EMISSION FREE EUROPEAN UNIVERSITIES

Strategic Development of Students' Sustainability Competencies:

Best Practices in Module Adoption, Transfer and Co-creation

Work Package #5

Student and Staff involvement – taking students and staff to universities´ emission neutrality

Acceptance of VR/AR formats in teaching sustainability

Authors

Klaus Homann, Judit Klein-Wiele

Contributors

Silas Franz, Philip Ibak, Jean Ododa, Jacqueline Patafta, Celina Raab, Eftychia Zisi

PUBLISHED

June 2025

Contact:

For any inquiries or questions about the unrestricted use of the project results, please get in touch with the project coordinator: klaus.homann@dhbw-stuttgart.de

.

Table of contents

List of figures

Co-funded by the European Union

About this Publication

This publication introduces the main findings of the study “Acceptance of VR/AR formats in teaching sustainability”. This activity was embedded in the fifth work package “Student and Staff involvement – taking students and staff to universities´ emission neutrality” of the Erasmus+ Strategic Partnership project, "Emission Free European Universities" (EFEU). This activity was conducted from January to May 2025 and integrated several student cohorts, piloting and evaluating AR/VR sustainability learning scenarios.

As part of the work package, several dissemination activities have also been conducted, referring specifically to WP5 results but also to promote the whole project. The project´s dissemination activities are reported separately in the respective Work Package Report and Beneficiary Report sections.

The online version of this report can be obtained from the project’s website:
https://www.dhbw-stuttgart.de/efeu

1 Introduction

The digital transformation in higher education presents teachers and students alike with new didactic, technological and social challenges. Immersive technologies such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR) in particular offer potential for making teaching more interactive, participatory and experience-based. In the wake of the climate crisis and digital transformation, the role of universities as places of education, drivers of innovation and catalysts for social change is being renegotiated. Projects such as EFEU illustrate that universities' sustainability strategies do not have to be anchored solely in research and teaching, but can also be reflected in operational, technical and curricular structures.

This research project was developed as part of the WP 5 module “Student and Staff involvement – taking students and staff to universities´ emission neutrality” and was dedicated to analyse the acceptance of VR/AR formats in teaching sustainability.
In particular, it addresses the concern that digital technologies should be viewed not only as a driver of innovation, but also as an opportunity for the ecological and didactic advancement of academic teaching. The focus is on the question of how VR-based learning environments can contribute to promoting sustainability skills, developing pedagogical effectiveness and, at the same time, being compatible with the goals of ecological responsibility. The EFEU project serves as a content framework and source of inspiration, particularly with regard to its focus on urban mobility, environmental awareness and digital communication formats.

Another focus of the work is on how immersive learning spaces can be designed to meet both didactic and ecological requirements. Reflecting on ecological aspects – such as carbon footprinting, material cycles and resource conservation – is highly relevant in light of global climate targets and the Sustainable Development Goals (SDGs). Virtual reality not only viewed as an innovative learning medium, but also as a subject for critical evaluation with regard to its own ecological footprint.

Against this background, the operational part of this study consists of the development, analysis and reflection of a concrete VR-based teaching/learning arrangement. In several thematic stations – for example, on mobility or consumer behaviour – an immersive learning space was designed that allows students to experience central sustainability topics. In addition, this prototype was evaluated through exploratory tests with test subjects and examined for its didactic effectiveness and ecological connectivity. The methods and theoretical models used (e.g. the CAMIL model, the cradle-to-cradle concept and CO_2 balance approaches according to the GHG Protocol) form the basis for further development.

1.1 Objectives and research questions of the thesis

The study aims to develop a scientifically sound and ecologically reflective concept for a VR-based teaching/learning arrangement that is specifically geared towards promoting sustainability skills in higher education. Immersive technologies such as virtual reality are not only considered as didactic tools, but also as technological systems whose use must itself be subjected to critical ecological evaluation. It is based on theoretical models (e.g. CAMIL) and ecological assessment frameworks such as the GHG Protocol or the cradle-to-cradle approach.

The focus is thus on a dual perspective:

- On the one hand, it examines how learning processes in virtual environments can be designed to be sustainable, motivating and effective.
- On the other hand, it analyses the ecological implications of using VR systems – particularly with regard to hardware use, energy consumption, carbon footprint and material cycles.

A literature review was conducted to clarify how a VR-based teaching/learning arrangement for promoting sustainability skills can be designed in a structurally, didactically and technically meaningful way in order to enable a holistic, effective and ecologically responsible educational concept in a university context. The extent to which immersive technologies can be evaluated ecologically in this context will be disclosed. This evaluation will take into account, among other things, the service life of the devices, their recyclability and the emissions associated with their use. A complete assessment of the effectiveness of immersive learning environments also requires the analysis of cognitive, motivational and affective factors from the perspective of the students. Based on the development and reflection of a prototypical VR learning setting with accompanying evaluation of the practical example, the aim is to find out how learners perceive immersive VR scenarios in terms of sustainability, user-friendliness and educational effectiveness

.

2 Methodology

The methodological approach of this study is designed as a combination of practical concept development, theoretical foundation and empirical feedback. The aim is not only to analyse the potential and challenges of immersive learning environments theoretically, but also to test them in a real-world application context and reflect on them critically. The work is based on an interdisciplinary approach that combines didactic, psychological and ecological perspectives.

2.1 Project structure and process

The study was carried out over several phases:

1. Conceptual phase

   The first phase defined the main content and didactic goals. The idea was to make sustainability topics such as mobility, consumer behaviour and resource use tangible in a virtual learning environment. At the same time, initial literature research was conducted on immersive learning settings, sustainability didactics and ecological assessment approaches.

2. Development and design phase

   Based on the researched models and defined objectives, several thematic VR stations were designed in a team effort. A storyboard with learning objectives, time structure and interaction logic was developed for each station. The technical implementation was carried out with the help of the RAUM platform, with attention paid to realistic, low-threshold user guidance. The scenarios were designed didactically to promote cognitive activation, decision-making behaviour and reflection.

3. Test phase with users

   The VR stations developed were tested by students in an initial exploratory test round. The aim was to gain initial impressions of the usability, comprehensibility and effectiveness of the learning scenarios. A standardised questionnaire based on the CAMIL model (Makransky & Petersen, 2021) was used to obtain structured feedback. This allows for a differentiated assessment of cognitive load, emotional involvement and motivational effects when using immersive media.

4. Documentation and qualitative reflection

   All prototypes and stations were documented (storyboard, schedule, synopsis) in order to present the didactic decisions and technical implementations in a comprehensible manner. At the same time, the feedback from the test phase was summarised qualitatively in order to derive potential for optimisation.

5. Theoretical and analytical deepening

   Building on practical experience, the written paper provides an in-depth analysis of the technology used from an environmental perspective. Circular design approaches and CO_2 accounting standards (Greenhouse Gas Protocol) are used for this purpose. The role of VR/AR technology in higher education in the context of the Sustainable Development Goals is also reflected upon.

2.2 Methodology

Overall, this results in a methodological triangulation of:

- Conceptual-didactic design research:
  Development of a realistic prototype based on didactic models.
- Empirical survey:
  Use of the CAMIL-based questionnaire to evaluate the user experience.
- Theory-driven analysis:
  Reflection on ecological, social and learning psychology factors based on scientific literature.

This multi-stage approach allows for a holistic view of VR-based learning arrangements and lays the foundation for well-founded recommendations for action in further evaluation and discussion.

First, the following chapter examines the ecological framework conditions of higher education and its carbon footprint, with a particular focus on the influence of digital teaching formats. Building on this, Chapter 5 is dedicated to the ecological assessment of VR/AR technologies, in particular using the cradle-to-cradle approach. Chapter 6 then analyses the didactic and psychological factors that influence immersive learning environments. The following two chapters highlight the current status and strategic potential of the use of VR/AR in higher education. Chapter 9 summarises the results and formulates practical recommendations for action.

3 The carbon footprint of universities and how remote lectures are changing this footprint

Universities play a central role in the social shift towards greater sustainability. As places of education, research and innovation, they not only contribute to solving ecological challenges, but also have a responsibility to reduce their own ecological footprint. Their operations in particular cause significant amounts of greenhouse gas emissions. The ongoing digitalisation of university teaching, particularly through the introduction and spread of remote lectures, represents a significant development in this context. It not only changes the way knowledge is imparted, but also has the potential to significantly influence the carbon footprint of universities.

The emissions generated by university operations can be divided into three categories according to the internationally recognised Greenhouse Gas Protocol: Scope 1 covers all direct emissions, such as those from heating systems or the vehicle fleet; Scope 2 covers indirect emissions resulting from the use of purchased energy such as electricity or district heating; Finally, Scope 3 refers to other indirect emissions, including in particular commuting by students and staff, business travel, the procurement of materials and third-party services. In Germany, several universities and research institutions are working on the systematic recording of their carbon footprints. For example, a project by HIS-HE GmbH has developed a standard that makes it easier to create comparable emissions inventories. The example of the University of Greifswald clearly illustrates the magnitude of such emissions: in 2011, the university's CO_2 emissions amounted to around 8,985 tonnes, almost half of which was caused by electricity consumption alone. This underlines the great importance of energy supply for reducing emissions.

Commuting is a particularly relevant factor for the carbon footprint. In traditional classroom-based teaching formats, students and teachers sometimes travel long distances to participate in university activities. Remote lectures offer considerable savings potential here, as they greatly reduce the need for mobility. Studies show that

Even for short journeys of just a few kilometres, the use of video conferencing systems is more climate-friendly than physically travelling to the university. The comparison between business travel and digital formats is particularly striking: two people travelling by train from Stuttgart to Berlin together generate around 65 kilograms of CO_2, while a four-hour video conference with four participants generates only about one kilogram of CO_2.

However, digital infrastructure also consumes a certain amount of energy. The use of data centres, data transmission and end devices also cause emissions, the extent of which depends heavily on the type of power generation. According to a study by the German Federal Environment Agency, participating in a one-hour video conference with a laptop causes around 55 grams of CO_2 equivalents. This amount is roughly equivalent to the emissions from a 260-metre car journey. The type of internet connection plays a decisive role here: while data transmission via fibre optic cables is comparatively low in emissions, mobile phone technology such as UMTS causes up to 45 times higher emissions.

User behaviour has a significant impact on digital emissions. For example, deactivating the video image during a conference can drastically reduce CO_2 emissions. Calculations show that 15 hours of video conferencing per week with video enabled causes around 9.4 kilograms of CO_2 per month, while this figure is reduced to just 0.38 kilograms with video disabled. This clearly shows that the ecological footprint of digital teaching depends not only on technical factors, but also on behavioural factors.

As digitalisation progresses, the technical possibilities for teaching and learning are constantly expanding. One particularly innovative area is the use of virtual and augmented reality. These technologies create immersive and interactive learning scenarios that can supplement or replace traditional online formats. At Karlsruhe University of Applied Sciences, for example, a fully virtual lecture hall has been developed in which students can participate in courses using VR glasses and interact with materials, lecturers and fellow students in a simulated environment.

However, the use of such technologies is ambivalent from a carbon footprint perspective. On the one hand, they eliminate the need for travel and other infrastructural requirements of traditional face-to-face courses. On the other hand, VR-supported formats require powerful hardware, large amounts of data and higher bandwidths. Electricity consumption increases accordingly, and the production of the necessary end devices is also CO_2-intensive. This is particularly true when devices need to be replaced frequently or require a high degree of specialisation. The additional resource requirements can partially or even completely offset the savings achieved by avoiding mobility.

Whether remote teaching actually contributes to a reduction in greenhouse gas emissions in the overall balance therefore depends heavily on the respective context. The benefits are particularly evident in regions with poor public transport infrastructure, long commutes or a high proportion of private transport. The energy efficiency of the end devices used also has a significant impact on the balance. Mobile devices with low power consumption and optimised architecture perform significantly better than stationary high-performance devices. At the same time, there is a risk that hybrid teaching formats will not lead to a reduction but rather to a multiplication of emission sources if, for example, a lecture hall has to be operated at the same time as a digital transmission system is provided. The power requirements of data centres can also be a challenge, especially if a supply of green electricity cannot be guaranteed. The choice of transmission technology – for example, fibre optics instead of mobile communications – can also be decisive.

VR and AR technologies in particular are a double-edged sword in this context. Their immersive effect promises new didactic possibilities, especially in the natural sciences, medicine and engineering. At the same time, technical requirements and thus resource requirements are increasing. The long-term strategy of universities will therefore be decisive in determining whether the use of such technologies can make a sustainable contribution. Important aspects include the use of durable and energy-efficient hardware, covering electricity requirements from renewable sources, and energy and the systematic reduction of mobility and building costs through digitalised teaching formats.

Under favourable conditions, the switch to remote lectures can thus make a substantial contribution to reducing CO_2 emissions. The greatest leverage clearly lies in avoiding commutes and business trips, which account for a significant proportion of Scope 3 emissions. Nevertheless, digitalisation also brings with it new sources of emissions, the extent of which depends heavily on technical decisions and usage behaviour. Technologies such as VR and AR in particular must be critically examined in terms of their educational added value and ecological impact. To ensure that the digitalisation of university teaching not only brings efficiency and innovation gains but also contributes to sustainable transformation, a comprehensive strategy is needed that integrates energy efficiency, life cycle analyses and the consistent use of green electricity. In this way, universities can act not only as places of education but also as role models for climate-conscious digital change.

The question of the ecological impact of digital teaching also raises new challenges in terms of didactic quality. While there is clear potential from a carbon footprint perspective, it remains to be seen whether digital formats can match or even surpass traditional face-to-face formats in terms of learning success. A differentiated assessment of online and face-to-face teaching, particularly taking into account learning outcomes and social interaction, is therefore the next logical step on the path to sustainable and future-proof higher education.

4 Teaching formats

4.1 Face-to-face vs. online lectures

The debate surrounding the effectiveness of different learning formats has gained considerable depth in recent years and is increasingly supported by empirically based findings. Numerous studies show that learning success is not primarily determined by the chosen teaching format, but depends to a large extent on the didactic quality of the implementation and individual learning prerequisites. There is broad consensus in the scientific community that no particular format is generally superior, but rather that learning success is highly context-dependent.

This varies depending on the subject discipline, cognitive objectives and the socio-demographic and learning psychology characteristics of the respective target group.
Digital learning formats – especially in online mode – are characterised by a high degree of temporal and spatial flexibility. They are particularly suitable for self-organised, digitally savvy learners and enable individualised control of the learning process through adaptive systems. In addition, they offer economic advantages in terms of scalability and accessibility for educationally disadvantaged or mobility-impaired groups. Nevertheless, there are didactic and structural limitations: observations have identified critical factors such as increased dropout rates, a lack of social cohesion and a pronounced dependence on technical infrastructure and media literacy.

In contrast, face-to-face formats offer significant advantages in terms of social integration, cooperative knowledge construction and immediate feedback from teachers. They promote the development of interpersonal skills (e.g. teamwork, conflict resolution, rhetoric) and, through physical presence, create a greater sense of identification with the learning situation. Limitations arise in particular with regard to reduced flexibility and comparatively high institutional cost structures, which means that face-to-face teaching is only suitable to a limited extent for certain target groups, such as part-time students or people with care responsibilities.

From a pedagogical perspective, online formats imply profound transformations in the distribution of roles, methodology and exam design. They require teachers not only to have digital expertise, but also a high degree of creative competence in preparation. Face-to-face teaching, on the other hand, allows for a higher degree of didactic adaptability and methodological diversity in the immediate interaction space. From a social-psychological perspective, online learning promotes individual autonomy but carries the risk of social isolation. Face-to-face formats, on the other hand, have a stabilising, socially integrating and motivational effect and are easier to control, but also require more space, personnel and logistics. Institutionally, digital teaching offerings require investment in technical infrastructure, support systems and new governance structures. These are necessary to address key aspects such as quality assurance, distribution of responsibility, data protection-compliant use of

learning platforms and new role profiles, such as e-tutors, must be strategically managed. In contrast to face-to-face formats, which often operate within established processes and responsibilities, digital teaching requires university-wide coordination, clear policies and participatory management models to ensure sustainability and acceptance

.

In summary, it can be said that the choice of teaching format should not be made on a normative basis, but must be based on an evidence-based fit between objectives, resource constellation and learner requirements. Learning success in online and on-site formats depends crucially on the didactic quality, the institutional framework conditions and the individual prerequisites of the learners. Hybrid models that combine both worlds show the highest potential for sustainable educational success in current research. Future educational strategies should therefore not polarise between "online" and "in-person" but should promote differentiated learning scenarios that combine target group orientation, flexibility and quality.

4.2 Combining strengths

In this context, the use of immersive technologies such as VR is increasingly becoming the focus of university didactics. VR-based teaching/learning formats promise an integrative combination of the strengths of both classic formats: They enable a high level of immersion and presence perception within virtual spaces, allowing social interactions, collaborative knowledge processes and immediate feedback to be technically simulated and didactically controlled. At the same time, the advantages of digital formats in terms of location independence, scalability and time flexibility are retained.

From a didactic perspective, VR opens up the possibility of designing action-oriented, multisensory learning scenarios that promote intensive cognitive and affective participation – especially in areas where complex, abstract or risky content is taught. Its immersive nature can promote learning motivation and understanding, making VR particularly suitable for contextual and experience-based learning objectives.

In addition, VR can compensate for certain weaknesses of traditional formats: for example, social isolation in online learning can be reduced through virtual group rooms, while institutional challenges of face-to-face teaching – such as room availability or high infrastructure costs – can be mitigated through virtual settings. Simulation-based and interactive formats also open up new didactic possibilities in exam design.

However, VR-based learning formats are subject to certain conditions: technical equipment, usability, media literacy and infrastructural requirements have a significant influence on implementation and effectiveness. Here, too, didactic quality remains the decisive factor for success. Unreflective technological euphoria without pedagogical embedding carries the risk of inefficient learning processes or technical exclusion mechanisms.

Overall, it can be said that VR is a promising bridge technology that combines the advantages of face-to-face and online formats while opening up new potential. However, its integration should be strategically planned, didactically justified and institutionally supported. In this way, VR can become a central building block of future, sustainable educational landscapes – not as a replacement, but as a supplement in the sense of differentiated, adaptive teaching and learning.

5 The carbon footprint of VR/AR technology in teaching

5.1 Sustainability aspects and ecological considerations

The question of the effectiveness of digital learning formats was examined in the previous chapter primarily from a didactic and learning psychology perspective. With immersive technologies such as VR/AR, the focus is now shifting to a form of digital teaching that goes beyond traditional online formats and opens up new didactic possibilities through interactivity, spatial presence and multisensory stimuli. VR/AR applications have been growing in importance for several years, especially in higher education. They are considered pioneering tools for designing individualised, motivating and practical learning scenarios. They are thus exemplary of the pressure to innovate that academic education is facing. At the same time, their use brings with it a variety of ecological challenges that must be systematically considered. These include aspects such as material composition, energy consumption during use, manufacturing and disposal processes, and compliance with circular design principles and ecological standards.

A promising approach to assessing these issues is the cradle-to-cradle (C2C) concept which moves away from linear recycling chains and instead calls for the complete return of resources to biological or technical cycles.

For VR/AR, this means that it is not enough to simply minimise CO_2 emissions from electricity consumption. Criteria such as material composition, repairability, modularity, energy efficiency and software updateability are also relevant. However, initial analyses of repairability (e.g. by show that many headsets, especially consumer devices such as the Meta Quest, are difficult to maintain or recycle in practice. This contradicts comprehensive sustainable lifecycle management.

These ecological issues cannot be viewed in isolation from practical findings from university practice. One of the most comprehensive studies currently available is the FMplus Spotlight Paper by Bartels & Wills (Bartels & Wills 2025). Here, immersive technologies such as VR, AR and the metaverse were used in various university courses and systematically evaluated. The results show clear didactic potential, for example in the acquisition of technical skills or in motivating learners. At the same time, the data also reveal concerns on the part of students with regard to data protection, technical equipment and ecological impacts. The authors recommend closer cooperation between universities and industry in order to establish ecological standards as early as the development phase of devices. This requirement is particularly important in view of SDG 12 (sustainable consumption) and SDG 13 (climate action).

There are further references in the context of the Sustainable Development Goals (SDGs): VR/AR can contribute to achieving SDG 4 (quality education) if implemented responsibly, by enabling individualised and collaborative learning. At the same time, the digitisation of learning processes offers the opportunity to reduce physical mobility (e.g. commuting to classes) and thus lower CO_2 emissions. This represents a direct contribution to SDG 13.

One aspect that has been neglected so far is the actual sustainability certification of VR hardware. On platforms such as EPEAT.net, which classify devices according to environmental criteria, common VR systems are hardly represented at all. This is a clear failure on the part of manufacturers, but also on the part of public educational institutions, which have so far exerted little pressure for ecological standards in IT procurement. However, this would be a ley lever for closing the gap between technical innovation and ecological responsibility

5.2 Risks and limitations of the cradle-to-cradle approach in the context of VR/AR technology

Although the cradle-to-cradle approach is a promising concept for sustainable product design, applying this method to VR/AR hardware presents considerable challenges. A key problem is the use of complex material combinations in VR devices, which make it difficult to separate materials by type and thus recycle them. In particular, the integration of sensors, displays and batteries into compact housings leads to products that are difficult to dismantle, which represents a clear conflict of objectives between technical performance and ecological traceability. This is in direct conflict with the need highlighted in previous chapters to improve the service life and recyclability of hardware as part of the carbon footprint in Scope 3.

Another limiting factor is the lack of transparency in global supply chains. The C2C approach requires that the origin, composition and recyclability of all components be fully traceable. This requirement is currently almost impossible to meet, particularly in the electronics sector with its international manufacturing and supply chains. This also makes it difficult to calculate emissions systematically. In addition, analysis of the carbon footprint of universities shows that the shift to the digital space can make an important contribution to reducing emissions. This is particularly due to the elimination of commuter traffic and reduced building operations. However, emissions from the manufacture, use and disposal of digital infrastructure must also be taken into account in order to avoid rebound effects and achieve a truly sustainable overall balance.

There is also the risk of so-called "greenwashing" through environmental certificates without reliable take-back structures. Manufacturers are increasingly advertising with "green" labels that do not guarantee genuine recycling. Particularly in the fast-moving consumer VR market, it is unclear whether devices are recycled in an environmentally friendly manner at the end of their service life. This counteracts the positive effects described in the chapter on commuting avoidance through virtual teaching formats have shown – because ecological savings achieved through digital teaching can be negated by hardware waste.

Furthermore, many universities lack the basic infrastructure requirements for sustainable procurement and return of technology. Repair workshops, life cycle analyses or criteria catalogues for ecological IT equipment are rarely established. Even when sustainable devices are available, there is often a lack of institutional integration to ensure their effective and long-term use. This shows that technological innovations, as discussed in section 5.1 on virtual teaching, only have an impact on the climate if they are accompanied by systemic measures.

Last but not least, the energy consumption of recycling processes should also be critically evaluated. Although the C2C approach promises a closed system, many recycling processes, especially for complex components such as displays or lithium batteries, require considerable amounts of electricity, water or chemicals. If these emissions are not offset by long-term use and compensatory savings in teaching (e.g. avoiding space or travel), the sustainability gains are significantly reduced.

Overall, it is clear that the cradle-to-cradle approach can only be effective in a university context if technological, structural and ecological requirements are specifically coordinated. As a supplement to didactically strong digital learning formats, it is a strategic building block – but it can only reach its full potential in conjunction with infrastructure, user behaviour and procurement strategy.

5.3 Energy consumption and operational sustainability of VR applications

In addition to material aspects and life cycle issues, the runtime-related energy consumption of VR applications is increasingly becoming the focus of ecological assessments. Compared to traditional digital teaching media, the power consumption of VR hardware is considerably higher – both for user devices such as headsets and high-performance GPUs, and at the infrastructure level due to servers, networks and data processing.

According to an analysis by Mills15, a typical PC-based VR setup consumes between 400 and 600 watts per hour when in active use, while traditional video conferencing setups consume only require approximately 50–100 watts. In order to ensure comparability with the CO_2 balances presented in Chapter 2, emissions are also calculated here on an annual basis per student. The underlying assumption is that a student uses VR applications in the context of courses for an average of two hours per week over 15 weeks per semester, i.e. approximately 30 hours per year. This results in additional electricity consumption of approximately 12–18 kWh per student per year, which corresponds to approximately 5–8 kg of CO_2 equivalents, depending on the electricity mix.

For a sample cohort of 800 students, this additional demand amounts to 9.6–14.4 MWh per year, which translates to approximately 4–6 tonnes of CO_2 emissions. It should be noted that not all courses will necessarily switch to VR technology. Actual usage depends heavily on the degree programme, curriculum planning and the didactic application scenario. A differentiated risk analysis should therefore model various usage scenarios, ranging from minimal pilot projects to comprehensive integration into practice-oriented degree programmes such as medicine, architecture or engineering.

In order to realistically assess these emission effects, a differentiated risk analysis is required. This takes into account the fact that actual VR use varies greatly between degree programmes and subject areas. Degree programmes with a high practical component are likely to integrate VR-based learning scenarios more intensively than other disciplines. At the same time, there is a risk that energy savings from reduced commuting or building operation will be offset or even exceeded by increased energy consumption in the operation of the digital infrastructure (rebound effect). Strategically, universities can counter such risks by planning the use of VR technologies in a targeted manner and limiting them to clearly defined didactic scenarios. A systematic needs analysis for each degree programme, the selection of energy-efficient hardware, the integration of energy monitoring systems and the promotion of conscious use of digital resources in teaching are central components of a sustainable digital strategy.

These considerations illustrate that digital sustainability not only encompasses issues relating to hardware production but must also address operational efficiency. Potential savings can be achieved here, for example, by using newer standalone headsets with significantly lower power consumption of around 10–15 watts. Even though this often goes hand in hand with reduced graphic quality, it can save up to 80% energy compared to classic PC-based solutions (16) In addition, outsourcing computing-intensive processes to more energy-efficient server infrastructures, for example through edge and cloud rendering solutions such as Nvidia CloudXR, can significantly reduce the end user's power consumption. Studies point to potential savings of up to 60% with a comparable user experience.

In the long term, universities can only meet rising energy demands if digital transformation strategies explicitly take energy impacts into account. This includes the introduction of green IT initiatives, the use of CO_2 compensation models, and the development of internal energy monitoring systems specifically tailored to VR rooms and digital infrastructures.

5.4 Conclusion and strategic implications

The previous sections have shown that ecological sustainability in higher education goes far beyond the mere imparting of content. A VR-based teaching/learning arrangement that is to meet this requirement must therefore not only be designed in a didactically sound manner, but also planned and operated in a materially, technically and infrastructurally responsible manner.

The analysis has made it clear that sustainability in this context encompasses several dimensions. On the one hand, it requires consideration of material and life cycle aspects, as addressed by the cradle-to-cradle approach. Modular, repairable and durable hardware becomes an integral part of a sustainable infrastructure. On the other hand, energy consumption during use is becoming more of a focus: VR applications consume significantly more electricity than traditional digital teaching media. This burden can partially offset or even overcompensate for the ecological advantages of digital teaching, such as avoided commuting and reduced building operations.

This highlights the need for a broader understanding of sustainability. Universities must combine technical design, energy-efficient operation and strategic infrastructure planning. Measures such as the targeted use of energy-efficient stand-alone systems, the use of edge and cloud rendering solutions, or the introduction of energy monitoring systems can contribute to this. However, such approaches also require a differentiated needs analysis for each degree programme and a realistic assessment of usage scenarios, and careful consideration of costs, benefits, and environmental impacts.

Overall, it is clear that sustainability in VR teaching/learning arrangements cannot be understood as a static requirement. It must be designed as an ongoing design and evaluation process that continuously balances ecological responsibility, technical feasibility and didactic quality. Universities that take this requirement seriously can not only create innovative learning environments, but also serve as role models for a sustainable, responsible digital education strategy.

6 Effects of VR/AR on humans

6.1 Psychological effects

Virtual reality creates an intense sense of presence, i.e. the subjective experience of actually being in the virtual world. Immersive VR environments overlay physical reality and allow the brain to perceive a seemingly real environment. Studies show that the higher the degree of technical immersion, the stronger this feeling is. Headsets with panoramic vision and motion detection are one example of this. In an experiment with students, a fully immersive learning environment led to a significantly higher sense of presence and a better emotional state. The phrase "more positive affect" can be more accurately described here as "better mood" or "positive emotional effect." Lønne and Karlsen also report that participants in a VR environment experienced more joy and engagement than in front of a conventional screen.

These motivating and positive emotions make VR a promising medium. However, they also harbour risks. When virtual scenarios are associated with threats or stress, they can trigger real fear responses. Wilczyńska et al. show that negatively designed VR experiences can lead to severe emotional stress.

Another aspect is the risk that the boundary between the real and virtual worlds will become increasingly blurred. Studies show that physiological responses, such as EEG patterns, are virtually indistinguishable in VR and real environments.

In addition, there is a risk of VR-specific addiction. Similar to social media or short video platforms such as TikTok or Instagram Reels, VR can also create an intense stimulus that leads to repeated and sometimes excessive use. This can impair interest in real-life activities, especially among young people who escape into immersive virtual worlds. To prevent this, preventive measures and media literacy training should be introduced at an early stage.

6.2 Social impact

Virtual reality also influences social experiences. On the one hand, social VR platforms and multiplayer environments are giving rise to new forms of digital interaction. Young adults in particular use these platforms to socialise with friends in virtual spaces. During the COVID-19 pandemic, it became clear that regular social interaction in VR can reduce feelings of loneliness. Kenyon et al. found that people who regularly interacted with familiar contacts in social VR environments showed significantly lower symptoms of loneliness and anxiety.

In addition, social skills can be specifically promoted through VR, for example by taking on different perspectives in simulation-based role-playing games. Kramer points out that users can develop empathy by experiencing a different perspective, such as that of a disadvantaged person.

At the same time, there is a risk of social withdrawal mechanisms. Introverted people or those with low self-esteem in particular may retreat more strongly into virtual worlds. Lee et al. show that excessive social contact in VR can be associated with increased depressive symptoms in vulnerable groups.

6.3 Health effects

Intensive VR use can cause physical symptoms such as nausea, dizziness or headaches. This so-called cybersickness is caused by conflicting sensory impressions, for example when the eyes perceive movement but the sense of balance does not register any physical acceleration. Depending on the application and individual sensitivity, between 20% and 80% of users are affected. The first symptoms often appear after about ten up to fifteen minutes, especially with jerky images or fast movements.

In addition, visual strain has been documented, which is also referred to in specialist literature as strain on the eye muscles. These complaints arise from focusing on a nearby display while simultaneously viewing depth (vergence-accommodation conflict). Typical symptoms include blurred vision, headaches or impaired hand-eye coordination. These effects are usually temporary but should be taken seriously in safety-critical applications.

Further risks arise from physical movement in VR without visibility of the real environment, for example from tripping or bumping into things. For this reason, beginners in particular should only use VR in safe areas and under supervision.

Long-term effects such as a possible increase in myopia or changes in the vestibular system have not yet been thoroughly researched. Animal studies suggest neurophysiological changes, but reliable data on chronic effects in humans are not yet available. It is recommended to take breaks and adjust VR settings individually to minimise health risks.

6.4 Cognitive effects

VR can promote spatial thinking and problem-solving skills, especially through interactive and three-dimensional content. Studies have shown that learners can improve their mental rotation and visualisation skills through regular training in virtual environments.

A transfer to real-life situations has also been observed. For example, better performance in practical tests was demonstrated after VR simulations.At the same time, the high density of stimuli in VR can lead to cognitive overload. Especially in complex or poorly structured scenarios, the simultaneous processing of sensory impressions and navigation overload working memory. Sari et al. report that excessive cognitive load in VR can impair learning outcomes.

In addition, perception and navigation strategies change in VR. While kinesthetic cues help in real environments, users in VR rely more on visual landmarks for orientation. Further research is needed to understand whether VR influences or restricts such strategies in the long term.

6.5 Learning-related effects

Numerous studies show that immersive learning with VR can lead to better results than traditional methods, especially in STEM subjects.

VR can be used to safely simulate real-life conditions, especially for complex or dangerous content such as in medicine or mechanical engineering. A common advantage is the increased motivation and concentration achieved through interactive elements. Betts et al. show that VR strengthens active learning, increases enjoyment of learning and enables more sustainable learning success.

At the same time, didactically sound concepts are needed. It is not the most visually appealing VR application that determines learning success, but its targeted use in the classroom. Without pedagogical integration, even high-quality technology can fail to have the desired effect.

Individual differences must also be taken into account. While visually and spatially oriented learners benefit greatly, others find it easier to process structured text-based information. A mix of methods, for example combining VR and traditional learning formats, is therefore often most effective.

6.6 Overview: The effect of virtual reality on the body, mind and learning

Virtual reality affects people in many ways: psychologically, socially, health-wise, cognitively and in terms of learning. Immersive technology can increase motivation, emotion and enjoyment of learning. At the same time, it carries risks such as overload, nausea or escapism. Young users in particular should be made aware that VR should not be used excessively, but consciously and reflectively.

VR is neither universally harmful nor universally beneficial. Its effect depends heavily on its application, duration and design. In teaching, it is a relevant tool that should be used in a didactically thoughtful manner. The aim is to exploit its potential without losing sight of the challenges.

7 Expanded perspectives – C2C approach in the higher education context

The cradle-to-cradle (C2C) approach offers a comprehensive framework for going beyond traditional lifecycle considerations and developing sustainable strategies for the use of VR/AR technologies in higher education. Building on the strategic and organisational requirements outlined in Chapter 6, C2C opens up additional design options that combine environmental responsibility, technical infrastructure and institutional planning.

A key principle here is "design for disassembly": products should be designed in such a way that, after use, they can be easily dismantled into individual parts and reused in a high-quality manner – without costly separation or material loss. Especially in the case of VR headsets, which consist of complex components such as displays, sensors and energy storage devices, a modular design creates the basis for longer life cycles, easier maintenance and resource-efficient use in the spirit of a circular economy.

This technical dimension is complemented by user-centred product design. Studies show that portable, intuitive devices are used for longer and are therefore more environmentally effective. This perspective is particularly relevant in a university context, as VR/AR systems are used over several semesters and in different courses of study, such as medicine or architecture. Reusability and ease of maintenance are decisive factors for a sustainable infrastructure in this context.

New approaches to circular use are also emerging on the software side. Digital twins combined with IoT systems enable preventive maintenance and predictive repairs through the analysis of real-time data. In higher education, where devices often change hands between different users, this offers considerable added value in terms of resource conservation, operational efficiency and hardware lifespan.

Furthermore, advances in materials science are fuelling the debate. Bio-based plastics, recyclable composites and biodegradable components – as already used in pilot projects for "green electronics" – show that sustainable hardware is also technically feasible for VR/AR applications.

Last but not least, new business models such as "product-as-a-service" are gaining in importance. In future, universities will be able to lease VR hardware instead of buying it, which will make return, recycling and scaling much more efficient. Such models not only offer economic advantages but also strengthen institutional resilience to rapid innovation cycles and facilitate sustainable procurement and usage policies.

These broader perspectives make it clear that the cradle-to-cradle approach goes beyond a purely environmental concept. It becomes a connecting element between technological innovation, didactic application and strategic university development. By integrating C2C-oriented approaches into their digital strategies, universities can not only improve environmental standards, but also build a sustainable, future-proof educational infrastructure in the long term.

Co-funded by the European Union

8 Possibility of applying VR/AR in universities

In the preceding chapters of this paper, key insights into the use of immersive technologies in a higher education context were gained from different disciplinary perspectives. The focus has always been on the question of the extent to which virtual reality (VR) and augmented reality (AR) can be regarded not only as technical innovations, but also as structurally and didactically relevant components of future educational landscapes. Based on these considerations, the following chapter summarises the analyses to date, consolidates the key findings and examines their practical applicability at universities.

8.1 VR/AR in the context of future higher education

Chapter 4 dealt in detail with the ongoing digitalisation of academic education and its effects. This development is bringing about fundamental changes in how teaching is planned, delivered and experienced. As a result, higher education institutions are facing not only technical challenges, but also didactic and institutional restructuring, in which immersive media can play an important role. The development of technologies such as virtual and augmented reality is opening up innovative learning environments that are characterised by a high degree of interactivity, immersion and experiential proximity.

These characteristics make VR/AR particularly suitable for the development of future-oriented learning processes. They open up the possibility of presenting abstract or difficult-to-communicate content in a way that is not only vivid but also tangible. Through exploration, action and multi-sensory feedback, students are given the opportunity to understand complex relationships. Chapter 4 dealt with the effects on motivation, self-efficacy and cognitive activation. These can now be applied in concrete terms in the context of everyday institutional education. Through the targeted use of immersive media, higher education of the future can focus more strongly on experience-based, adaptive and individualised learning scenarios.

8.2 Potential of future VR/AR applications in higher education

There are numerous specific applications for immersive technologies in higher education, which have been examined in various parts of this paper, particularly in Chapter 5. The potential of VR/AR to create simulation-based teaching formats that go beyond the limits of conventional teaching methods is particularly noteworthy. For example, students have the opportunity to experience surgical procedures, technical processes or scientific experiments in realistic scenarios safely and interactively.

Even in subjects where spatial thinking, process understanding or systemic thinking are of central importance, the immersive visualisation of abstract content enables a deeper understanding of the subject matter. In addition, virtual group work or joint explorations of digital learning spaces offer the opportunity to promote collaborative skills and try out new forms of interaction. These didactic potentials are directly related to the requirements of university teaching, which must be increasingly interdisciplinary, practical and flexible.

Another advantage is the possibility of adaptively tailoring VR/AR to different target groups and learning requirements. This offers prospects for more inclusive and accessible education, as called for in Chapter 6 with regard to social justice and educational participation.

8.3 Didactic, ethical and infrastructural challenges

Despite the promising potential of immersive technologies, the challenges associated with them must not be ignored. Chapter 6 comprehensively addressed the ethical, social and technical dimensions of digital teaching; these are also particularly relevant for the use of VR/AR. The use of personal data, such as that generated by motion analysis or individualised learning processes, therefore raises questions about data protection and about informational self-determination.

In addition, the didactic integration of immersive media requires not only technical expertise, but also a profound understanding of design-oriented pedagogy. Teachers should develop the ability not only to use immersive learning environments technically, but also to design them conceptually. This requires further training opportunities, technical assistance and institutional support.

Another point concerns the infrastructural requirements: universities need a stable digital infrastructure, compatible end devices, maintenance strategies and long-term system integration concepts. These factors pose logistical and financial challenges that must be integrated into the overall strategy of educational institutions in order to enable sustainable innovation.

8.4 Outlook and strategic recommendations

The findings to date suggest that VR/AR should not be viewed as a technical add-on, but rather as a potentially integral component of a forward-looking university teaching. However, it is essential that immersive technologies are not used in isolation, but as part of didactic concepts, institutional processes and educational policy strategies. Teaching can be enriched through strategically sound use, and new forms of competence development can emerge.

It is therefore essential that universities create comprehensive framework conditions for the use of immersive technologies in accordance with the recommendations in Chapter 7. These include the development of university-wide digital strategies, targeted support for pilot projects, evidence-based evaluation of didactic impact, and integration into curricula and examination regulations.

In addition, exchange with other educational institutions, industry and research should be intensified in order to pool experience and jointly develop standards for responsible implementation. VR/AR can only become an integral part of successful higher education if technological innovation, didactic quality and institutional sustainability are taken into account together.

9 EFEU pilot VR/AR application in higher education institutions

9.1 Conceptual framework

This VR-based teaching/learning arrangement builds on the objective described in the introduction of promoting sustainability skills in a higher education context. This chapter focuses on the conceptual approach, which is intended to ensure sound, didactically and technically consistent implementation.

The central idea was not to convey complex sustainability topics such as carbon footprints, resource conservation or circular economy in an abstract way, but to translate them into immersive, interactive scenarios. By embedding them in a clearly structured learning environment, students are encouraged to develop systemic thinking and reflect on their own decision-making behaviour.

The concept was based on the CAMIL framework (Makransky & Petersen, 2021), which defines specific requirements for immersive learning environments and takes into account motivation, self-efficacy, cognitive load and embodiment. Emphasis was also placed on ecological assessment approaches: the cradle-to-cradle concept and the Greenhouse Gas Protocol form the basis for critically reflecting on the ecological impact of the technology used and thus also for thinking about digital infrastructure in a sustainable way.

Through this methodological and didactic framework, the arrangement is intended not only to convey knowledge, but also to serve as a consistent example of how education itself can become a sustainable practice. The immersive design, combined with periods of reflection, aims to anchor content in a lasting way and promote a critical, responsible attitude among learners.

9.2 Didactic and technical implementation

The didactic and technical planning of this VR-based teaching/learning arrangement follows a deliberately structured approach, which enables a consistent, comparable and transparent learning environment. Immersive media are not used as an isolated tool but are methodically embedded to support specific learning objectives.

A key instrument is the development of detailed storyboards for each station. These serve not only to structure the content, but also to coordinate the didactic approach. They define orientation, information and processing phases as well as clear learning objectives, methods and media. This planning approach ensures a consistent didactic line across all topics and enables comparability with other VR-based teaching/learning arrangements in Germany and Europe, which increasingly use the CAMIL framework as a common basis for evaluation. The CAMIL model itself describes key didactic principles for immersive learning environments such as motivation, agency, cognitive offloading and embodiment, and is used in current studies as a standard for analysing and optimising such settings.

Onboarding is also designed as an integral part of the concept. A guided introduction ensures that technical barriers to entry are minimised and that users become familiar with the interaction options at an early stage. This creates a positive user experience, reduces uncertainty and enables equal access – important prerequisites for the effective didactic use of immersive media.

The technical implementation is based on the RAUM platform. We also used existing stand-alone VR systems (e.g. Meta Quest 3) that are already available at the university. This choice reflects a conscious strategy on the part of the university to use existing resources efficiently, reduce energy consumption and improve usability at the same time. At the same time, it is recognised that PC-based systems can offer advantages for higher graphical or functional requirements. A sustainable digital strategy must therefore systematically analyse the different needs and flexibly adapt them to the respective application scenarios.

Overall, this planning shows that the use of immersive media requires more than just their technical provision. It requires a well-thought-out didactic concept that takes learning objectives, user experience and ecological responsibility into account in equal measure, thus contributing to sustainable digital university teaching.

9.3 Overview of the VR stations

The individual stations deal with different sustainability topics and use specific methods and media to address the learning objectives in a tailored manner. The design ranges from interactive simulations and video-based information modules to cooperative modelling tasks. This diversity is intended to appeal to different learning preferences while also enabling a high level of depth in terms of content.

The following overview visualises the thematic structure and shows in a compact form the focal points of the individual learning stations in the overall arrangement.

Figure 1: Overview of learning stations

Detailed content, storyboards and materials for the individual stations are included in Annex A to this paper and provide in-depth insights into the didactic planning and implementation.

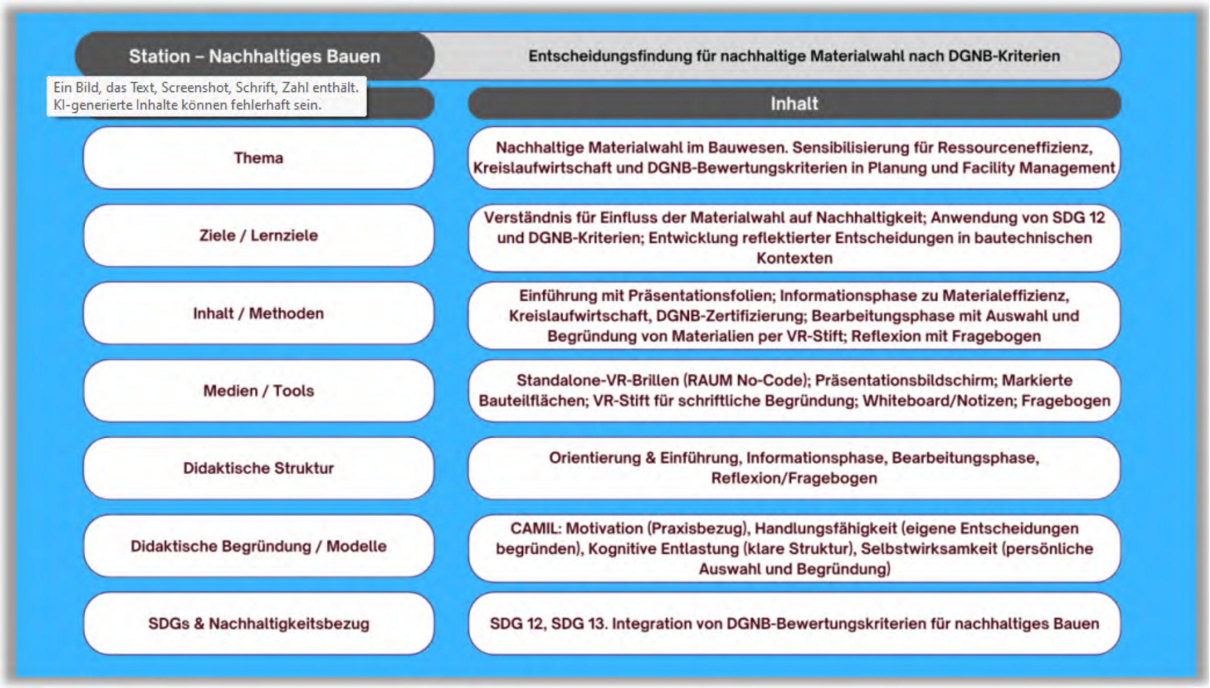


Figure 2: Learning station Circular Economy

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Die User betreten das Dach und befinden sich auf der linken Seite direkt vor der Willkommenspräsentation zur Station „Nachhaltiges Bauen". Die Leinwand liefert grundlegende Informationen zum Ablauf: Ziel der Station, Gesamtzeit sowie der Aufbau mit drei Material-Entscheidungsbereichen (Fassade, Dach, Innenraum). Am linken Bildrand (oder über das Menü des VR-Controllers) kann ein virtueller Pointer ausgewählt werden, mit dem die Studierenden durch die Präsentationsfolien blättern können.

2. Informationsphase: Grundlagen Nachhaltiges Bauen, SDG 12 & DGNB

Beschreibung:

Die erste Folie enthält eine Übersicht über die Relevanz der Materialwahl im Kontext nachhaltigen Bauens. Es werden Aspekte wie Ressourceneffizienz, Flächenversiegelung, Wiederverwertbarkeit und DGNB-Bewertungskriterien visuell dargestellt.

Folie 2 vermittelt den Hintergrund zu SDG 12 – Nachhaltiger Konsum und Produktion. Es wird erklärt, wie Ressourcenschonung, Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft und bewusster Konsum zum Erreichen dieses Nachhaltigkeitsziels beitragen. Der Bezug zur Baubranche wird über drei konkrete Beispiele hergestellt: Auswahl nachhaltiger Materialien, Energieeffizienz, Lebenszykluskosten von Gebäuden.

Folie 3 erläutert die DGNB-Zertifizierung. Die Studierenden erfahren, dass dabei die ökologische, ökonomische, soziokulturelle, technische und prozessuale Qualität eines Gebäudes bewertet wird. Besonders hervorgehoben werden: Materialwahl, Energieeffizienz, Rückbaubarkeit, Nutzerkomfort, sowie die drei Bewertungsstufen: Silber, Gold und Platin.

3. Bearbeitungsphase: Materialwahl treffen und begründen

Beschreibung:

Die User bewegen sich zu den drei markierten Bauteilflächen am Modell im VR-Raum: Fassade, Innenraum und Dach. Für jedes Bauteil stehen drei Materialoptionen zur Auswahl. Die Studierenden wählen je eine Variante aus und kennzeichnen ihre Entscheidung auf der jeweiligen Fläche indem sie es per VR-Stift handschriftlich beschriften.

Figure 3: Story board learning scenario Circular Economy

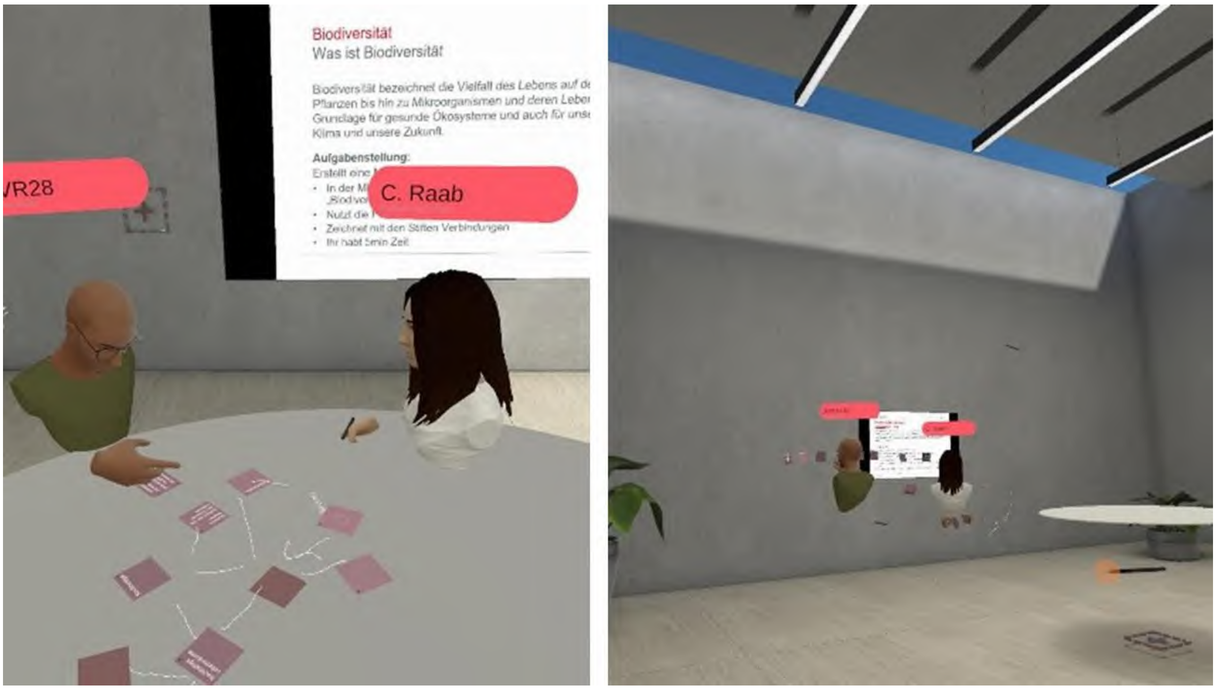


Figure 4: VR environment of learning stations

All stations are designed so that they can be used independently but can also be integrated into an overall concept. The modular structure allows for flexible adaptation to different courses of study and subject contexts. At the same time, it supports the scalability of the approach in terms of expanding the content to include further sustainability topics as well as technical implementation in different university environments.

9.4 Reflection and evaluation tool including assessment

In order to specifically assess the impact of the individual stations and ensure continuous improvement, a standardised questionnaire is used, which is based on the established didactic and psychological model of the CAMIL framework (Appendix 2).

It describes key dimensions of immersive learning such as motivation, agency, presence, embodiment and cognitive load. By translating these dimensions into concrete items, the questionnaire enables a differentiated analysis of the learning effectiveness and usability of the VR stations. This theoretical foundation helps not only to collect subjective impressions, but also to gain reliable insights into didactic strengths and areas for improvement.

In addition, the questionnaire also includes open-ended reflection questions that encourage learners to critically reflect on their own behaviour, attitudes and learning transfer. This phase is not only an evaluation tool, but also part of the didactic design itself: it promotes awareness of sustainable courses of action and anchors what has been learned more firmly in everyday life.

Data from 57students enrolled in industrial engineering programmes with a focus on facility management was available for analysis. The average age of the participants was 22.2 years, with the majority in their third year of study. Data collection combined standardised scales with open-ended questions and was analysed in several steps: in addition to transforming negative items and creating well-founded subscales, mean values, standard deviations and, where applicable, confidence intervals were calculated. A qualitative content analysis was also carried out by coding and categorising the responses.

The results show a high level of acceptance and learning effectiveness of the VR learning unit (see also Appendix C). For example, VR as a medium has a clearly positive effect on learning motivation: with an average score of 4.00 on a five-point scale, over 75% of respondents confirm that VR increases their interest in learning. The transferability of virtual content to real contexts was also rated positively, with an average score of 3.78. The open-ended responses illustrate successful examples of transfer, such as sustainable behavioural changes such as increased use of public transport. These results show that the unit can be not only cognitively effective but also behaviourally influential.

However, the findings also reveal limitations in the structural framework conditions. Only 33.3% of respondents stated that their university was sufficiently equipped to implement VR-based teaching across the board. This finding points to systemic limitations: the acceptance and effectiveness of the method are hampered by a lack of infrastructure, which makes transfer difficult. Didactic factors such as agency and physical presence were perceived as good to very good, with an agency value of 3.50 and a high value for the sense of presence (M = 4.22). In contrast, visual realism was viewed critically with a score of 2.56, indicating that immersion is influenced more by interactive and narrative elements than by visual quality.

A particularly strong result can be seen in situational interest: with an average value of 4.30 and a 95% confidence interval above the middle of the scale, the VR environment appeals to learners emotionally and activates them cognitively. Interest in sustainability was also rated highly (M = 4.00), with only a few expressing little interest. Confidence in one's personal ability to accomplish sustainability-related tasks was also rated highly (M = 3.95), indicating that the VR unit not only imparts knowledge but also boosts confidence in applying this knowledge in everyday life.

An outstanding result was found in the area of situational interest. With an average value of 4.30 and a 95% confidence interval above the middle of the scale, the effect is very strong. This illustrates that the VR environment appeals to learners emotionally and activates them cognitively. Thematic interest in sustainability was also rated highly (M = 4.00), with only a minority expressing little interest. Confidence in one's own ability to accomplish sustainability-related tasks was also rated highly (M = 3.95). This suggests that the VR unit not only imparts knowledge, but also boosts confidence in applying this knowledge in everyday life.

The aspect of embodiment was less pronounced. With a value of 2.93, the embodiment score was only in the middle range. In particular, the low level of agreement with the statement that relevant body movements were performed (M = 2.67) indicates potential for development. Greater integration of body-related interactions, for example through haptic feedback or gesture-based controls, could specifically strengthen this area. In terms of cognitive load, however, the data paints a positive picture: the interaction-related load was 2.61, while the environment-related load was only 1.86. This suggests that the VR environment was neither overwhelming nor confusing – an important finding for instructional design.

The qualitative evaluation underscores the quantitative results: the station "Energy Consumption on Campus" (also titled "Grey Energy") was mentioned particularly frequently 58, indicating the relevance and memorability of the topic. The reasons given for the particular impact of this station can be summarised in six content categories: real-world relevance, personal relevance, interactivity, awareness raising, the impact of material choices, and interest in energy issues. Only a few points of criticism were mentioned, such as video loops or limited storage space – comments that point to technical improvements rather than fundamental shortcomings.

Clear learning successes can also be derived with regard to the different dimensions of knowledge. All participants named at least one technically correct measure (declarative knowledge), seven out of eight explained key relationships such as that between grey energy and life cycle analysis (conceptual knowledge), and six out of seven outlined concrete planning processes for implementing sustainable building concepts (procedural knowledge). This indicates effective cognitive penetration of the topic and shows that the learning unit goes beyond pure factual learning.

Overall, the data suggests that VR-supported sustainability teaching offers great potential for higher education. It is not only accepted, but also motivating, immersive and conducive to knowledge transfer. The combination of emotional activation, cognitive structuring and selfreflective integration enables sustainable learning in two senses – both in terms of content and methodology. At the same time, there is room for development, particularly in the areas of physical interaction and visual design. However, the greatest external limitation remains the institutional infrastructure, which has so far hindered widespread use.

Future research should expand the sample size and enable more in-depth statistical analyses based on raw data, for example on internal consistency (Cronbach's α) or the long-term impact of the learning environment in pre-post designs. Direct comparisons of different didactic settings (e.g. VR vs. traditional classroom teaching) could also provide valuable insights.

In conclusion, it can be said that VR-supported learning in the context of sustainability is not only innovative, but also didactically sound and empirically effective. The combination of technology, theory and reflection creates a learning environment that promotes cognitive, emotional and behavioural goals in equal measure – a prerequisite for effective education in the 21st century.

9.5 Sustainable design and strategic embedding of the VR teaching/learning arrangement

The arrangement makes it clear that sustainability skills are not only taught thematically, but must also be anchored in the design of the teaching/learning environment itself. Immersive technologies only unfold their potential responsibly when they are embedded in a well-thought-out, didactically sound and ecologically reflective overall concept. The use of existing resources, the orientation towards principles such as cradle to cradle and the consideration of CO_2 balances demonstrate a conscious engagement with ecological impacts as early as the planning phase. Participants in the arrangement are informed of this in advance so that they too can experience the connection.

At the same time, the arrangement addresses the role of digital teaching within a comprehensive sustainability strategy. It addresses the balance between emission reductions through virtual formats and the ecological costs of hardware production and energy consumption. The decision to use existing stand-alone systems with lower power consumption is a practical solution that reduces emissions while ensuring usability and accessibility. It is recognised that universities must make such decisions on a case-by-case basis. Different degree programmes and departments have specific requirements for VR technology – for example, in terms of graphic quality, interactivity or collaboration functions – so a sustainable strategy requires flexible solutions and needs-based infrastructure planning.

Another key aspect of sustainable design is the human being as a learner and user of technology. Chapter 5 shows that immersive media open up new opportunities for motivation and knowledge transfer, but can also entail specific stresses such as cybersickness, cognitive overload, or social and health risks. Sustainable strategies must therefore focus on transparency, informing users about possible effects at an early stage and setting realistic expectations. Training courses, guided onboarding phases and intuitive interaction designs help to make the use of technology safer and more comfortable, thereby reducing potential stress. Reflection phases also help users process their own experiences and promote conscious, responsible use of digital media.

Finally, it becomes clear that the development of sustainable VR teaching/learning arrangements is not a static outcome, but rather an ongoing process. This process requires the continuous coordination of ecological, technical and pedagogical perspectives, as well as a willingness to respond flexibly to technological developments and the changing needs of learners. Universities that take on this responsibility can not only design innovative learning scenarios, but also serve as credible examples of education that consistently implements sustainability.

10 Bibliography

Adeyemi, A., Ojo, J. S., & Sadiq, M. A. (2022). Utility of computer hardware recycling technique for university learning: A systematic review. Journal of Educational Technology Systems, 51(1), 5–18. https://www.researchgate.net/publication/360856416

Bartels, N., & Wills, N. (2025). Extended realities in teaching – The game changer for teaching in facility management. Spotlight FMplus conference proceedings, Zurich.
Borderstep Institute (2020). Climate protection through video conferencing. https://www.borderstep.de/facts-and-figures/facts-figures-klimaschutz-durch-videokonferenzen-statt-dienstreisen

Bleckmann, T., Friege, G., & Otto, M. (2022). Student support in physics – A study of major and minor students during the COVID-19 pandemic. Physics and Didactics in Schools and Universities, http://phydid.physik.fu-berlin.de/in-dex.php/phydid/article/view/1192/1274 p. 5ff.

Eickelmann, B., Gerick, J., & Bos, W. (2020). Digital schools – The 2020 state indicator. Münster: Waxmann. https://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=18048

EPEAT Registry. (2025). Search results for certified products. https://www.epeat.net European Commission. (2024). Commission Communication on a European strategy for universities. https://education.ec.europa.eu/document/commission-communication-on-a-euro-pean-strategy-for-universities

Filimonau, V., Archer, D., Bellamy, L., Smith, R., & Lee, D. (2020). The carbon footprint of a UK university during the COVID-19 lockdown. Sustainability, 12(19), 8088. https://doi.org/10.3390/su12198088

Research & Teaching (2022). Video conferences generate high CO_2 emissions. https://www.forschung-und-lehre.de/zeitfragen/videokonferenzen-erzeugen-hohe-co2-emissionen-3507

Fraunhofer UMSICHT. (2023). Bioplastics in the circular economy. https://www.umsicht.fraunhofer.de

Gheorghe, C., Chen, M., & Zhang, Q. (2023). Predictive maintenance using digital twins and sensor-based data. Computers in Industry, 147, 103806. https://doi.org/10.1016/j.com-pind.2023.103806

GreenVR Project. (2024). Energy Efficiency Benchmarks for Next-Gen VR Devices. Report Series 02/2024. https://green-vr.eu

Harju, M., Leppänen, T., & Virtanen, I. (2018). Interaction and student dropout in massive open online courses. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 15(1), 1–18.

Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Sciences. (n.d.). AR/VR.nrw – Augmented and virtual reality in university teaching. https://www.h-brs.de/de/arvrnrw-augmented-und-virtual-reality-der-hoch-schullehre

Hoogmartens, R., Van Passel, S., & Van Acker, K. (2021). Design for disassembly in circular economy: Towards a new standard for complex consumer electronics. Resources, Conservation and Recycling, 167, 105409. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105409

Huang, Y.-M., Back, M. D., & Cheng, M. T. (2021). Cognitive load and learning effectiveness in VR-based teacher training. Virtual Reality, 25, 17–32. https://doi.org/10.1365/s40702-021-00815-y

Kim, Hyewon, Kim, D. J., Chung, W. H., Park, K.-A., Kim, J. D. K., Kim, D., Kim, K., & Jeon, H. J. (2021). Clinical predictors of cybersickness in virtual reality (VR) among highly stressed people. Scientific Reports, 11(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w

Lee, H.-W., Kim, S., & Uhm, J.-P. (2021). Social Virtual Reality (VR) Involvement Affects Depression When Social Connectedness and Self-Esteem Are Low: A Moderated Mediation on Well-Being. Frontiers in Psychology, 12. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.753019

Lønne, T. F., Karlsen, H. R., Langvik, E., & Saksvik-Lehouillier, I. (2023). The effect of immersion on sense of presence and affect when experiencing an educational scenario in virtual reality: A randomised controlled study. Heliyon, 9(6), e17196. https://doi.org/10.1016/j.he-liyon.2023.e17196

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive-affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical model of learning in immersive virtual reality. Educational Psychology Review, 33(3), 937–958. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press.
Medica. (n.d.). Virtual reality in surgical training: VIRTOSHA – surgery meets VR technology. https://www.medica.de/de/digital-health/virtosha-ausbildung-chirurgie-vr-technologie

Mills, M. (2020). Virtual Reality's Real Energy Problem. Centre for Energy Policy, Columbia University. https://energypolicy.columbia.edu/research

Sari, R. C., Pranesti, A., Solikhatun, I., Nurbaiti, N., & Yuniarti, N. (2023). Cognitive overload in immersive virtual reality in education: More presence but less learnt? Education and Information Technologies, 29(10), 12887–12909. https://doi.org/10.1007/s10639-023-12379-z

Sustainability Directory. (2023a). E-waste from VR/AR devices: Challenges for circularity. https://sustainability-directory.com/term/e-waste-from-vr-ar

Swaleh, M., & Wabwobwa, F. (2024). Virtual Reality Being the Witchcraft that is Taking Humanity into Another Realm. International Journal of Research and Innovation in Applied Science, IX(V), 65–74. https://doi.org/10.51584/ijrias.2024.905006

Federal Environment Agency (2021). Greenhouse effect of streaming, video conferencing, etc. calculable. https://www.umweltbundesamt.de/themen/treibhauseffekt-von-streaming-videokon-ferenz-co

Federal Environment Agency. (2023). Emission factors for CO_2 accounting in Germany. https://www.umweltbundesamt.de

University of Würzburg. (n.d.). Working group on virtual reality simulation in medical studies. https://www.med.uni-wuerzburg.de/medizinlehre/ausbildungsforschung/arbeitsgruppe-virtual-reality-simulation-im-medizinstudium

Wang, L., & Chen, T. (2023). Supply chain transparency in electronics: Barriers to sustainable innovation. Sustainability, 17(11), 5171. https://doi.org/10.3390/su17115171

Wilczyńska, D., Walczak-Kozłowska, T., Alarcón, D., Arenilla, M. J., Jaenes, J. C., Hejła, M., Lipowski, M., Nestorowicz, J., & Olszewski, H. (2024). The Role of Immersive Experience in Anxiety Reduction: Evidence from Virtual Reality Sessions. Brain Sciences, 15(1), 14. https://doi.org/10.3390/brainsci15010014

Zhou, X., Chen, L., & Wang, J. (2022). Cloud-rendered Virtual Reality and Its Energy Saving Potential. Journal of Sustainable Computing, 36, 100751. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100751

ANNEX A

Learning Stations & Storyboards

Onboarding	Einführung in VR-Nutzung für Motivation und Usability
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Onboarding – Einführung in die Bedienung und Nutzung der VR-Plattform RAUM
Ziele / Lernziele	Technische Sicherheit schaffen; Usability-Kompetenz aufbauen; Einstiegshürden senken; Motivation und Akzeptanz für die VR-Nutzung fördern
Inhalt / Methoden	Begrüßung, Sicherheitsunterweisung, Einführung in Steuerung und Tools (Menüführung, Post-Its, Stift), praktisches Üben im Raum EFEU, offene Fragerunde
Medien / Tools	Standalone-VR-Brillen (RAUM), Präsentationsflächen, Post-Its, Stifte, Diktierfunktion
Didaktische Struktur	Orientierung (Begrüßung, Zielklärung), Demonstration (Erklärung der Funktionen), Explorationsphase (eigenständiges Üben), Reflexion (Fragen klären, Feedback geben)
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation (niedrigschwelliger Einstieg), Handlungsfähigkeit (Bedienkompetenz erwerben), Kognitive Entlastung (sicherer Rahmen für Erprobung), Förderung von Selbstwirksamkeit
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 4 (hochwertige Bildung – digitale Kompetenzen), SDG 12 (bewusster Ressourceneinsatz), Hinweis auf Scope-2-Emissionen und Energieeffizienz (Standalone-Systeme)

Figure 2 – Onboarding – Details

T3100 - Onboarding 25.5.2025

Onboarding

Ablauf:

Das Onboarding besteht aus der fünfzehnminütigen Einführung in die virtuelle Welt von Raum durch den Stationsbegleiter.

Die Nutzer versammeln sich in dem Vorraum. Die Sicherheitsunterweisung erfolgt direkt. Anschließend soll ihnen gezeigt werden, wie sie sich durch den virtuellen Raum bewegen können. Die Nutzer sollen sich im Vorraum umsehen und sich mit der Umgebung vertraut machen. Ebenfalls soll die Funktion des Menübuttons erklärt werden.

Danach loggen sich die Nutzer in den Raum „EFEU" ein. Hierbei soll klar dargestellt werden, dass ein tatsächliches Berühren von bestimmten Oberflächen anhand des virtuellen Fingers zu Aktionen führen kann. Im Raum „EFEU" werden ihnen anhand eines Boards gegenüber des Willkommensbildschirms die Funktionen zur Bearbeitung der einzelnen Stationen erklärt und können hier ausprobiert werden. Es werden folgende Funktionen erklärt:

- Greifen des Post-It´s Blocks
- Loslassen des Blocks
- Abreißen eines einzelnen Post-It´s
- Notieren von Gesprochenen auf den Post-It´s durch die Diktierfunktion
- Löschen von Post-It´s
- Anheften von Post-It´s
- Anwendung des Stifts
- Anwendung des Radierers

Um die Nutzer auf das Arbeiten an den Präsentationsbildschirmen und der Videoauswahl vorzubereiten, wird am Willkommensbildschirm die Menüfunktion erklärt. Es werden folgende Funktionen erklärt:

- Nutzung des Laserpointers
- Auswählen von Videos

Der Stationsbegleiter steht für Fragen zur Nutzung von Funktionen offen und fotografiert die Ergebnisse nach der Bearbeitung von Stationen.

Station – Mobilität / Pendelverhalten	Reflexion des Pendelverhaltens und Entwicklung nachhaltiger Alternativen
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Mobilitätsentscheidungen und deren CO_2-Fußabdruck im Alltag. Reflexion des persönlichen Pendelverhaltens anhand von Videoinhalten und Transfer in individuelle Zielsetzungen
Ziele / Lernziele	Bewusstsein für Scope-3-Emissionen im Alltag (Pendelverkehr); Reflexion des eigenen Mobilitätsverhaltens; Ableitung eines Soll-Zustands zur Reduktion von Emissionen; Förderung nachhaltiger Entscheidungs- und Planungskompetenz
Inhalt / Methoden	Präsentation von Videos in VR; moderierte Reflexion der eigenen Pendelrealität; schriftliche Festlegung eines Soll-Zustands im Fragebogen als Transferleistung
Medien / Tools	VR-Brillen (Standalone), RAUM-Plattform (No-Code), eingebettete Videos, Post-Its für Notizen und Diskussion
Didaktische Struktur	Orientierung, Informationsphase (Videoinhalte), Reflexionsphase (Diskussion / individuelles Nachdenken), Transferphase (Fragebogen zur Soll-Planung)
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation, Handlungsfähigkeit, Kognitive Entlastung (visuelle Vermittlung komplexer Emissionsdaten), Förderung von Selbstwirksamkeit
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 11, SDG 13. Fokus auf Scope-3-Emissionen. Beitrag zu nachhaltiger Verhaltensänderung.

Figure 3 – Station – "Mobility & Commuter Traffic"

Storyboard - Immersive Medien

Kurze Inhaltsbeschreibung:

Die Station thematisiert individuelle Mobilitätsentscheidungen im Hochschulkontext. Anhand verschiedener Verkehrsmittel und einer Wochenplanung reflektieren die Lernenden ihren CO_2 -Fußabdruck und lernen dabei Scopes und SDGs kennen.

Hauptlernziel:

Lernende können ihr eigenes Mobilitätsverhalten analysieren und die Auswirkungen auf CO_2 -Emissionen und nachhaltige Entwicklungsziele bewerten.

Lerngruppe/n:

Studierende, insbesondere in Studiengängen mit Nachhaltigkeits- oder Stadtentwicklungsschwerpunkt.

Hard- und Software:

VR-Brille (Meta Quest 3 oder vergleichbar), VR-App, Video-/Bilddateien o. Ä, 3D-Modelle, Notizzettel (Innerhalb VR), virtuelle Tische.

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Die User betreten den Raum und sehen vor sich drei Bildschirme. Der mittlere Bildschirm ist am größten und intuitiv als Haupteinstieg erkennbar. Dort ist bereits ein Vorschaubild („Heute im Fokus: Nachhaltigkeit erleben") sichtbar.

Über ein Menü-Feld auf der linken Seite des Bildschirms kann ein kurzes Einführungsvideo manuell gestartet werden. Es liefert einen Überblick über die SDGs (3, 11 und 13) und erklärt Ziel und Ablauf der Station.

2. Informationsphase: Verkehrsmittel & SDGs

Beschreibung:

Der rechte Bildschirm zeigt ein Verkehrsmittel (z. B. Auto als Vorschau). Das zugehörige Video liefert Hintergrundinformationen zur CO_2 -Bilanz, SDG-Bezug und Scope-Zuordnung dieses Verkehrsmittels.

- Per Menü können weitere Verkehrsmittel (Bahn, Carsharing, Fahrrad, E-Scooter etc.) ausgewählt und durch Vergrößern abgespielt werden. So entsteht ein Überblick über unterschiedliche Mobilitätsoptionen und deren Nachhaltigkeitswirkung.

3. Planungsphase: Eigener Wochenplan

Beschreibung:

Der linke Bildschirm zeigt einen Wochenplan mit Tagen (Mo–Fr & WE). Nach dem Anschauen der Videos sollen User reflektieren, wie sie sich im Alltag fortbewegen – und dies durch Notizzettel pro Tag dokumentieren.

- Dabei können auch alternative Szenarien ergänzt werden (z. B. „Wenn es regnet..." oder „Wenn ich mehr Zeit hätte...").

4. Reflexion & Fragebogen

Beschreibung:

Nach Abschluss der VR-Session erhalten die User Zugang zum digitalen Fragebogen. Sie reflektieren ihr Verhalten, den Lerneffekt und geben Feedback zu allen durchlaufenen Stationen.

- Die Reflexion erfolgt anhand vorbereiteter Fragen aus Teil B–E des Fragebogens.

Storyboard & Synopse – Station Mobilität & Pendlerverhalten 21.5.2025

Synopse – Immersive Medien

Zeit	Phase / Lerninhalt	Feinlernziel – Die Studierenden können …	Methode / Handlungen	Material / Medien
0:00–2:00 Min	Einstieg & Kontext	… die Zielsetzung der Station und die Bedeutung der SDGs erkennen.	Schauen, Hören, Menü bedienen	Mittlerer Bildschirm (SDG-Thumbnail & Intro-Video)
2:00–5:00 Min	Verkehrsmittel & SDGs	… Videos zu Verkehrsmittel mit Informationen zu CO_2 , SDG und Scope abspielen.	Video auswählen, Vergrößern, gezieltes Hören	Rechter Bildschirm: einzelne Videos zu Mobilitätsoptionen
5:00–6:30 Min	Planungsphase	… eigenes Mobilitätsverhalten reflektieren und dokumentieren.	Wochenplan lesen, Notizzettel setzen	Linker Bildschirm: Wochenraster, Anleitungsvideo

Abschlussimpuls durch den Guide mit dem Hinweis, dass die Station im anschließenden Fragebogen durch eine Reflexionsfrage vertieft wird.

3/3

Station – Graue Energie	Analyse versteckter Emissionen und Förderung bewussten Konsums.
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Graue Energie in Konsumgütern. Aufdeckung versteckter Emissionen entlang des Produktlebenszyklus. Sensibilisierung für die Gesamtumweltwirkung alltäglicher Kaufentscheidungen
Ziele / Lernziele	Verständnis für Scope-3-Emissionen; Bewusstsein für unsichtbare Emissionsanteile fördern; Analyse von Produkten auf versteckte Umweltkosten; Reflexion eigener Konsumentscheidungen und Ableitung nachhaltiger Alternativen
Inhalt / Methoden	Arbeit an einem virtuellen Whiteboard mit vorbereiteten Karten; Gruppierung und Diskussion nach Lebenszyklusphasen; Reflexion über Konsumverhalten und Ableitung eigener Kriterien für nachhaltigen Konsum
Medien / Tools	VR-Brillen (Standalone, RAUM No-Code), Post-Its, Moderation durch Guide, Screenshots zur Ergebnissicherung
Didaktische Struktur	Einführung ins Thema, Erarbeitungsphase (Platzierung und Gruppierung der Karten), Diskussionsphase (Begründung und Austausch), Reflexionsphase (Übertragung auf eigenes Konsumverhalten, Formulierung individueller Ziele)
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation (Alltagsbezug), Handlungsfähigkeit, Kognitive Entlastung (strukturierte Kartenarbeit), Selbstwirksamkeit (eigene Strategien entwickeln)
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 12, SDG 13. Fokus auf Scope-3-Emissionen aus Produktion und Transport. Beitrag zur individuellen Emissionsminderung

Figure 4 – Station – "Grey Energy"

Storyboard - Immersive Medien

Kurze Inhaltsbeschreibung:

Die Station thematisiert die Herkunft und Errechnung von grauer Energie, die zum Abbau, zur Herstellung, Produktion, Transport, und Verarbeitung von Rohstoffen zu Baustoffen verwendet wird. Anhand zwei fiktiver Lagerhallen soll durch einfache Rechenbeispiele die Auswirkungen der Materialauswahl auf die Einheit der grauen Energie veranschaulicht werden.

Hauptlernziel:

Lernende sollen verstehen, dass der vom Rohstoff bis zum fertigen Baustoff einen energiereichen Prozess durchläuft, was sich auf die Energiebilanz des Gebäudes niederschlägt.

Lerngruppe/n:

Studierende, insbesondere in Studiengängen mit Nachhaltigkeits- oder baulichem Schwerpunkt.

Hard- und Software:

VR-Brille (Meta Quest 3 oder vergleichbar), VR-App RAUM, Präsentationsfunktion, Taschenrechnerfunktion, Pointer, Notizzettel

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Die User betreten den Raum und sehen die Willkommenspräsentation vor sich. Aus dieser lassen sich die Informationen über den Zweck des Besuches im RAUM, die Anzahl der Stationen und der vorgegebene Zeithorizont entnehmen. Die Station „Graue Energie" besteht aus einem Bildschirm, auf welchem eine Präsentation „Graue Energie" zu sehen ist und ein Bildschirm mit einer voreingerichteten Taschenrechnerfunktion geöffnet. Durch einen Klick auf das Menüband am linken Bildrandschirm oder am Controller kann ein Pointer ausgewählt werden, der zum Blättern der Präsentationsfolien dient.

2. Informationsphase: Beschreibung der Lagerhalle

Beschreibung:

Der Inhalt der ersten Folie zeigt dem User die allgemeinen vor- und nachgelagerten Energieaufwände, die zur Erstellung eines Baustoffs nötig sind. Die darauffolgende Folie zeigt die Lebenszyklusphasen tabellarisch auf. Anschließend wird durch formulierte Fragen verdeutlicht, welche Angaben man zur Errechnung der grauen Energie von Baustoffen benötigt.

3. Bearbeitungsphase: Berechnung

Beschreibung:

Die letzten vier Folien bestehen aus für die zu lösende Aufgabe relevanten Informationen, wie die Beschreibung des Ausgansszenarios und der Aufgabenstellung. Um die Aufgabe zeitlich angemessen zu gestalten, wird der Rechenaufwand durch die gegebenen Angaben stark reduziert, sodass durch eine einfache Multiplikation und das Zusammenrechnen der einzelnen Teilergebnisse die Aufgabe gelöst werden kann.

Lagerhalle 1:		Lagerhalle 2:
(150*900)	Fundament	(150*1.300)
+(40*6.000)	Tragwerk	+(50*1.100)
+(60*2.000)	Dämmung	+(60*400)
+(4.500*30)	Dachdeckung	+(26*1.000)
+(1.300*40)	Abdichtung	+(23*40)

+(90*100) =691.000 MJ graue Energie	Fensterband	+(90*100) =309.920 MJ graue Energie

4. Reflexion & Fragebogen

Beschreibung:

Nach Abschluss der VR-Session erhalten die User Zugang zum digitalen Fragebogen. Sie reflektieren ihr Verhalten, den Lerneffekt und geben Feedback zu allen durchlaufenen Stationen.

- Die Reflexion erfolgt anhand vorbereiteter Fragen aus Teil B–E des Fragebogens.

Synopse – Immersive Medien

Zeit	Phase / Lerninhalt	Feinlernziel – Die Studierenden können …	Methode / Handlungen	Material / Medien
0:00–2:00 Min	Orientierung & Einführung	… sich frei durch den RAUM bewegen und den Präsentationsmodus bedienen.	Selbständiges erforschen	Präsentationsbildschirm, Pointer
2:00–5:00 Min	Informationsphase	… die Informationen der Präsentation verstehen, aufnehmen und einordnen und verstehen die zu lösende Aufgabe.	Nennen, definieren	Präsentationsbildschirm
5:00–6:30 Min	Bearbeitungsphase	… die Aufgabe lösen und die Ergebnisse selbständig in Relation betrachten und einschätzen.	Herausarbeiten, in Beziehung setzen	Präsentationsbildschirm, Bildschirm mit Taschenrechnerfunktion, Post-It´s

Abschlussimpuls durch den Guide mit dem Hinweis, dass die Station im anschließenden Fragebogen durch eine Reflexionsfrage vertieft wird.

Station – Nachhaltiges Bauen	Entscheidungsfindung für nachhaltige Materialwahl nach DGNB-Kriterien
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Nachhaltige Materialwahl im Bauwesen. Sensibilisierung für Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft und DGNB-Bewertungskriterien in Planung und Facility Management
Ziele / Lernziele	Verständnis für Einfluss der Materialwahl auf Nachhaltigkeit; Anwendung von SDG 12 und DGNB-Kriterien; Entwicklung reflektierter Entscheidungen in bautechnischen Kontexten
Inhalt / Methoden	Einführung mit Präsentationsfolien; Informationsphase zu Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft, DGNB-Zertifizierung; Bearbeitungsphase mit Auswahl und Begründung von Materialien per VR-Stift; Reflexion mit Fragebogen
Medien / Tools	Standalone-VR-Brillen (RAUM No-Code); Präsentationsbildschirm; Markierte Bauteilflächen; VR-Stift für schriftliche Begründung; Whiteboard/Notizen; Fragebogen
Didaktische Struktur	Orientierung & Einführung, Informationsphase, Bearbeitungsphase, Reflexion/Fragebogen
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation (Praxisbezug), Handlungsfähigkeit (eigene Entscheidungen begründen), Kognitive Entlastung (klare Struktur), Selbstwirksamkeit (persönliche Auswahl und Begründung)
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 12, SDG 13. Integration von DGNB-Bewertungskriterien für nachhaltiges Bauen

Figure 5 – Station – "Sustainable construction"

Storyboard – Immersive Medien

Kurze Inhaltsbeschreibung:

In dieser Station treffen die Teilnehmenden gestalterische Materialentscheidungen für ein nachhaltiges Gebäude. Anhand einer Projektionsfläche mit einer kurzen Einführung zu SDG 12 und DGNB wählen die Studierenden aus jeweils drei Materialoptionen für Fassade, Innenraum und Dach. Die Auswahl ordnen sie den jeweiligen Bauteilen zu und beschriften diese mit ihrem Ergebnis. So erleben sie, wie Materialwahl Nachhaltigkeit im Facility Management und die Bewertung nach DGNB beeinflusst.

Hauptlernziel:

Die Teilnehmer sollen die Bedeutung der Materialwahl im Bauprozess für Nachhaltigkeit und Zertifizierung erkennen und reflektieren, wie sich ihre Entscheidungen auf Umwelt, Gebäudelebenszyklus und Nutzer auswirken.

Lerngruppe/n:

Studierende des WIW FM, Facility Management, Bau, Immobilienwirtschaft oder verwandter technischer Studiengänge mit Nachhaltigkeitsbezug.

Hard- und Software:

Hardware: VR-Brille (Meta Quest 3 oder vergleichbar) + Controller

Software: VR-App RAUM, Präsentationsfunktion, Stifte

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Die User betreten das Dach und befinden sich auf der linken Seite direkt vor der Willkommenspräsentation zur Station „Nachhaltiges Bauen". Die Leinwand liefert grundlegende Informationen zum Ablauf: Ziel der Station, Gesamtzeit sowie der Aufbau mit drei Material-Entscheidungsbereichen (Fassade, Dach, Innenraum). Am linken Bildrand (oder über das Menü des VR-Controllers) kann ein virtueller Pointer ausgewählt werden, mit dem die Studierenden durch die Präsentationsfolien blättern können.

2. Informationsphase: Grundlagen Nachhaltiges Bauen, SDG 12 & DGNB

Beschreibung:

Die erste Folie enthält eine Übersicht über die Relevanz der Materialwahl im Kontext nachhaltigen Bauens. Es werden Aspekte wie Ressourceneffizienz, Flächenversiegelung, Wiederverwertbarkeit und DGNB-Bewertungskriterien visuell dargestellt.

Folie 2 vermittelt den Hintergrund zu SDG 12 – Nachhaltiger Konsum und Produktion. Es wird erklärt, wie Ressourcenschonung, Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft und bewusster Konsum zum Erreichen dieses Nachhaltigkeitsziels beitragen. Der Bezug zur Baubranche wird über drei konkrete Beispiele hergestellt: Auswahl nachhaltiger Materialien, Energieeffizienz, Lebenszykluskosten von Gebäuden.

Folie 3 erläutert die DGNB-Zertifizierung. Die Studierenden erfahren, dass dabei die ökologische, ökonomische, soziokulturelle, technische und prozessuale Qualität eines Gebäudes bewertet wird. Besonders hervorgehoben werden: Materialwahl, Energieeffizienz, Rückbaubarkeit, Nutzerkomfort, sowie die drei Bewertungsstufen: Silber, Gold und Platin.

3. Bearbeitungsphase: Materialwahl treffen und begründen

Beschreibung:

Die User bewegen sich zu den drei markierten Bauteilflächen am Modell im VR-Raum: Fassade, Innenraum und Dach. Für jedes Bauteil stehen drei Materialoptionen zur Auswahl. Die Studierenden wählen je eine Variante aus und kennzeichnen ihre Entscheidung auf der jeweiligen Fläche indem sie es per VR-Stift handschriftlich beschriften.

Ziel dieser Phase ist es, auf Basis der zuvor präsentierten Informationen aus SDG 12 und DGNB-Kriterien eine reflektierte Materialentscheidung zu treffen. Durch das haptisch und visuell erlebbare Zuweisen entsteht ein stärkeres Bewusstsein für den Einfluss dieser Wahl auf die Nachhaltigkeit eines Gebäudes im Facility Management.

4. Reflexion & Fragebogen

Beschreibung:

Nach Abschluss der VR-Session erhalten die User Zugang zum digitalen Fragebogen. Sie reflektieren ihr Verhalten, den Lerneffekt und geben Feedback zu allen durchlaufenen Stationen.

- Die Reflexion erfolgt anhand vorbereiteter Fragen aus Teil B–E des Fragebogens.

Synopse – Immersive Medien

Zeit	**Phase / Lerninhalt**	**Feinlernziel – Die Studierenden können …**	**Methode / Handlungen**	**Material / Medien**
0:00–00:30 Min	Orientierung & Einführung	… sich frei durch den RAUM bewegen und den Präsentationsmodus bedienen.	Selbständiges erforschen	Präsentationsbildschirm, Pointer
00:30–2:00 Min	Informationsphase	… die Informationen der Präsentation verstehen, aufnehmen und einordnen und verstehen die zu lösende Aufgabe.	Nennen, definieren	Präsentationsbildschirm
2:00–5:00 Min	Bearbeitungsphase	… Materialien auswählen und ihre Entscheidung sichtbar platzieren.	Herausarbeiten, in Beziehung setzen	Präsentationsbildschirm, VR-Stift

Abschlussimpuls durch den Guide mit dem Hinweis, dass die Station im anschließenden Fragebogen durch eine Reflexionsfrage vertieft wird.

Station – Kreislaufwirtschaft	Entwicklung eines Kreislaufmodells und Ableitung eigener Handlungsoptionen
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Kreislaufwirtschaft als nachhaltiges Konsumkonzept. Entwicklung eines Produktlebenswegs und Identifizierung zirkulärer Alternativen
Ziele / Lernziele	Verständnis linearer vs. zirkulärer Abläufe; Erkennen von Eingriffspunkten zur Kreislaufschließung; Reflexion eigener Konsumentscheidungen
Inhalt / Methoden	Einführung (Text/Video) mit Arbeitsauftrag; Whiteboard-Arbeit mit digitalen Karten; Sortierung in lineare und zirkuläre Abläufe; Modellbau mit Pfeilen; Diskussion und Reflexionsfrage zur Übertragung auf den Alltag
Medien / Tools	VR-Brillen (RAUM No-Code); Post-Its; Pfeile zur Visualisierung; Screenshot-Option
Didaktische Struktur	Orientierung, Erarbeitungsphase (Modellbau), Diskussion, Reflexion/Fragebogen
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation (Alltagsbezug), Handlungsfähigkeit (Modellgestaltung), Kognitive Entlastung (strukturierte Kartenarbeit), Selbstwirksamkeit (eigene Lösungen entwickeln)
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 12, SDG 13. Fokus auf Scope-3-Emissionen. Beitrag zu nachhaltigen Konsumstrategien

Figure 6 – Station – "Circular economy"

Storyboard - Immersive Medien

Kurze Inhaltsbeschreibung:

Die Station thematisiert den Lebenszyklus eines Produkts im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Die Teilnehmenden überlegen sich eigenständig die Stationen eines Produkts von der Herstellung bis zur Entsorgung und identifizieren nachhaltige Alternativen, um einen geschlossenen Materialkreislauf zu modellieren.

Hauptlernziel:

Die Lernenden können die linearen und zirkulären Elemente eines Produktlebenszyklus beschreiben und reflektieren, wie durch zirkuläre Ansätze Ressourcen geschont und Emissionen vermieden werden können.

Lerngruppe/n:

Studierende, insbesondere in Studiengängen mit Nachhaltigkeits- oder Stadtentwicklungsschwerpunkt.

Hard- und Software:

VR-Brille (Meta Quest 3 oder vergleichbar), VR-Anwendung, virtuelle Karteikarten, beschreibbare Flächen bzw. Tools zum Platzieren und Verbinden von Karten, ggf. farbliche Markierungsmöglichkeiten (grau = linear, grün = zirkulär).

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Beim Betreten der Station wird der Arbeitsauftrag angezeigt: „Erstelle den Lebensweg eines Produkts und entwickle daraus ein Kreislaufmodell." Ein kurzer Einführungstext oder optional ein erklärendes Video erläutert Ziel und Ablauf der Aufgabe.

2. Arbeitsphase: Kreislaufmodell entwickeln

Beschreibung:

Die Studierenden erhalten leere digitale Karteikarten. Sie denken sich für ein Beispielprodukt (z. B. Smartphone, Kleidungsstück, Verpackung) die relevanten Stationen im Lebensweg aus, notieren diese auf den Karten und ordnen sie im Raum an. Lineare Abläufe (z. B. „Rohstoffgewinnung → Produktion → Nutzung → Entsorgung") werden durch graue Karten dargestellt, nachhaltige Alternativen (z. B. „Reparatur", „Recycling", „Wiederverwendung") durch grüne Karten ergänzt. Die Karten werden mit Pfeilen zu einem Gesamtmodell verbunden.

3. Reflexion & Fragebogen

Beschreibung:

Im Anschluss erhalten die Lernenden eine Reflexionsfrage eingeblendet:

„An welchen Stellen im Produktlebenszyklus könnten Unternehmen oder Konsument*innen besonders wirksam eingreifen, um den Kreislauf zu schließen?"

Optional erfolgt eine kurze Ergebnispräsentation durch die Gruppe im Plenum oder eine digitale Sicherung des Modells.

Storyboard & Synopse – Station Kreislaufwirtschaft 21.5.2025

Synopse – Immersive Medien

Zeit	Phase / Lerninhalt	Feinlernziel – Die Studierenden können …	Methode / Handlungen	Material / Medien
0:00–2:00 Min	Einstieg & Kontext	… Ziel und Ablauf der Station verstehen; Kreislaufwirtschaft kontextualisieren.	Lesen, Zuhören	Mittlerer Bildschirm (Aufgabenstellung)
2:00–6:30 Min	Modellierungsphase	… eigene Begriffe für Produktstationen entwickeln, anordnen und mit Kreislaufansätzen kombinieren	Begriffe notieren, Karteikarten beschriften und platzieren	Leere virtuelle Karteikarten, Stift

Abschlussimpuls durch den Guide mit dem Hinweis, dass die Station im anschließenden Fragebogen durch eine Reflexionsfrage vertieft wird.

3/3

Station – Biodiversität	Erkennen urbaner Biodiversitätsfaktoren und konkrete Schutzmaßnahmen
Kriterium	**Inhalt**
Thema	Biodiversität im urbanen Raum. Erkennen ökologischer Aspekte und Entwicklung eigener Ideen zur Förderung von Biodiversität
Ziele / Lernziele	Wahrnehmung und Verständnis urbaner Biodiversitätsfaktoren; Einordnung und Reflexion eigener Beiträge zum Schutz; Entwicklung individueller Handlungsansätze
Inhalt / Methoden	Einführung und Orientierung im VR-Raum; Informationsphase über Präsentationsbildschirm; Bearbeitungsphase mit Notation und Strukturierung von Ideen; Abschlussimpuls mit Reflexionsfrage im Fragebogen
Medien / Tools	Standalone-VR-Brillen (RAUM No-Code); Whiteboard/Post-Its, Stifte, Präsentationsbildschirm
Didaktische Struktur	Orientierung & Einführung, Informationsphase, Bearbeitungsphase, Abschlussimpuls mit Reflexionsfrage
Didaktische Begründung / Modelle	CAMIL: Motivation (realitätsnaher Alltagsbezug), Handlungsfähigkeit (eigene Ideen entwickeln), Kognitive Entlastung (strukturierte Arbeit am Whiteboard), Selbstwirksamkeit (Reflexion individueller Beiträge)
SDGs & Nachhaltigkeitsbezug	SDG 15. Fokus auf Erhalt und Förderung biologischer Vielfalt. Beitrag zu individuellen und institutionellen Nachhaltigkeitsstrategien

Figure 7 – Station – "Biodiversity"

Storyboard - Immersive Medien

Kurze Inhaltsbeschreibung:

In dieser Station wir eine Mindmap erarbeitet, die die Verbindungen zwischen Biodiversität und verschiedenen SDG´s visuell darstellt. Mit Hilfe von Post-It´s und Stiften werden die Wechselwirkungen zwischen ökologischer Vielfalt und nachhaltiger Entwicklung diskutiert.

Hauptlernziel:

Die Teilnehmer sollen die Bedeutung von Biodiversität als Grundlage für nachhaltige Entwicklungen erkennen, die Verknüpfung zwischen Biodiversität mit SDG´s verstehen und den Zusammenhang zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten der Nachhaltigkeit visualisieren.

Lerngruppe/n:

Studierende des WIW FM, Fachgruppen mit Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit/Umwelt/Technik.

Hard- und Software:

Hardware: VR-Brille (Meta Quest 3 oder vergleichbar) + Controller

Software: VR-App RAUM, Präsentationsfunktion, Post-It´s, Stifte

Storyboard & Synopse – Station Biodiversität - 25.5.2025

Storyboard – Szenenbeschreibung

1. Orientierung & Einführung

Beschreibung:

Die User betreten den Raum und sehen die Willkommenspräsentation vor sich. Aus dieser lassen sich die Informationen über den Zweck des Besuches im RAUM, die Anzahl der Stationen und der vorgegebene Zeithorizont entnehmen.

Die Station „Biodiversität" besteht aus einem Bildschirm, auf welchem die Einführung in das Thema und die Aufgabenstellung abgebildet ist.

2. Informationsphase: Aufgabenstellung

Beschreibung:

Die Aufgabenstellung und weitere Informationen uns Details zu Biodiversität können der Präsentation auf dem Bildschirm entnommen werden.

3. Bearbeitungsphase: Mindmap erstellen

Beschreibung:

Um die Aufgabe zu bearbeiten steht den Usern ein Tisch in Mitten des Raumes zur Verfügung. An der Wand neben dem Eingang hängen Post-It´s und Stifte, die die User benutzen können, um die Mindmap zu erstellen.

4. Reflexion & Fragebogen

Beschreibung:

Nach Abschluss der VR-Session erhalten die User Zugang zum digitalen Fragebogen. Sie reflektieren ihr Verhalten, den Lerneffekt und geben Feedback zu allen durchlaufenen Stationen.

- Die Reflexion erfolgt anhand vorbereiteter Fragen aus Teil B–E des Fragebogens.

Synopse – Immersive Medien

Zeit	Phase / Lerninhalt	Feinlernziel – Die Studierenden können …	Methode / Handlungen	Material / Medien

2/3

0:00–2:00 Min	Orientierung & Einführung	… sich frei durch den RAUM bewegen und Stifte / Post-It´s benutzen	Selbständiges erforschen	Steuerung Fernbedienung
1:00–2:00 Min	Informationsphase	… die Informationen der Präsentation verstehen, aufnehmen und einordnen und verstehen die zu lösende Aufgabe.	Nennen, definieren	Präsentationsbildschirm
4:00–5:00 Min	Bearbeitungsphase	… die Aufgabe lösen und die Ergebnisse selbständig in Relation betrachten und einschätzen.	Herausarbeiten, in Beziehung setzen	Präsentationsbildschirm, Post-It´s, Stifte

Abschlussimpuls durch den Guide mit dem Hinweis, dass die Station im anschließenden Fragebogen durch eine Reflexionsfrage vertieft wird.

ANNEX B

Qestionnaire (CAMIL)

DHBW
Duale Hochschule Baden-Württemberg
INDIS
Zentrum für Interdisziplinäre Lehre und Forschung

Fragebogen: VR-Szenario "Nachhaltigkeit"

Liebe Studierende und Besucher:innen,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft, an dieser Umfrage teilzunehmen.

Der Fragebogen ist Teil einer Studienarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen – Facility Management an der Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Stuttgart.

Im Rahmen des Projekts EFEU (2024) wird ein VR-basiertes Lehr-/Lernarrangement entwickelt und exemplarisch umgesetzt. Ziel ist es, die Vermittlung von Nachhaltigkeitskompetenzen durch immersive Umgebungen zu fördern und verschiedene SDGs (Sustainable Development Goals) erfahrbar zu machen.
Sie haben an einer oder mehreren virtuellen Stationen teilgenommen, die konkrete Nachhaltigkeitsthemen – z.B. Mobilität (SDG 11 & 13), Biodiversität (SDG 6, 11 & 13), Nachhaltiges Bauen (SDG 11 & 12), Produktionsprozesse (SDG 9 & 12) oder Kreislaufwirtschaft (SDG 12 & 13).

Ziel dieses Fragebogens ist es, Ihre Erfahrungen, Eindrücke und Lernerfolge im Umgang mit den VR-Inhalten systematisch zu erfassen.

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Ihre Rückmeldungen helfen dabei, immersive Lernangebote gezielt zu bewerten, weiterzuentwickeln und deren Potenziale für den Hochschulkontext sichtbar zu machen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung.

Celine Raab, Eftychia Zisi, Jean Ododa, Philip Ibak, Jacqueline Patafta, Silas Franz

Betreuende: Prof. Dr. Klaus Homann, Judit Klein-Wiele (M.Ed.), DHBW Stuttgart

* **Hinweise und eine Übersicht über Ihre Rechte finden Sie in der Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Befragung gemäß DSGVO.**

○ JA: Ich stimme der Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Befragung gemäß DSGVO wie beschrieben zu

Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen auch über den Workshop hinaus zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Steigert der Einsatz von VR-Umgebungen die Lernmotivation und das Engagement von Studierenden?	○	○	○	○	○
Lassen sich virtuell erlernte Inhalte auf die Realität gut übertragen?	○	○	○	○	○
Verfügt Ihre Hochschule über die erforderlichen technischen und personellen Ressourcen für den Betrieb von VR-Lernumgebungen?	○	○	○	○	○

1: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich die Kontrolle über meine Handlungen.	◯	◯	◯	◯	◯
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich das Gefühl, dass meine Handlungen nicht von mir verursacht wurden.	◯	◯	◯	◯	◯
Innerhalb der VR-Lernumgebung fühltensich meine Handlungen wievon selbst entstanden an.	◯	◯	◯	◯	◯

2:

Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Die virtuelle Umgebung erschien mir real.	◯	◯	◯	◯	◯
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung zu handeln, anstatt etwas von außen zu bedienen	◯	◯	◯	◯	◯
Meine Erfahrungen in der virtuellen Umgebung schienen mit meinen Erfahrungen in der realen Welt konsistent zu sein.	◯	◯	◯	◯	◯
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung „dabei zu sein"	◯	◯	◯	◯	◯
Die virtuelle Welt hat mich völlig in ihren Bann gezogen	◯	◯	◯	◯	◯

3: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Hat die VR-Umgebung Ihre Neugierde geweckt?	○	○	○	○	○
Die Aufgabenbearbeitung in der VR-Umgebung war unterhaltsam.	○	○	○	○	○
Hatten Sie Spaß bei der Aufgabenbearbeitung der VR-Umgebung?	○	○	○	○	○

4: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Ich arbeite gerne mit dem Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung	○	○	○	○	○
Es macht Spaß, Aktivitäten rund um das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung zu bearbeiten	○	○	○	○	○
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung ist langweilig	○	○	○	○	○
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung interessiert mich überhaupt nicht	○	○	○	○	○
Ich würde das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung als sehr interessant bezeichnen	○	○	○	○	○

5: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Ich bin zuversichtlich, dass ich die grundlegenden Konzepte bearbeitende Nachhaltigkeitsaspekte verstehen kann	◯	◯	◯	◯	◯
Ich bin zuversichtlich, dass ich auch komplexere Sachverhalte in der Nachhaltigkeitsthematik verstehen kann.	◯	◯	◯	◯	◯

6: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Innerhalb der VR-Lernumgebung waren meine Bewegungen und körperlichen Aktivitäten ein integrierter Teil des Lernens	◯	◯	◯	◯	◯
Innerhalb der VR-Lernumgebung führte ich Körperbewegungen und Interaktionen aus, die für das Lernen relevant waren	◯	◯	◯	◯	◯
Die Ausführung von Gesten/Bewegungen innerhalb der VR-Lernumgebung hat mir beim Lernen geholfen	◯	◯	◯	◯	◯

7: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war sehr unklar	◯	◯	◯	◯	◯
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war in Bezug auf das Lernen sehr ineffektiv.	◯	◯	◯	◯	◯
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik erschwerte das Lernen	◯	◯	◯	◯	◯

Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war schwer zu beherrschen	◯	◯	◯	◯	◯

8: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Die Elemente in der virtuellen Umgebung machten das Lernen sehr unklar	◯	◯	◯	◯	◯
Die virtuelle Umgebung war, was das Lernen angeht, sehr ineffektiv	◯	◯	◯	◯	◯
Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevanten Inhalten	◯	◯	◯	◯	◯
Es war schwierig, die relevanten Lerninformationen in der virtuellen Umgebung zu finden	◯	◯	◯	◯	◯

Nenne drei konkrete Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität im Alltag.

Erkläre den Zusammenhang zwischen grauer Energie und der Lebenszyklusanalyse (LCA) und warum dieser Zusammenhang für nachhaltiges Bauen relevant ist.

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Beschreibe den Ablauf einer nachhaltigen Planung eines Gebäudes – von der Materialwahl bis zum Betrieb.

Überlege dir eine Alltagssituation, in der du bisher eine konventionelle Lösung genutzt hast. Wie könntest du dort eine der nachhaltigen Alternativen einsetzen?

Welche der folgenden Stationen ist dir besonders im Gedächtnis geblieben? (Mehrfachauswahl möglich, je nach Anzahl der getesteten Stationen)

- ☐ Station 1 – Mobilität & Pendelverhalten
- ☐ Station 2 – Energieverbrauch am Campus
- ☐ Station 3 – Nachhaltiger Konsum & Beschaffung
- ☐ Station 4 – Recycling und Kreislaufwirtschaft
- ☐ Station 5 – Entscheidungsdilemma: digital vs. Dienstreise

Was hat diese Station für dich besonders gemacht?

Gab es etwas, das dich irritiert oder verwirrt hat?

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Studiengang/Fachgebiet

Studienjahr

- ◯ 1. Studienjahr
- ◯ 2. Studienjahr
- ◯ 3. Studienjahr

Geschlecht

- ◯ weiblich
- ◯ männlich
- ◯ divers

Alter

ANNEX C

Study Results

3. Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen auch über den Workshop hinaus zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Steigert der Einsatz von VR-Umgebungen die Lernmotivation und das Engagement von Studierenden?	0 0%	0 0%	2 22.22%	5 55.56%	2 22.22%	9 100%
Lassen sich virtuell erlernte Inhalte auf die Realität gut übertragen?	0 0%	0 0%	3 33.33%	5 55.56%	1 11.11%	9 100%
Verfügt Ihre Hochschule über die erforderlichen technischen und personellen Ressourcen für den Betrieb von VR-Lernumgebungen?	0 0%	6 66.67%	0 0%	2 22.22%	1 11.11%	9 100%

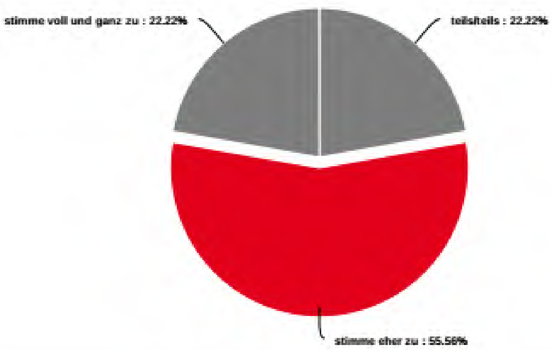
Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Steigert der Einsatz von VR-Umgebungen die Lernmotivation und das Engagement von Studierenden?	9	4					
Lassen sich virtuell erlernte Inhalte auf die Realität gut übertragen?	9	3.78					
Verfügt Ihre Hochschule über die erforderlichen technischen und personellen Ressourcen für den Betrieb von VR-Lernumgebungen?	9	2.78					
Average		3.52					

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Steigert der Einsatz von VR-Umgebungen die Lernmotivation und das Engagement von Studierenden?



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	5	55.56%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 4.000

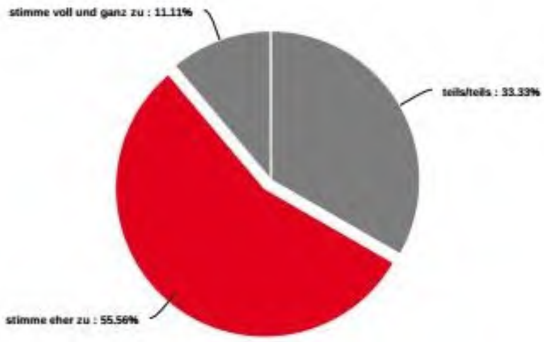
Variance: 0.500

Standard Deviation: 0.707

Standard Error: 0.236

Confidence Interval: [3.538 - 4.462]

Lassen sich virtuell erlernte Inhalte auf die Realität gut übertragen?



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	3	33.33%
stimme eher zu	5	55.56%
stimme voll und ganz zu	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 3.778

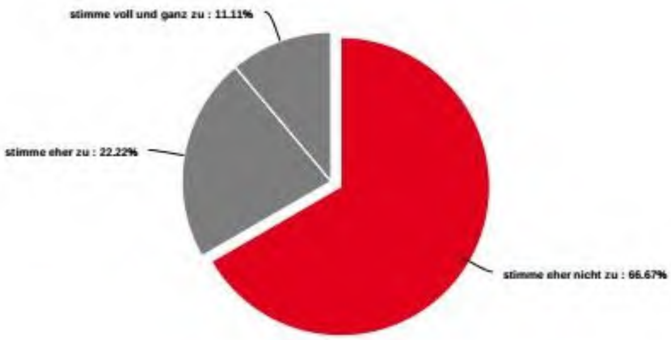
Variance: 0.444

Standard Deviation: 0.667

Standard Error: 0.222

Confidence Interval: [3.342 - 4.213]

Verfügt Ihre Hochschule über die erforderlichen technischen und personellen Ressourcen für den Betrieb von VR-Lernumgebungen?



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	6	66.67%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	2	22.22%
stimme voll und ganz zu	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 2.778

Variance: 1.444

Standard Deviation: 1.202

Standard Error: 0.401

Confidence Interval: [1.993 - 3.563]

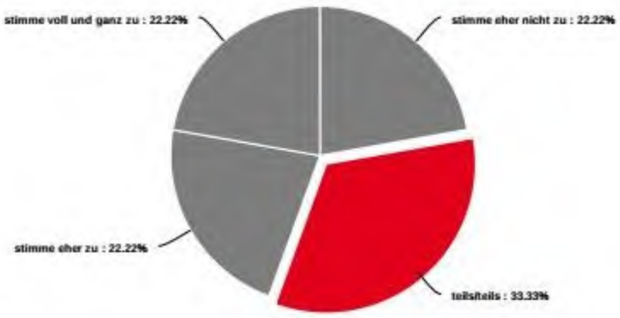
4. 1: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich die Kontrolle über meine Handlungen.	0 0%	2 22.22%	3 33.33%	2 22.22%	2 22.22%	9 100%
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich das Gefühl, dass meine Handlungen nicht von mir verursacht wurden.	1 11.11%	7 77.78%	1 11.11%	0 0%	0 0%	9 100%
Innerhalb der VR-Lernumgebung fühltensich meine Handlungen wievon selbst entstanden an.	0 0%	6 66.67%	2 22.22%	1 11.11%	0 0%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich die Kontrolle über meine Handlungen.	9	3.44					
Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich das Gefühl, dass meine Handlungen nicht von mir verursacht wurden.	9	2					
Innerhalb der VR-Lernumgebung fühltensich meine Handlungen wievon selbst entstanden an.	9	2.44					
Average		2.63					

Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich die Kontrolle über meine Handlungen.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	2	22.22%
teils/teils	3	33.33%
stimme eher zu	2	22.22%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 3.444

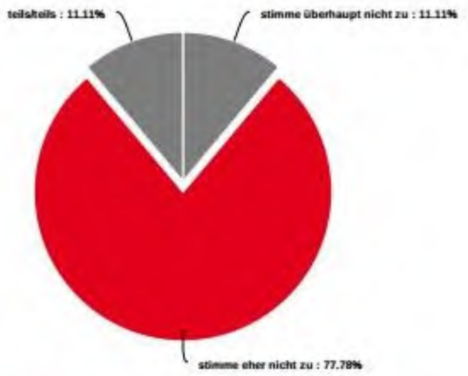
Variance: 1.278

Standard Deviation: 1.130

Standard Error: 0.377

Confidence Interval: [2.706 - 4.183]

Innerhalb der VR-Lernumgebung hatte ich das Gefühl, dass meine Handlungen nicht von mir verursacht wurden.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	7	77.78%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.000

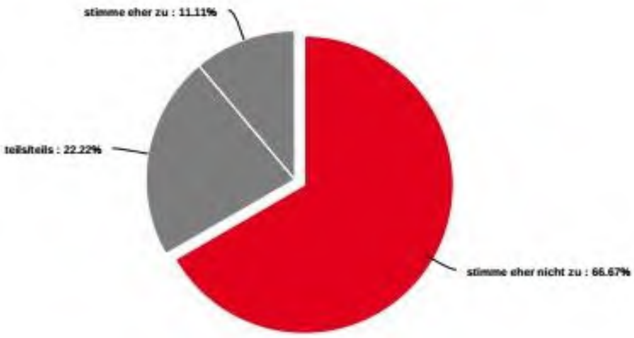
Variance: 0.250

Standard Deviation: 0.500

Standard Error: 0.167

Confidence Interval: [1.673 - 2.327]

Innerhalb der VR-Lernumgebung fühltensich meine Handlungen wievon selbst entstanden an.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	6	66.67%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.444

Variance: 0.528

Standard Deviation: 0.726

Standard Error: 0.242

Confidence Interval: [1.970 - 2.919]

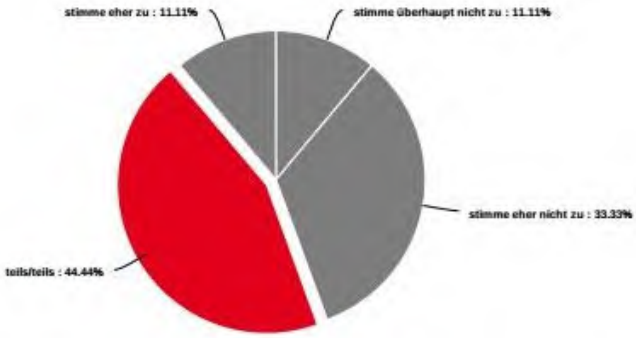
5. 2:Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Die virtuelle Umgebung erschien mir real.	1 11.11%	3 33.33%	4 44.44%	1 11.11%	0 0%	9 100%
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung zu handeln, anstatt etwas von außen zu bedienen	0 0%	1 11.11%	0 0%	8 88.89%	0 0%	9 100%
Meine Erfahrungen in der virtuellen Umgebung schienen mit meinen Erfahrungen in der realen Welt konsistent zu sein.	1 11.11%	1 11.11%	6 66.67%	1 11.11%	0 0%	9 100%
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung „dabei zu sein"	0 0%	1 11.11%	0 0%	4 44.44%	4 44.44%	9 100%
Die virtuelle Welt hat mich völlig in ihren Bann gezogen	1 11.11%	1 11.11%	3 33.33%	2 22.22%	2 22.22%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Die virtuelle Umgebung erschien mir real.	9	2.56					
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung zu handeln, anstatt etwas von außen zu bedienen	9	3.78					
Meine Erfahrungen in der virtuellen Umgebung schienen mit meinen Erfahrungen in der realen Welt konsistent zu sein.	9	2.78					
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung „dabei zu sein"	9	4.22					
Die virtuelle Welt hat mich völlig in ihren Bann gezogen	9	3.33					
	Average	3.33					

Die virtuelle Umgebung erschien mir real.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	3	33.33%
teils/teils	4	44.44%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.556

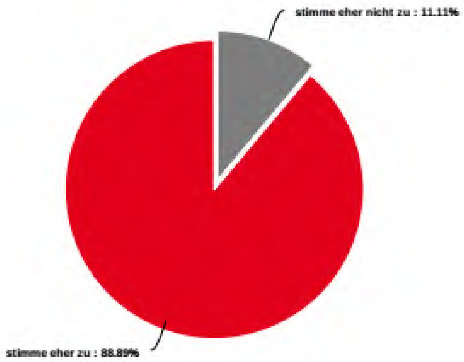
Variance: 0.778

Standard Deviation: 0.882

Standard Error: 0.294

Confidence Interval: [1.979 - 3.132]

Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung zu handeln, anstatt etwas von außen zu bedienen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	8	88.89%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 3.778

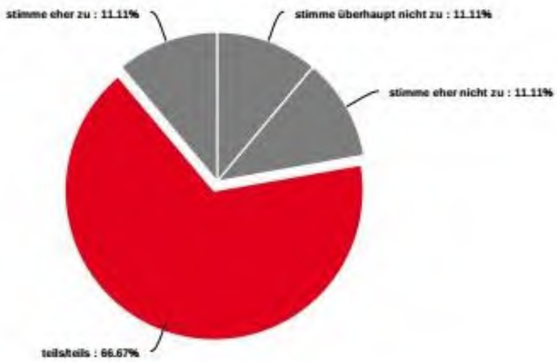
Variance: 0.444

Standard Deviation: 0.667

Standard Error: 0.222

Confidence Interval: [3.342 - 4.213]

Meine Erfahrungen in der virtuellen Umgebung schienen mit meinen Erfahrungen in der realen Welt konsistent zu sein.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	6	66.67%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.778

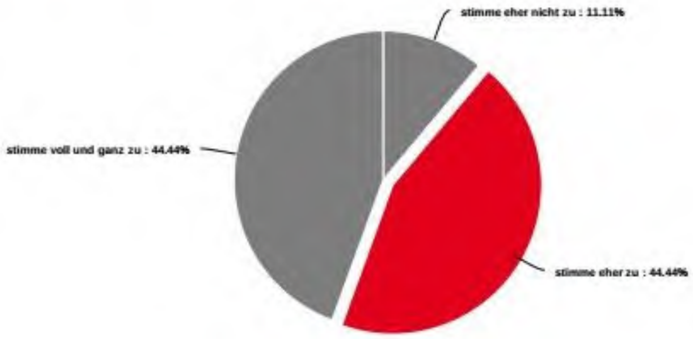
Variance: 0.694

Standard Deviation: 0.833

Standard Error: 0.278

Confidence Interval: [2.233 - 3.322]

Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung „dabei zu sein“



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	4	44.44%
stimme voll und ganz zu	4	44.44%
Total	9	100 %

Mean 4.222

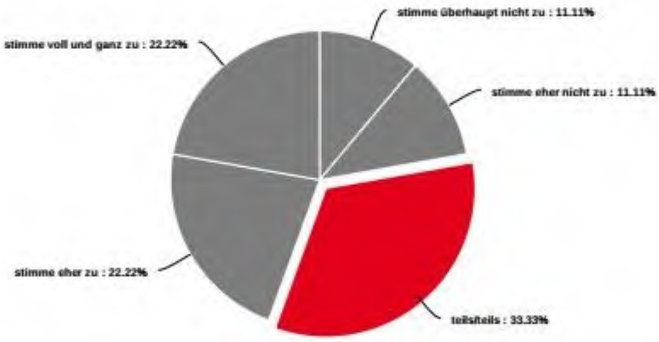
Variance: 0.944

Standard Deviation: 0.972

Standard Error: 0.324

Confidence Interval: [3.587 - 4.857]

Die virtuelle Welt hat mich völlig in ihren Bann gezogen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	3	33.33%
stimme eher zu	2	22.22%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 3.333

Variance: 1.750

Standard Deviation: 1.323

Standard Error: 0.441

Confidence Interval: [2.469 - 4.198]

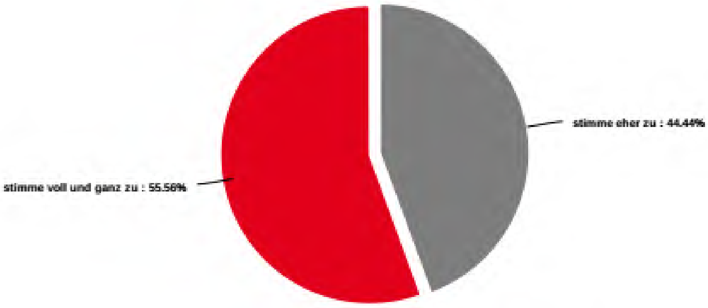
6. 3: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Hat die VR-Umgebung Ihre Neugierde geweckt?	0 0%	0 0%	0 0%	4 44.44%	5 55.56%	9 100%
Die Aufgabenbearbeitung in der VR-Umgebung war unterhaltsam.	0 0%	0 0%	2 22.22%	3 33.33%	4 44.44%	9 100%
Hatten Sie Spaß bei der Aufgabenbearbeitung der VR-Umgebung?	0 0%	0 0%	2 22.22%	4 44.44%	3 33.33%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Hat die VR-Umgebung Ihre Neugierde geweckt?	9	4.56					
Die Aufgabenbearbeitung in der VR-Umgebung war unterhaltsam.	9	4.22					
Hatten Sie Spaß bei der Aufgabenbearbeitung der VR-Umgebung?	9	4.11					
Average		4.3					

Hat die VR-Umgebung Ihre Neugierde geweckt?



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	4	44.44%
stimme voll und ganz zu	5	55.56%
Total	9	100 %

Mean 4.556

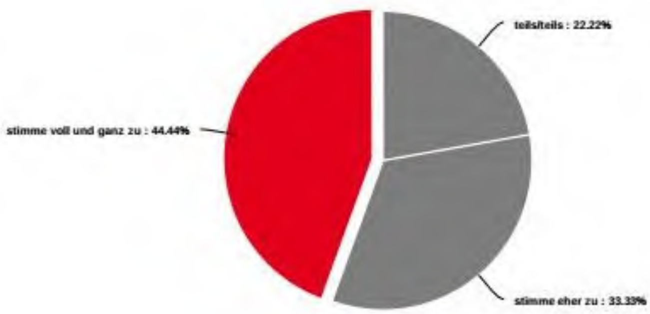
Variance: 0.278

Standard Deviation: 0.527

Standard Error: 0.176

Confidence Interval: [4.211 - 4.900]

Die Aufgabenbearbeitung in der VR-Umgebung war unterhaltsam.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	3	33.33%
stimme voll und ganz zu	4	44.44%
Total	9	100 %

Mean 4.222

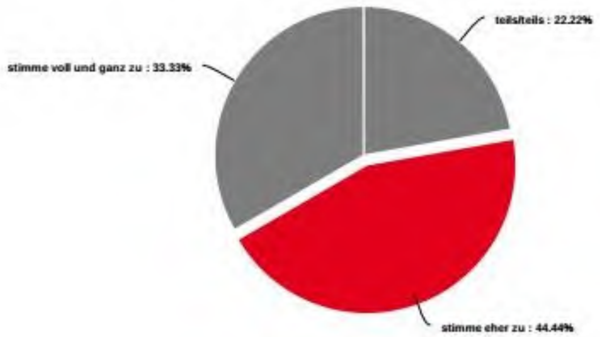
Variance: 0.694

Standard Deviation: 0.833

Standard Error: 0.278

Confidence Interval: [3.678 - 4.767]

Hatten Sie Spaß bei der Aufgabenbearbeitung der VR-Umgebung?



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	4	44.44%
stimme voll und ganz zu	3	33.33%
Total	9	100 %

Mean 4.111

Variance: 0.611

Standard Deviation: 0.782

Standard Error: 0.261

Confidence Interval: [3.600 - 4.622]

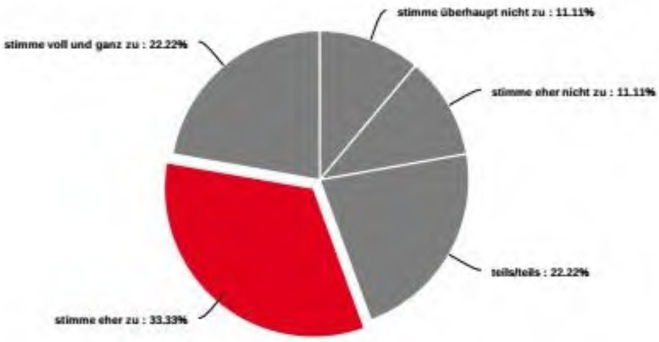
7. 4: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Ich arbeite gerne mit dem Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung	1 11.11%	1 11.11%	2 22.22%	3 33.33%	2 22.22%	9 100%
Es macht Spaß, Aktivitäten rund um das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung zu bearbeiten	0 0%	1 11.11%	1 11.11%	4 44.44%	3 33.33%	9 100%
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung ist langweilig	4 44.44%	5 55.56%	0 0%	0 0%	0 0%	9 100%
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung interessiert mich überhaupt nicht	5 55.56%	3 33.33%	0 0%	1 11.11%	0 0%	9 100%
Ich würde das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung als sehr interessant bezeichnen	0 0%	1 11.11%	2 22.22%	4 44.44%	2 22.22%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Ich arbeite gerne mit dem Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung	9	3.44					
Es macht Spaß, Aktivitäten rund um das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung zu bearbeiten	9	4					
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung ist langweilig	9	1.56					
Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung interessiert mich überhaupt nicht	9	1.67					
Ich würde das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung als sehr interessant bezeichnen	9	3.78					
Average		2.89					

Ich arbeite gerne mit dem Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	3	33.33%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 3.444

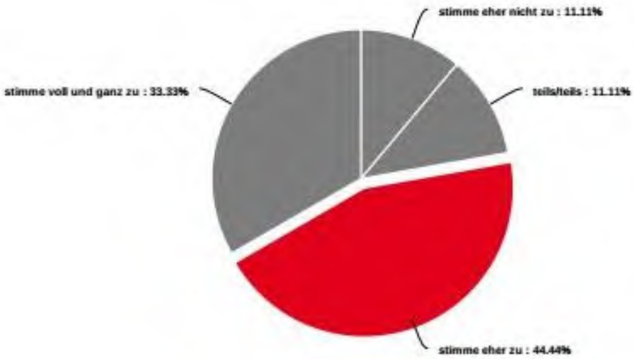
Variance: 1.778

Standard Deviation: 1.333

Standard Error: 0.444

Confidence Interval: [2.573 - 4.316]

Es macht Spaß, Aktivitäten rund um das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung zu bearbeiten



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	4	44,44%
stimme voll und ganz zu	3	33.33%
Total	9	100 %

Mean 4.000

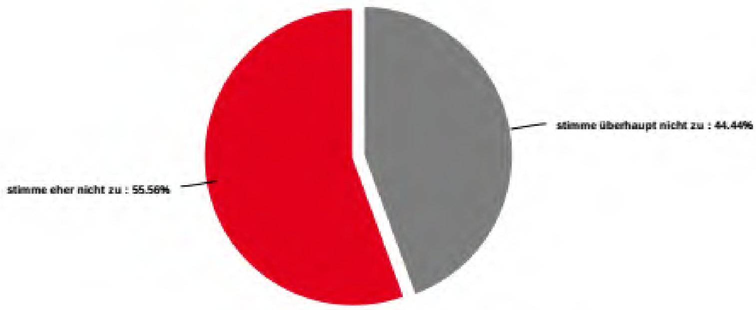
Variance: 1.000

Standard Deviation: 1.000

Standard Error: 0.333

Confidence Interval: [3.347 - 4.653]

Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung ist langweilig



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	4	44.44%
stimme eher nicht zu	5	55.56%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 1.556

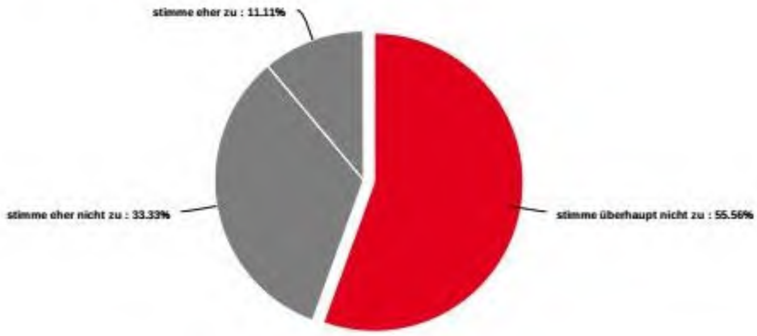
Variance: 0.278

Standard Deviation: 0.527

Standard Error: 0.176

Confidence Interval: [1.211 - 1.900]

Das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung interessiert mich überhaupt nicht



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	5	55.56%
stimme eher nicht zu	3	33.33%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 1.667

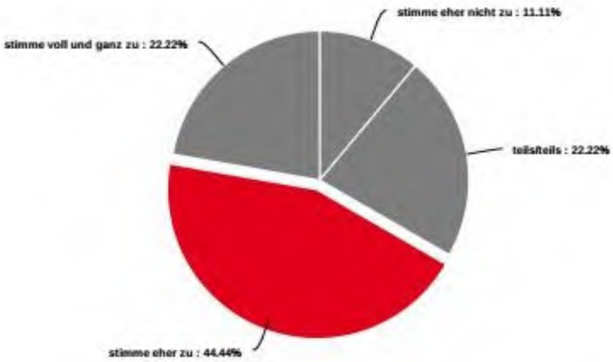
Variance: 1.000

Standard Deviation: 1.000

Standard Error: 0.333

Confidence Interval: [1.013 - 2.320]

Ich würde das Thema Nachhaltigkeit in einer virtuellen Umgebung als sehr interessant bezeichnen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	4	44.44%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 3.778

Variance: 0.944

Standard Deviation: 0.972

Standard Error: 0.324

Confidence Interval: [3.143 - 4.413]

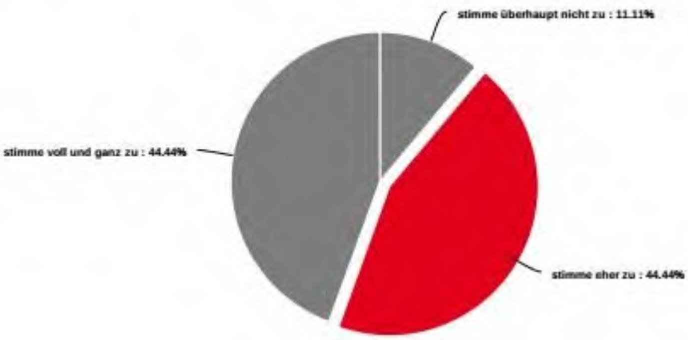
8. 5: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Ich bin zuversichtlich, dass ich die grundlegenden Konzepte bearbeitende Nachhaltigkeitsaspekte verstehen kann	1 11.11%	0 0%	0 0%	4 44.44%	4 44.44%	9 100%
Ich bin zuversichtlich, dass ich auch komplexere Sachverhalte in der Nachhaltigkeitsthematik verstehen kann.	1 11.11%	0 0%	1 11.11%	5 55.56%	2 22.22%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Ich bin zuversichtlich, dass ich die grundlegenden Konzepte bearbeitende Nachhaltigkeitsaspekte verstehen kann	9	4.11					
Ich bin zuversichtlich, dass ich auch komplexere Sachverhalte in der Nachhaltigkeitsthematik verstehen kann.	9	3.78					
Average		3.94					

Ich bin zuversichtlich, dass ich die grundlegenden Konzepte bearbeitende Nachhaltigkeitsaspekte verstehen kann



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	4	44.44%
stimme voll und ganz zu	4	44.44%
Total	9	100 %

Mean 4.111

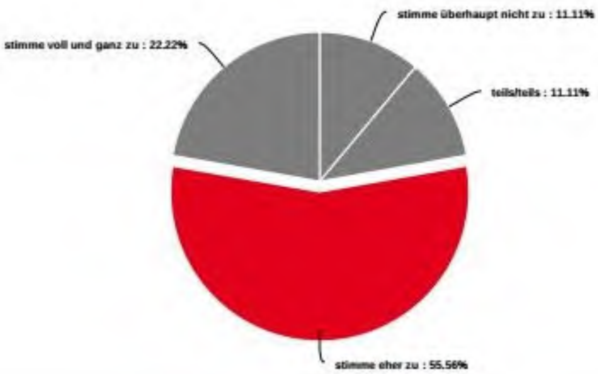
Variance: 1.611

Standard Deviation: 1.269

Standard Error: 0.423

Confidence Interval: [3.282 - 4.940]

Ich bin zuversichtlich, dass ich auch komplexere Sachverhalte in der Nachhaltigkeitsthematik verstehen kann.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	0	0%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	5	55.56%
stimme voll und ganz zu	2	22.22%
Total	9	100 %

Mean 3.778

Variance: 1.444

Standard Deviation: 1.202

Standard Error: 0.401

Confidence Interval: [2.993 - 4.563]

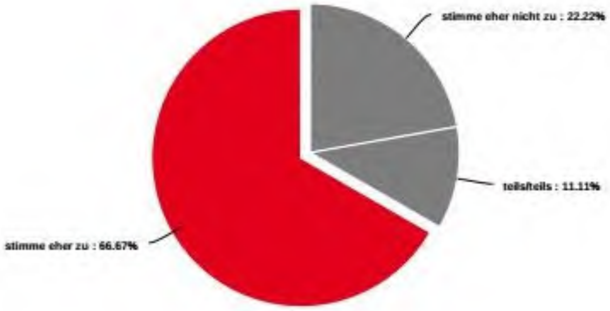
9. 6: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Innerhalb der VR-Lernumgebung waren meine Bewegungen und körperlichen Aktivitäten ein integrierter Teil des Lernens	0 0%	2 22.22%	1 11.11%	6 66.67%	0 0%	9 100%
Innerhalb der VR-Lernumgebung führte ich Körperbewegungen und Interaktionen aus, die für das Lernen relevant waren	0 0%	5 55.56%	3 33.33%	0 0%	1 11.11%	9 100%
Die Ausführung von Gesten/Bewegungen innerhalb der VR-Lernumgebung hat mir beim Lernen geholfen	2 22.22%	1 11.11%	4 44.44%	2 22.22%	0 0%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Innerhalb der VR-Lernumgebung waren meine Bewegungen und körperlichen Aktivitäten ein integrierter Teil des Lernens	9	3.44					
Innerhalb der VR-Lernumgebung führte ich Körperbewegungen und Interaktionen aus, die für das Lernen relevant waren	9	2.67					
Die Ausführung von Gesten/Bewegungen innerhalb der VR-Lernumgebung hat mir beim Lernen geholfen	9	2.67					
Average		2.93					

Innerhalb der VR-Lernumgebung waren meine Bewegungen und körperlichen Aktivitäten ein integrierter Teil des Lernens



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	2	22.22%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	6	66.67%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 3.444

Variance: 0.778

Standard Deviation: 0.882

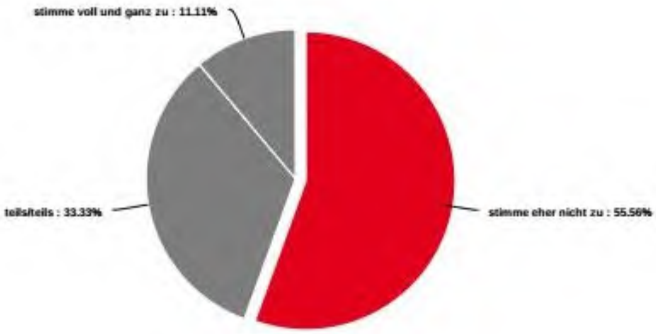
Standard Error: 0.294

Confidence Interval: [2.868 - 4.021]

M4_EFEU_CAMIL

QuestionPro

Innerhalb der VR-Lernumgebung führte ich Körperbewegungen und Interaktionen aus, die für das Lernen relevant waren



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	5	55.56%
teils/teils	3	33.33%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 2.667

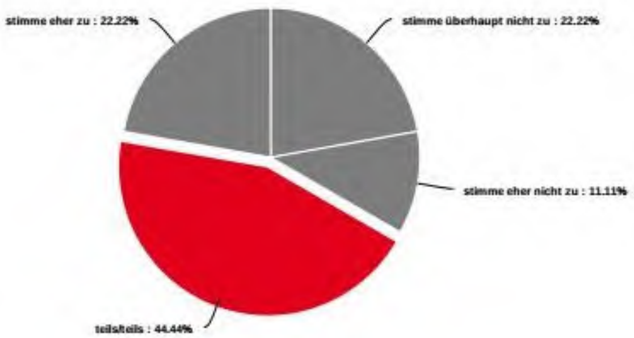
Variance: 1.000

Standard Deviation: 1.000

Standard Error: 0.333

Confidence Interval: [2.013 - 3.320]

Die Ausführung von Gesten/Bewegungen innerhalb der VR-Lernumgebung hat mir beim Lernen geholfen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	2	22.22%
stimme eher nicht zu	1	11.11%
teils/teils	4	44.44%
stimme eher zu	2	22.22%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.667

Variance: 1.250

Standard Deviation: 1.118

Standard Error: 0.373

Confidence Interval: [1.936 - 3.397]

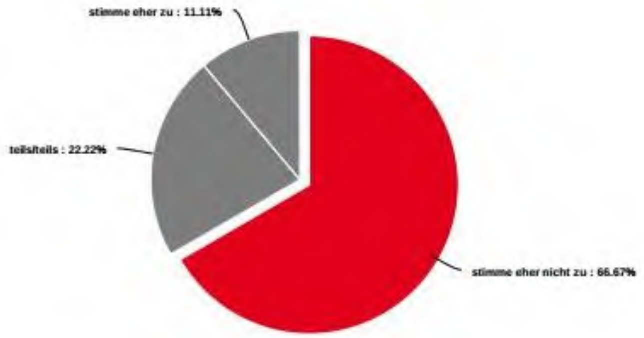
10. 7: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war sehr unklar	0 0%	6 66.67%	2 22.22%	1 11.11%	0 0%	9 100%
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war in Bezug auf das Lernen sehr ineffektiv.	1 11.11%	5 55.56%	2 22.22%	1 11.11%	0 0%	9 100%
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik erschwerte das Lernen	0 0%	6 66.67%	1 11.11%	1 11.11%	1 11.11%	9 100%
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war schwer zu beherrschen	0 0%	4 50%	1 12.5%	2 25%	1 12.5%	8 100%

Min Max

Question	Count	Score
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war sehr unklar	9	2.44
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war in Bezug auf das Lernen sehr ineffektiv.	9	2.33
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik erschwerte das Lernen	9	2.67
Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war schwer zu beherrschen	8	3
Average		2.6

Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war sehr unklar



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	6	66.67%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.444

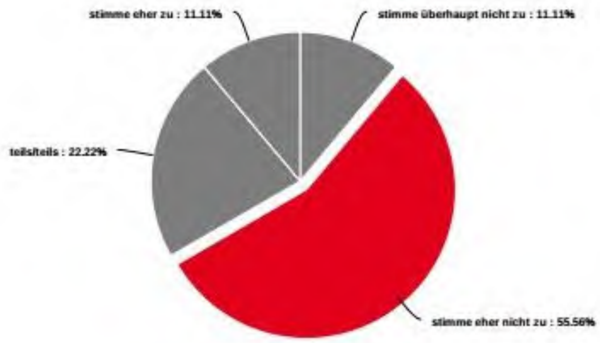
Variance: 0.528

Standard Deviation: 0.726

Standard Error: 0.242

Confidence Interval: [1.970 - 2.919]

Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war in Bezug auf das Lernen sehr ineffektiv.



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	1	11.11%
stimme eher nicht zu	5	55.56%
teils/teils	2	22.22%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.333

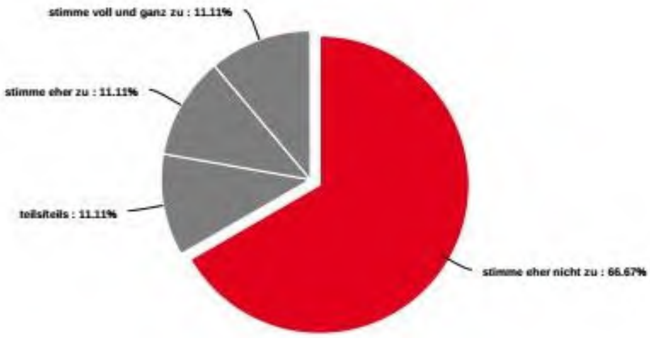
Variance: 0.750

Standard Deviation: 0.866

Standard Error: 0.289

Confidence Interval: [1.768 - 2.899]

Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik erschwerte das Lernen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	6	66.67%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 2.667

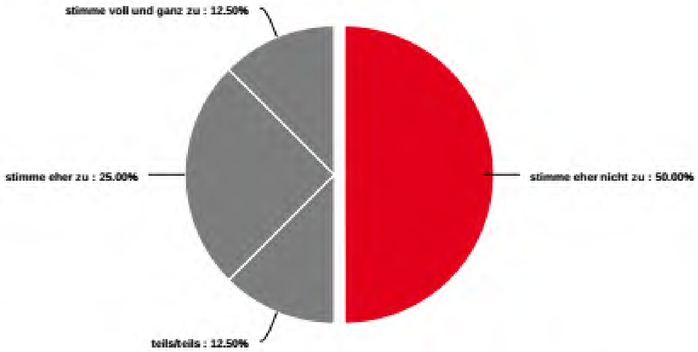
Variance: 1.250

Standard Deviation: 1.118

Standard Error: 0.373

Confidence Interval: [1.936 - 3.397]

Die in der VR-Lernumgebung verwendete Interaktionstechnik war schwer zu beherrschen



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	0	0%
stimme eher nicht zu	4	50%
teils/teils	1	12.5%
stimme eher zu	2	25%
stimme voll und ganz zu	1	12.5%
Total	8	100 %

Mean 3.000

Variance: 1.429

Standard Deviation: 1.195

Standard Error: 0.423

Confidence Interval: [2.172 - 3.828]

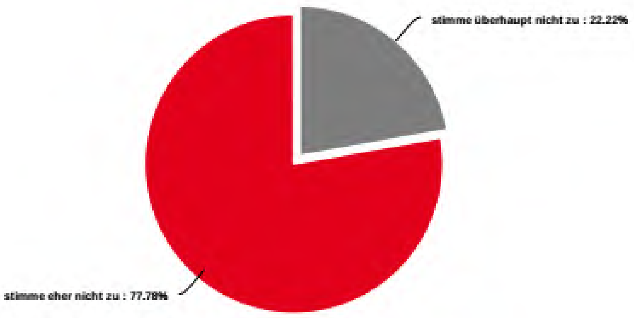
11. 8: Inwiefern stimmst du den folgenden Aussagen zu?

Statement	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	Overall
Die Elemente in der virtuellen Umgebung machten das Lernen sehr unklar	2 22.22%	7 77.78%	0 0%	0 0%	0 0%	9 100%
Die virtuelle Umgebung war, was das Lernen angeht, sehr ineffektiv	2 22.22%	5 55.56%	1 11.11%	0 0%	1 11.11%	9 100%
Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevanten Inhalten	5 55.56%	4 44.44%	0 0%	0 0%	0 0%	9 100%
Es war schwierig, die relevanten Lerninformationen in der virtuellen Umgebung zu finden	3 33.33%	4 44.44%	1 11.11%	1 11.11%	0 0%	9 100%

Min Max

Question	Count	Score	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	teils/teils	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu
Die Elemente in der virtuellen Umgebung machten das Lernen sehr unklar	9	1.78					
Die virtuelle Umgebung war, was das Lernen angeht, sehr ineffektiv	9	2.22					
Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevanten Inhalten	9	1.44					
Es war schwierig, die relevanten Lerninformationen in der virtuellen Umgebung zu finden	9	2					
Average		1.86					

Die Elemente in der virtuellen Umgebung machten das Lernen sehr unklar



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	2	22.22%
stimme eher nicht zu	7	77.78%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 1.778

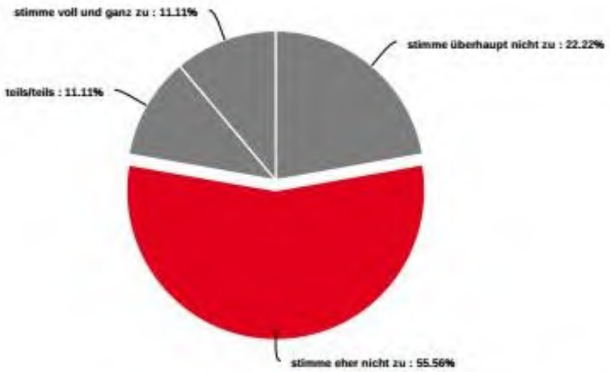
Variance: 0.194

Standard Deviation: 0.441

Standard Error: 0.147

Confidence Interval: [1.490 - 2.066]

Die virtuelle Umgebung war, was das Lernen angeht, sehr ineffektiv



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	2	22.22%
stimme eher nicht zu	5	55.56%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 2.222

Variance: 1.444

Standard Deviation: 1.202

Standard Error: 0.401

Confidence Interval: [1.437 - 3.007]

Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevanten Inhalten

Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	5	55.56%
stimme eher nicht zu	4	44.44%
teils/teils	0	0%
stimme eher zu	0	0%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 1.444

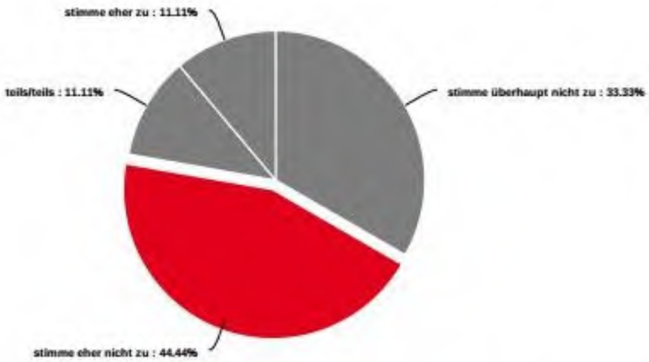
Variance: 0.278

Standard Deviation: 0.527

Standard Error: 0.176

Confidence Interval: [1.100 - 1.789]

Es war schwierig, die relevanten Lerninformationen in der virtuellen Umgebung zu finden



Answer	Count	Percent
stimme überhaupt nicht zu	3	33.33%
stimme eher nicht zu	4	44.44%
teils/teils	1	11.11%
stimme eher zu	1	11.11%
stimme voll und ganz zu	0	0%
Total	9	100 %

Mean 2.000 Variance: 1.000

Standard Deviation: 1.000 Standard Error: 0.333

Confidence Interval: [1.347 - 2.653]

12. Nenne drei konkrete Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität im Alltag.

06/30/2025	36088376	Teile von Grünflächen wuchern lassen Futter für Kleintiere erhöht anbringen (Obacht vor Ratten) Dachflächen begrünen
06/30/2025	36087715	Begrünung und Entsiegelung von Flächen(Balkon; Hof etc.) Pflanzen heimischer, standortgerechter Arten Schaffung von Kleinlebensräumen(Sträucher etc)
06/30/2025	36087623	Insekten Hotel
06/30/2025	36086886	Grünflächen gerade im Frühling und Sommer gar nicht / seltener mähen Vogel- / Insektenfutter /-Kästen anbringen Vogel-/ Insektentränken aufstellen
06/30/2025	36086569	Garten- und Balkonbepflanzung, Nutzung von Regenwasser, Verzicht auf Pestizide
06/30/2025	36086298	Begrünung von Dächern und Fassaden, Schaffund von Unterschlupfmöglichkeiten, Aufklärung und Bewusstseinsbildung
06/30/2025	36086054	Insektenfreundliche Pflanzen im Garten anlegen, Kompost statt chemischen Dünger verwenden, Vogelhaus bauen
06/30/2025	36086036	Regional einkaufen Umweltfreundliche Mobilität nutzen
06/30/2025	36085248	Fahrrad fahren, lokales Essen, Plastik sparen

13. Erkläre den Zusammenhang zwischen grauer Energie und der Lebenszyklusanalyse (LCA) und warum dieser Zusammenhang für nachhaltiges Bauen relevant ist.

06/30/2025	36088376	Die graue Energie beschreibt die Energie, die in den vorgelagerten Produktionsprozessen verwendet wird. Auch diese Prozesse gehören zum Lebenszyklus. Dabei entsteht auch der Zusammenhang: Verbraucht ein Produkt viel Energie in den Vorgelagerten P-Prozessen, so kann amn darauf schließen, dass beispielsweise der Rohstoffabbau, die Bearbeitung zum Baustoff oder der Transport nicht nachhaltig ist.
06/30/2025	36087715	Graue Energie sind versteckte Emissionen aus Herstellung und Transport von Materialien. Die Lebenszyklusanalyse (LCA) macht diese über den gesamten Gebäudelebenszyklus sichtbar. Für nachhaltiges Bauen ist das wichtig, um Materialien mit geringerer Umweltwirkung zu wählen und Emissionen zu reduzieren.
06/30/2025	36087623	Lieferketten
06/30/2025	36086886	Die Graue Energie ist diese, welche im vorgelagerten Lebenszyklus unteranderem zum Abbau, der Erschaffung und dem Transport verwendet wird. Im Zusammenhand mit dem nachhaltigen Bauen ist die Beterachtung relevant, um in der Planung nachhaltige Baustoffe zu verwenden.
06/30/2025	36086569	Bewertung der Umweltbelastung, Reduktion der CO2-Emissionen
06/30/2025	36086298	Durch die Erfassung der grauen Energie durch die LCA wird einem bewusst, dass sehr viele Aspekte den Energieverbrauch innerhalb eines Gebäudelebenszyklus beeinflussen
06/30/2025	36086054	graue Energie ist ein Teil der LCA, durch effiziente Anwendung kann sie den Gesamtenergiebedarf eines Hauses erheblich verringern
06/30/2025	36086036	Er hilft, die gesamte Umweltwirkung eines Gebäudes über seinen kompletten Lebenszyklus hinweg zu verstehen und zu minimieren

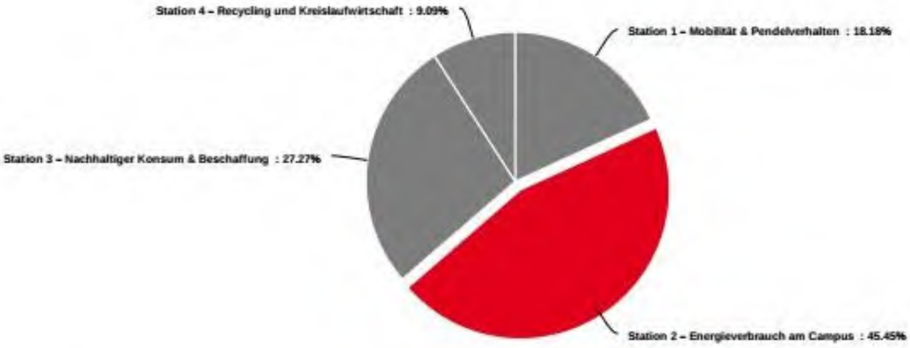
14. Beschreibe den Ablauf einer nachhaltigen Planung eines Gebäudes – von der Materialwahl bis zum Betrieb.

06/30/2025	36088376	Auswahl von Baustoffen, die aus schnell nachwachsenden (meist niediger Wert für graue Energie) Rohstoffen hergestellt werden und / oder regional hergestellt werden (kurze Transportwege), auch in Hinblick auf die spätere Nutzung (Betriebsplanung in der bauphase miteinbeziehen) Geeignete Auswahl der Bindestoffe oder Oberflächenbekeidungen (ohne beeinträchtigung der Wirkung von nachhaltigen Baustoffen (z.b. Diffusionsfähigkeit von Holz) Ausreichend viel Zeit für die Bauphase einplanen (Baustoffe müssen sich an die Umgebung anpassen / ausreichend Trockenzeit)
06/30/2025	36087715	Auswahl ressourcenschonender Materialien, Planung energieeffizienter Bauteile, Berücksichtigung von DGNB-Kriterien, nachhaltige Ausführung und Betrieb mit geringem Ressourcenverbrauch.
06/30/2025	36087623	Lieferketten
06/30/2025	36086886	Betrachte die (grauen) Energiewerte, die beispielsweise zum Abbau oder für den Transport verwendet werden. Die Rohstoffe sollten im besten Fall nachwachsend sein. Anschließend muss darauf geachtet werden, die Nachhaltigkeitsaspekte nicht durch Reboundeffekte zu zerstören. Dafür muss die Betriebsplanung in die bauliche Planung mit eingebunden werden.
06/30/2025	36086569	nachhaltige Materialwahl, Entwurfs- und Planungsphase, Bauphase, Betrieb des Gebäudes, Wartung und Instandhaltung, Rückbau
06/30/2025	36086036	1. Bedarfsanalyse und Zieldefinition 2. Planung und Entwurf 3. Materialwahl 4. LCA 5. TGA 6. Bauausführung 7. Inbetriebnahme und Monitoring 8. Betrieb 9. Rückbau
06/30/2025	36085248	erneuerbare Materialien und Energie, effektives Energiesystem und Monitoring

15. Überlege dir eine Alltagssituation, in der du bisher eine konventionelle Lösung genutzt hast. Wie könntest du dort eine der nachhaltigen Alternativen einsetzen?

06/30/2025	36088376	Ich fahre mit dem Auto zur Arbeit, könnte aber auch Zug fahren
06/30/2025	36087715	Bisher bin ich oft allein mit dem Auto zur Hochschule gefahren. Stattdessen könnte ich auf den ÖPNV oder das Fahrrad umsteigen, um Emissionen zu reduzieren und mein Pendelverhalten nachhaltiger zu gestalten.
06/30/2025	36087623	Auto fahren obwohl man mit den Öffis fahren kann
06/30/2025	36086886	Im Supermarkt das frische Gemüse nicht in Plastiktüten verpacken, sondern Stofftüten / gar keine Tüten verwenden
06/30/2025	36086569	beim Kaffeebecher lieber einen wieder verwendbaren Thermobecher benutzten, anstatt ein Einweg-Kaffeebecher
06/30/2025	36086298	Ich könnte mich mit dem Fahrrad in meinem Dorf bewegen anstatt mit dem Auto
06/30/2025	36085248	Mit Fahrrad zur Arbeit fahren

16. Welche der folgenden Stationen ist dir besonders im Gedächtnis geblieben? (Mehrfachauswahl möglich, je nach Anzahl der getesteten Stationen)



Answer	Count	Percent
Station 1 – Mobilität & Pendelverhalten	2	18.18%
Station 2 – Energieverbrauch am Campus	5	45.45%
Station 3 – Nachhaltiger Konsum & Beschaffung	3	27.27%
Station 4 – Recycling und Kreislaufwirtschaft	1	9.09%
Station 5 – Entscheidungsdilemma: digital vs. Dienstreise	0	0%
Total	11	100 %

Mean 2.273	Variance: 0.818
Standard Deviation: 0.905	Standard Error: 0.273
Confidence Interval: [1.738 - 2.807]	

17. Was hat diese Station für dich besonders gemacht?

06/30/2025	36088376	Belichtet die Energie, die wir mit den Produkt weder einsparen noch verbrauchen, sonder die schon verbraucht wurde
06/30/2025	36087715	Realitätsnah und Anwendungsbezogen
06/30/2025	36086886	Interessiert oder Betrifft mich selbst (Campus)
06/30/2025	36086569	zu hinterfragen, welches Material welche Auswirkung haben kann
06/30/2025	36086298	Ich interessiere mich für den Energieverbrauch eines Gebädues und wie dieser zustande kommt
06/30/2025	36086036	Interaktiv

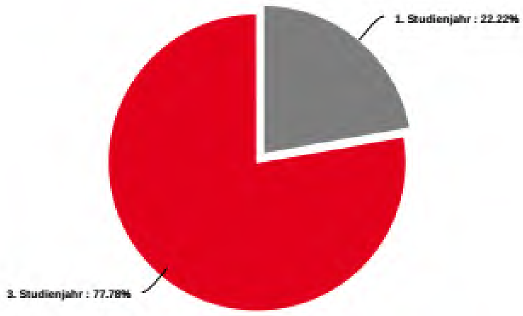
18. Gab es etwas, das dich irritiert oder verwirrt hat?

06/30/2025	36088376	Die Videos in Dauerschleife
06/30/2025	36087715	Nein.
06/30/2025	36086886	Die Dauerschleife der Videos
06/30/2025	36086569	nein
06/30/2025	36086298	Nein
06/30/2025	36085248	Station Biodiversität: es war schwierig die Zettel gut auf dem Tisch abzulegen und zu sortieren

19. Studiengang/Fachgebiet

06/30/2025	36088376	WIW _ FM
06/30/2025	36087715	TFM - Wirtschaftsingenieurwesen Facility Management
06/30/2025	36087623	FM
06/30/2025	36086886	WIW FM
06/30/2025	36086569	WIW - Facility Management
06/30/2025	36086298	WIW -FM
06/30/2025	36086054	WIW - FM
06/30/2025	36086036	WIW TFM2022
06/30/2025	36085248	WIW - Facility Management

20. Studienjahr



Answer	Count	Percent
1. Studienjahr	2	22.22%
2. Studienjahr	0	0%
3. Studienjahr	7	77.78%
Total	9	100 %

Mean 2.556

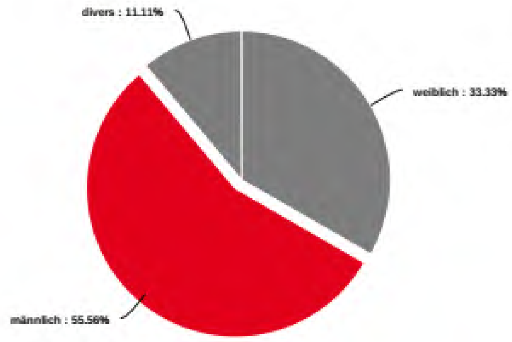
Variance: 0.778

Standard Deviation: 0.882

Standard Error: 0.294

Confidence Interval: [1.979 - 3.132]

21. Geschlecht



Answer	Count	Percent
weiblich	3	33.33%
männlich	5	55.56%
divers	1	11.11%
Total	9	100 %

Mean 1.778

Variance: 0.444

Standard Deviation: 0.667

Standard Error: 0.222

Confidence Interval: [1.342 - 2.213]

22. Alter

06/30/2025	36088376	23
06/30/2025	36087715	23
06/30/2025	36087623	22
06/30/2025	36086886	22
06/30/2025	36086569	23
06/30/2025	36086298	24
06/30/2025	36086054	19
06/30/2025	36086036	24
06/30/2025	36085248	20