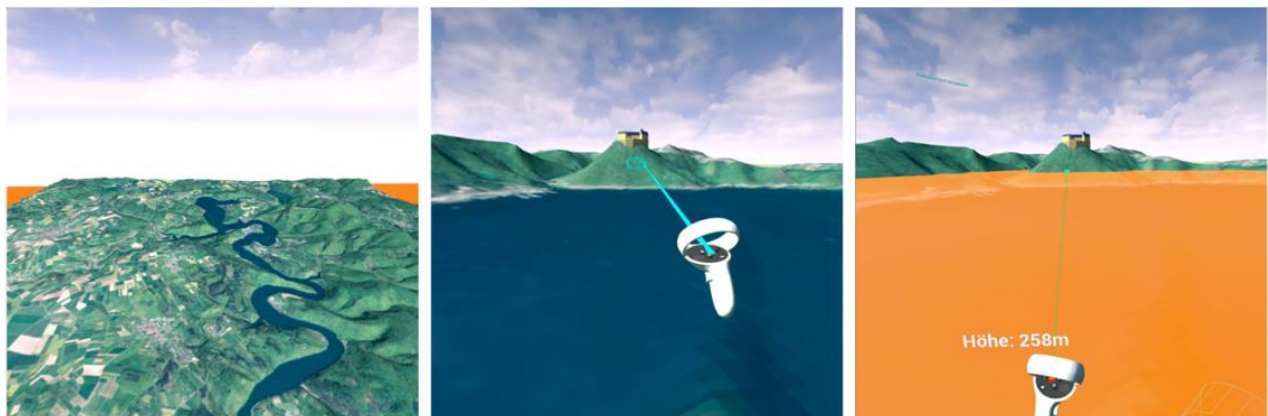


Abb. 7: Interaktionsmöglichkeiten mit dem Gelände in VR (Quelle: Screenshot aus der VR-Anwendung)

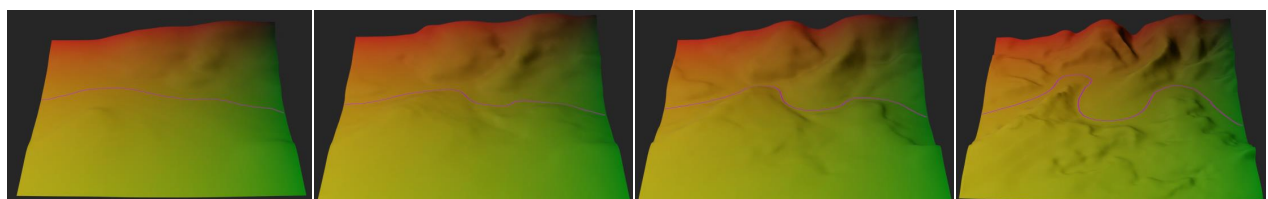


Abb. 8: Vier 3D-Animation der Talmäanderbildung bei Scheid/Edersee (N 51,180437, E 9,012908, WSG84) in einer VR-Umgebung; links rekonstruierte flach gewellte tertiäre Rumpffläche als Ausgangszustand, mittlere zwei Zwischenstadien, rechts heutige Oberfläche (Quelle: Screenshots aus der VR-Anwendung)

unterschiedlichen Standorten aus betrachtet werden kann, vermuten wir einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Veranschaulichung mit realen Modellen (z. B. Styropormodelle).

## 6) Fazit

Der Handlungsspielraum der Lernenden und Lehrenden wird durch die VR-Anwendung deutlich erweitert. Die darstellerische Genauigkeit, Interaktionsmöglichkeiten, stufenlos veränderbare Maßstäbe und Vielperspektivität können das Verständnis raum-zeitlicher Strukturen und Prozesse betrachteter Systeme erheblich erleichtern (vgl. Fowler 2015; Ishikawa & Kastens 2005). In der VR-Umgebung können Studierende unterschiedliche Maßstäbe eines Geländeausschnitts abrufen, um den Landschaftsausschnitt herumgehen, dabei unterschiedliche Perspektiven einnehmen, Elemente manipulieren, hervorheben und Landschaftssituationen in ihrer Entwicklung zu unterschiedlichen geologischen Zeiten visualisieren. Das Eintauchen in das 3D-Modell, das Herauszoomen und ein Umhergehen im Modell können die Lage der Elemente zueinander und Zusammenhänge durch die körperliche Unterstützung beim Verstehen (*spatial-relations concept*, vgl. Lakoff & Johnson 1999; *embodied knowledge*, vgl. Gallese & Lakoff 2005) einfacher und vollständiger erfassbar machen.

Die Reflexionen der Studierenden nach der Bearbeitung der VR-Umgebung mithilfe verschiedener Aufgabenstellungen zur Rekapitulation des zuvor im Gelände Erarbeiteten, machen hinsichtlich des Lernerfolgs zuversichtlich. Die Studierenden berichten über ‚Aha-Erlebnisse‘ bei der Entdeckung von Lagebeziehungen von Landschaftselementen wie Terrassenflächen und berichten, dass der Zugang über VR noch einmal ein vollständigeres Bild der Verhältnisse im Gelände ermöglichte.

Bei der Nutzung der Anwendung durch mehrere Studierende zur gleichen Zeit, jedoch unabhängig voneinander, stellte sich die Betreuung und Anleitung der Studierenden als schwierig heraus. Die Studierenden betrachten unterschiedliche Stellen im virtuellen Gelände und äußern unterschiedliche inhaltliche und technische Fragen. Zur leichteren Begleitung und Assistenz befindet sich die Anwendung in einer Weiterentwicklung vom Single-User in einen Multi-User Modus, bei dem mehrere Personen gleichzeitig die Anwendung nutzen und kommunizieren können. Der Zugang wird durch diese Unterstützungsmöglichkeit direkt in der Anwendung auch für VR unerfahrene Nutzer\*innen erheblich erleichtert. Die Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten im Rahmen der Multi-User VR-Anwendung erlauben auch die Entwicklung völlig neuer Prüfungsformate, indem die

Studierenden im virtuellen Raum ihr Verständnis für Strukturen und Prozesse unter Beweis stellen. Darüber hinaus werden in der neuen Version der Anwendung auch 360° Panoramen von ausgewählten Exkursionsstandorten integriert, die mithilfe von 360° Aufnahmen einer Drohne aufgenommen werden. Auf diese Weise ist bei ‚Betreten der Panoramen‘ in der VR-Anwendung zur leichteren Orientierung und Erinnerung der Exkursionsstandorte noch einmal ein fotorealistischer Abgleich des visuellen Eindrucks von Gelände und VR-Umgebung möglich. Die multisensorische Erfahrung kann hier noch einmal zu einem verbesserten Lernerlebnis in virtuellen Lernumgebungen führen (vgl. Dinh et al. 1999).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kombination aus Spurensuche im Gelände, dem Zeichnen vor Ort und der Rekapitulation der Geländesituationen und Prozessabläufe aus unterschiedlichen Perspektiven in VR die Studierenden motivierte und dabei unterstützte, ein adäquates mentales Modell der Landschaftselemente und ihrer Lage zueinander sowie ihrer raum-zeitlichen Einordnung und Genese zu entwickeln.

## Literatur

- Ahnert, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. Ulmer, Stuttgart.
- Dewey, J. (1938): Logic: The theory of inquiry. In: Boydston, J. A. (Ed.): John Dewey: The later works, 1925–1953. Southern Illinois Press, Carbondale.
- Dobler, J. M. (2014): Reflect | Redraw | React. In: Studies in Material Thinking 10. S. 1–18.
- Chappell, A. (2007): Using teaching observations and reflective practice to challenge conventions and conceptions of teaching in geography. In: Journal of Geography in Higher Education 31. S. 257–268.
- Commission on Geographical Education (2016): International charter on geographical education. [https://www.igu-cge.org/wp-content/uploads/2019/03/IGU\\_2016\\_eng\\_ver25Feb2019.pdf](https://www.igu-cge.org/wp-content/uploads/2019/03/IGU_2016_eng_ver25Feb2019.pdf) (25.03.2023)
- Dalchow, C. (1989): Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie-Geomorphologie. Catena-Verlag, Cremlingen-Destedt.
- Dinh, H. Q., N. Walker, C. Song, A. Kobayashi & L. F. Hodges (1999): Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments. In: Rosenblum, L., P. Astheimer & D. Teichmann (Eds.): Proceedings IEEE Virtual Reality. IEEE Computer Society, Los Alamitos. S. 222–228.
- Fowler, C. (2015): Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? In: British Journal of Educational Technology 46(2). S. 412–422.
- Fuller, J., S. Edmondson, D. France & D. Higgitt (2006): International perspectives on the effectiveness of geogra-

- phy fieldwork for learning. In: *Journal for Geography in Higher Education* 30. S. 89–101.
- Fuller, I. C., S. R. Rawlinson & J. R. Bevan (2000): Evaluation of student learning experiences in physical geography fieldwork: Paddling or pedagogy? In: *Journal of Geography in Higher Education* 24. S. 199–215.
- Gagnier, K. M., K. Atit, C. J. Ormand & T. F. Shipley (2017): Comprehending 3d diagrams: Sketching to support spatial reasoning. In: *Topics in Cognitive Science* 9(4). S. 883–901. DOI: <https://doi.org/10.1111/tops.12233>
- Gallese, V. & G. Lakoff (2005): The brain's concepts. In: *Cognitive Neuropsychology* 22. S. 455–479.
- Gebhardt, H., R. Glaser, U. Radtke & P. Reuber (2012): *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Glawion, R., R. Glaser, H. Saurer, M. Gaede & M. Weiler (2012): *Physische Geographie*. Westermann, Braunschweig.
- Hentig, H. von (1978): *Bildung – Ein Essay*. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2004): *Die Landschaft um Hofheim am Taunus – Eine erdwissenschaftliche Einführung (= Umwelt und Geologie. Böden und Bodenschutz in Hessen 6)*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- Huang, H.-M., U. Rauch & S. S. Liaw (2010): Investigating learners' attitudes towards virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. In: *Computers & Education* 55. S. 1171–1182.
- Huber, L. & G. Reinmann (2019): *Vom forschungsnahem zum forschenden Lernen an Hochschulen*. Springer VS, Wiesbaden.
- Ishikawa, T. & K. A. Kastens (2005): Why some students have trouble with maps and other spatial representations? In: *Journal of Geoscience Education* 53(2). S. 184–197.
- Jang, S., J. M. Vitale, R. Jyung & J. B. Black (2017): Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment. In: *Computers & Education* 106. S. 150–165.
- Kastens, K. A. & C. A. Manduca (2012): *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*. In: *Geological Society of America Special Papers* 486. S. 1–12.
- Klausing, O. (1988): *Die Naturräume Hessens, mit einer Karte der naturräumlichen Gliederung 1:200.000*. Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.
- Kulick, J. (1968): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, Blatt 4719, Korbach*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- Lakoff, G. & M. Johnson (1999): *Philosophy in the flesh*. Basic Books, New York.
- Ormand, C. J., C. A., Manduca, T. F. Shipley, B. Tikoff, C. L. Harwood, K. Atit & A. P. Boone (2017): Evaluating Geoscience Students' Spatial Thinking Skills in a Multi-Institutional Classroom Study. In: *Journal of Geoscience Education* 62(1). S. 146–154.
- Schnotz, W. & M. Bannert (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. In: *Learning and Instruction* 13(2). S. 141–156.
- Semmel, A. (1980): *Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland*. Franz Steiner Verlag, Wiesbaden.
- Tillmann, A., V. Albrecht & J. Wunderlich (2017): Dewey's concept of experience for inquiry-based landscape drawing during field studies. In: *Journal of Geography in Higher Education* 41(3). S. 383–402. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1331206>
- Tretter, T. R., M. G. Jones, T. Andre, A. Negishi & J. Minogue (2006): Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. In: *Journal of Research in Science Teaching* 43(3). S. 282–319. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.20123>
- Wößmann, L. (1996): *Das Konzept des Didaktischen Doppeldeckers – Prinzipien einer ganzheitlich orientierten Pädagogik*. Waxmann, Münster.
- Wunderlich, J. (2011): *Natur- und Kulturlandschaft rund um den Edersee*. In: *Frankfurter Geographische Hefte* 69. S. 119–136.

## Anhang

### Leitfragen zu den Lesetexten zur Geomorphologie

#### *Fluvialmorphologie*

1. Welche drei Grundriss-Typen von Flüssen lassen sich unterscheiden (s. auch Glawion et al. 2012)?
2. Beschreiben Sie stichwortartig die Charakteristika von a) Talmäandern, b) Gleitmäandern, c) vererbte Mäander und d) Freien Mäandern.
3. Warum eignet sich ein mäandrierender Fluss (Freier Mäander) schlecht als politische Grenze?
4. Erklären Sie die Begriffe Sinuosität, Wellenlänge und Amplitude in Bezug auf einen Mäanderfluss.
5. Ein Mäanderfluss in einer Aufschüttungsebene aus sandigem Material hat eine
  - a. höhere
  - b. geringereSinuosität als einer in reinen Hochflutlehm. Welche Aussage ist richtig?
6. Beschreiben und erläutern Sie stichwortartig den Bildungsprozess eines abgeschnittenen Mäanders und die daraus erwachsenden Konsequenzen.

#### *Quartäre Reliefentwicklung/Flussterrassen*

1. Welche Prozesse dominierten im Kellerwald auf den Hängen
  - a. während der Kaltzeiten des Quartärs,
  - b. während der Interglaziale?
2. Bringen Sie die Begriffe Tiefenerosion, Seitenerosion und Akkumulation in die richtige Reihenfolge, zur Erklärung der Entstehung von
  - a. Felssohlenterrassen
  - b. Aufschüttungsterrassen.
3. Nach welcher Seite (Akkumulation bzw. Erosion) gibt es eine Verschiebung, wenn bei einem Fluss, dessen Transportvermögen durch die angelieferte Fracht ausgelastet ist,
  - a. das Gefälle vergrößert wird,
  - b. der Gerinnequerschnitt verengt wird,
  - c. das Frachtangebot wächst
  - d. die Fracht in größeren Korngrößen anfällt?
4. Welche Prozesse führen zur Entstehung von Flussterrassen?
5. Erläutern Sie stichwortartig die Entstehung von Flussterrassen im Wechsel von Kalt- und Warmzeiten (s. vor allem Dalchow 1989, Kap. 10.2.2.1/2).
6. Gliedern Sie dabei nach Frühglazial, frühes Hochglazial, spätes Hochglazial, Warmzeit.

#### *Rumpfflächen*

1. Nennen Sie die 4 von Ahnert vorgestellten Konzepte der Flächenbildung.
2. Was versteht man unter Regolith?
3. Welche Voraussetzungen sind für die Entstehung von Rumpfflächen nach Büdel unabdingbar?
4. Unter welchen Bedingungen entstehen nach Büdel Schildinselberge?
5. Beschreiben/erläutern Sie stichwortartig die Prozesse, die bei der Bildung eines Pediments wirksam sind.