

# Development and evaluation of the SimArena Magdeburg (SAM): A randomized controlled trial of the impact of a low-cost 180° simulation arena for emergency medical simulation training on stress perception and the associated resuscitation quality in medical students

## Abstract

**Introduction:** Simulation arenas, in which video recordings from multiple projectors are projected onto curved screens to increase the realism of emergency medical simulations, have so far been associated with high development costs of more than 100,000 euros. The objectives of this study were (1) to develop a cost-effective simulation arena, (2) to determine whether the simulation arena increases the realism of simulations and (3) whether it has an impact on the perception of stress and the associated quality of resuscitation.

**Methods:** A pilot study was conducted to assess the level of satisfaction, realism, and perceived stress in two student courses using a questionnaire. In the randomized controlled SIMARENA trial, third to sixth year students were assessed for subjective stress and subjective resuscitation quality by a visual analogue scale (VAS), objective resuscitation quality by a resuscitation feedback system, and objective stress by cardiac reactivity.

**Results:** The development costs of the SimArena Magdeburg (SAM) amounted to 7,726.50 euros. Almost all participants agreed that the SAM contributed to the perception of a realistic environment. There was a significant difference in perceived stress. Cardiac reactivity was also significantly higher when using the SAM. The subjective and objective resuscitation quality showed no significant difference.

**Conclusions:** The SAM is the first low-cost 180° simulation arena that enables emergency medical simulations in a realistic, secure, quickly interchangeable, and standardized environment. It causes an increased stress perception without reducing the quality of resuscitation, providing an optimal learning environment in which stress levels can be tailored to the participants' learning objectives through various parameters.

**Keywords:** simulation, simulated environment, simulation arena, medical education, emergency medicine, virtual reality

Niklas Leschowski<sup>1</sup>

Hanno Brinkema<sup>2</sup>

Sabine Darius<sup>3</sup>

Juliane Wolter<sup>4</sup>

Irina Böckelmann<sup>3</sup>

Katrin Borucki<sup>4</sup>

Dorothea Sauer<sup>1</sup>

Rüdiger Christian

Braun-Dullaues<sup>5</sup>

1 Asklepios Clinic Wandsbek, Central Emergency Department, Hamburg, Germany

2 Cologne-Merheim Medical Center, Department for Orthopedics, Plastic Surgery, Trauma Surgery, and Sports Traumatology, Cologne, Germany

3 Otto-von-Guericke University Magdeburg, Faculty of Medicine, Occupational Medicine, Magdeburg, Germany

4 Otto-von-Guericke University Magdeburg, Faculty of Medicine, Institute for Clinical Chemistry and Pathobiochemistry, Magdeburg, Germany

5 University Hospital Magdeburg, Department of Cardiology and Angiology, Magdeburg, Germany

## 1. Introduction

Simulation arenas, that project videos from multiple projectors onto curved screens, to enable a realistic, quickly interchangeable, secure, and standardized environment representation for emergency medical simulations are rarely used in emergency medical education worldwide due to the high development costs, which can exceed 100,000 euros [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. The semicircular training rooms provide a protected and secure environment and allow the simulation of the wide range of locations and environmental conditions in which emergency medical personnel must operate, but where simulations are not regularly possible, such as busy roads, highways, railways, and even military battlefields [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Using video projection, environmental sounds, and flexible props, different scenarios can be quickly interchanged to create a standardized, realistic environment for learning and exams [1], [3], [7], [9], [10], [13]. In addition, environmental simulation can create realistic stress conditions, restrict the regular workflow and challenge the teamwork and interpersonal communication [9], [10], [13], [14], [15]. The high degree of realism in simulation training is of pertinence, as it aims to attain a high level of competence through the seamless integration of learned techniques into daily life and clinical situations [10], [16]. In addition, it can help develop a certain level of stress resistance. Processes such as communication, leadership, and decision-making under stress can be experienced in a targeted manner, while at the same time emphasizing the importance of complying with medical and non-medical safety standards [9], [10], [15]. There is evidence that stress can potentially reduce attention resources, increase distractibility, and impair resuscitation performance [17].

The overall objective of this research project was to develop the low-cost simulation arena “SimArena Magdeburg” (SAM) and to investigate the added value of simulation arenas, especially in comparison to frequent simulations in seminar rooms without environmental representation. As part of a pilot project, the satisfaction and subjective perception of the realism of the SAM's environment representation were to be investigated using a subjective questionnaire. Since studies have so far mainly used subjective questionnaires to investigate the effects of simulation arenas on participants in simulation training, a randomized controlled trial was designed to investigate how the use of SAM during a five-minute lay resuscitation affects the subjective and objective stress perception as well as the subjective and objective resuscitation quality of medical students. Our hypotheses were that the SAM would provide a satisfactory and realistic representation of the environment and that the subjective and objective stress levels of medical students during a 5-minute lay resuscitation would increase more and the subjective and objective resuscitation quality would decrease more with the SAM than without the SAM.

## 2. Methods

### 2.1. Development

The projection screen of the SAM is a semi-circular, 180° curved wooden construction consisting of several segments and coated with four millimeters of solid white paint. The short-throw projectors and ceiling mounts were placed so far away from the screen that both short-throw projectors illuminated all parts of the screen (see figure 1 and figure 2). To combine the two independent projections of the short-throw projectors into a single projection, both short-throw projectors were synchronized using the NVIDIA Surround feature in the 3D Settings menu of the NVIDIA system control. The Immersive Display software allowed the projection to be adjusted to fit the curvature and dimensions of the projection surface (see figure 3). For the panoramic video recordings, the Nikon KeyMission 360 4K was mounted on a tripod one meter above the ground and a five-minute recording was started. To convert the 360° panoramic video footage into 180° panoramic video footage, it was cropped to a horizontal angle of 180° using the video editing program iMovie. Additional sounds were added to the videos as needed. The video recordings can be adjusted to the size of the screen and played back using the QuickTime or VLC player. A dark gray carpet was installed to provide a color-coordinated background for the environment simulation and to make the participants' knees more comfortable. In addition, a fan to simulate wind, a fog machine and a flash strobe were connected to the SAM via a radio switch set (see table 1).

### 2.2. Pilot study

To investigate whether the goal of a realistic representation of the environment is achieved by the SAM and whether the SAM has an influence on the perception of stress the SAM was evaluated in a pilot study during two courses on polytrauma care at the Magdeburg Training Center for Basic Medical Skills (MAMBA Skillslab). Two simulation scenarios were performed in SAM environments and two simulation scenarios were performed in real-world environments not represented by the SAM. The SAM simulated a scene in a forest and a scene on a busy road. A stairwell and a street in front of the training center served as real environments. In all the simulations, participants had to care for a Laerdal Resusci Anne QCPR full body with airway head in a polytrauma scenario. Following the scenarios, all participants completed a questionnaire consisting of eight questions using Likert scales (see table 2). Three questions were only added in the second course.

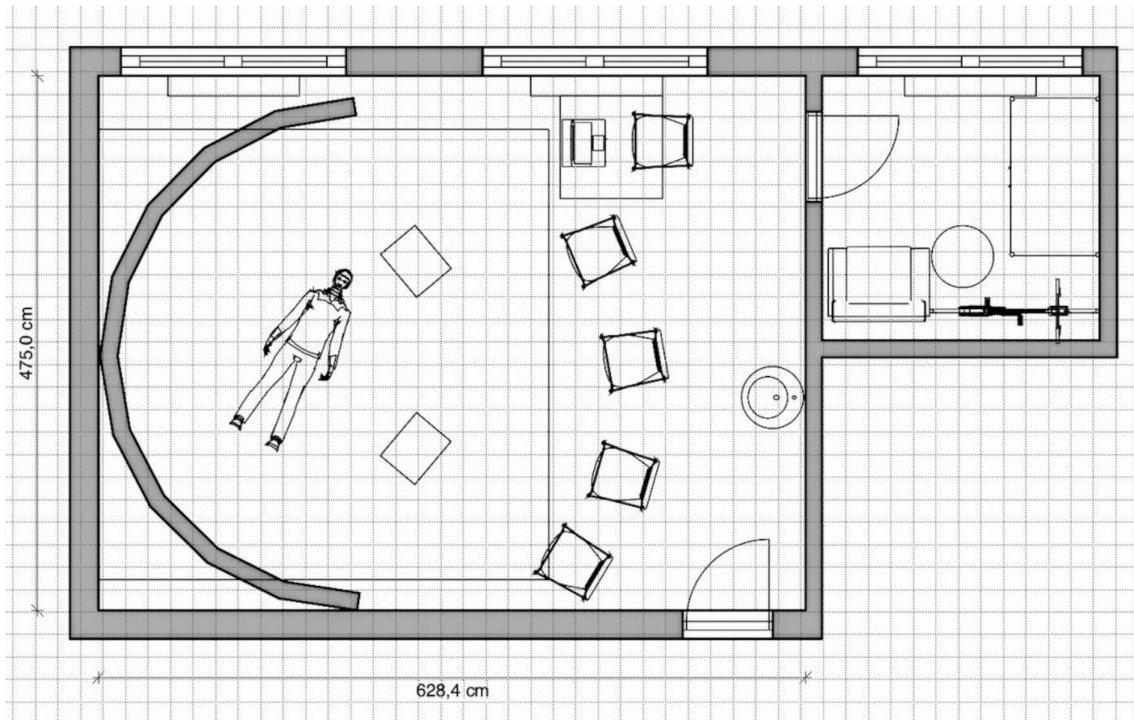


Figure 1: SAM floor plan (©Leschowski)

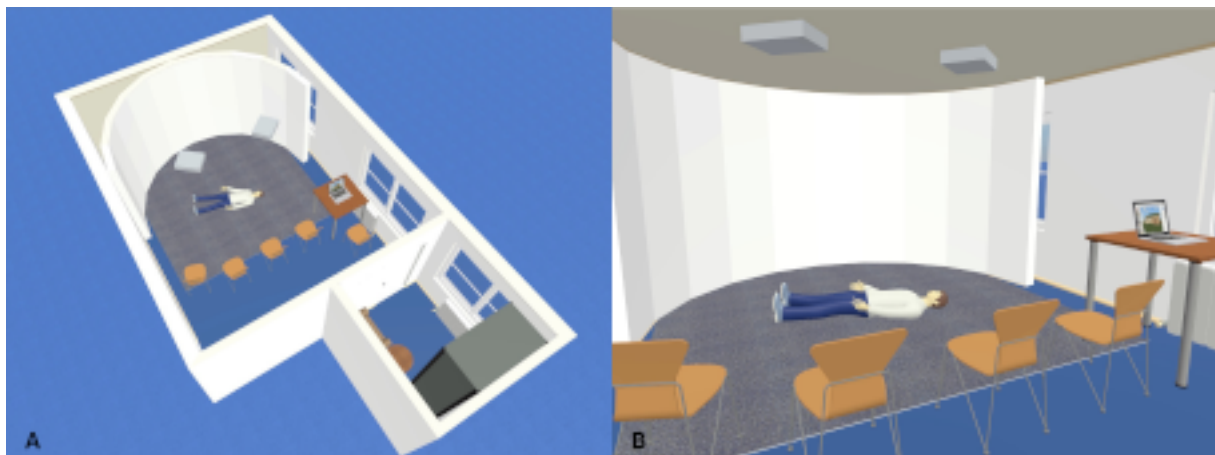


Figure 2: 3D Model: (A) overview and (B) interior view of the SAM (©Leschowski)



Figure 3: Forest scenario in SAM (©Leschowski)

**Table 1: Material SimArena Magdeburg**

Label	Amount	Cost (EUR)
180° projection screen by Tischlerei Wohltath GmbH & Co. KG consisting of several arch segments, inside with 4mm white Mela coated plate in the measures: Height: 2000mm, radius 2200mm	1	2,388.00
BENQ TH671ST Short Distance Projector	2	1,338.00
My Wall H16-1WL Ceiling mount for projector	2	66.50
7-meter HDMI cable with gold-plated connectors without networking capability	2	60.00
Rankie Adapter Mini DisplayPort (Thunderbolt) (Mini DP) to HDMI, 4K Converter, Black	1	10.98
Immersive Display Software Pro Advanced USB Dongle	1	250.00
XMG P507 PRO Gam. Laptop 2017 -15.6" Full HD (1920 x 1080) IPS   non-glare   G-SYNC -NVIDIA GeForce GTX 1070   8 GB GDDR5 -Intel Core i7-7700HQ   2,80 - 3,80 GHz   4 Kerne / 8 Threads   6 MB Cache   45 Watt -16 GB (2x8) DDR4 RAM HyperX Impact   2666 MHz -512 GB Samsung 860 Pro Series -Intel Wireless-AC 3168   inkl. Bluetooth 4.2 -Microsoft Windows 10 Pro 64 Bit   Deutsch -Beleuchtete Multicolor Tastatur   Deutsch -Metall-Gehäuse	1	* 3,117.00
Nikon KeyMission 360 4K	1	* 229.95
Manfrotto 5001B nano tripod black	1	* 54.90
SanDisk ULTRA 200 GB microSDXC	1	* 22.47
Artificial turf green anthracite metered 400 cm 16 sqm	1	71.84
EUROLITE N-11 LED Fog Machine, Black	1	49.90
OLYMPIA 98575 FL 037 Flashlight Stroboscope	1	14.99
OLYMPIA 98814 EDL 01 Mini Police Light White	1	6.99
OK. OTF3331W Desk Fan White (40 Watt)	1	19.99
BRENNENSTUHL Comfort-Line RC CE1 3001 remote control set	1	24.99
<b>TOTAL</b>		<b>7,726.50</b>

\*Material was already available at the MAMBA Skillslab/Otto-von-Guericke-University Magdeburg

## 2.3. SIMARENA trial

### 2.3.1. Subjective perception of stress

A visual analog scale (VAS-S) ranging from 0 mm (“no stress”) to 100 mm (“maximum stress”) served as the primary target measure of subjective stress perception. The secondary outcome measure was the State-Trait-Anxiety Inventory (STAI), which uses two questionnaires to distinguish between current anxiety, which varies in intensity over time and across situations (STAI-S), and habitual anxiety (STAI-T) [18]. The questionnaires each consist of 20 items on a four-point response scale. The values of the items are added together, resulting in two total scores between 20 and 80 [18]. The factors “current ability to act” (BEA), “emotional tension” (TEN), “emotional evaluation of the situation” (STIM), and “self-control” (SPAN) of the Nitsch Self-State Scale (EZ) were used as additional secondary outcome measures [19], [20]. The

EZ consists of 40 characteristic words that are rated on a 6-point ordinal scale from 1 “hardly” to 6 “completely”. After converting the elementary values into area-transformed z'-values, these were summed and transformed into 14 binary factors in a 3-stage hierarchy [19], [20]. The scale of 1 to 9 is designed so that a higher value for each factor indicates a more positive subjective assessment of one's ability to act [20]. The parameter “current motivation to act” (MOT) was also used to determine the motivation status of the test subjects prior to the study intervention [20].

### 2.3.2. Objective perception of stress

Cardiac reactivity (CR), defined as the difference between the mean heart rate during resuscitation and a baseline period before resuscitation, was used as the primary objective measure of objective stress perception. For this purpose, continuous electrocardiography was performed

Table 2: SAM survey

Questions	Likert scale				
	totally agree	mostly agree	partially agree	mostly disagree	totally disagree
The use of the SAM should be maintained to train in a realistic environment.	81.6% (31/38)	10.5% (4/38)	7.9% (3/38)	0.0%	0.0%
The SAM contributed to the perception of a realistic environment.	65.8% (25/38)	23.7% (9/38)	10.5% (4/38)	0.0%	0.0%
The video projection of the SAM has resulted in a realistic environment.	50.0% (9/18)	27.8% (5/18)	16.7% (3/18)	5.6% (1/18)	0.0%
The environmental noise of the SAM has resulted in a realistic environment.	61.1% (11/18)	11.1% (2/18)	27.8% (5/18)	0.0%	0.0%
The props of the SAM has resulted in a realistic environment.	57.9% (22/38)	28.9% (11/38)	10.5% (4/38)	2.6% (1/38)	0.0%
The SAM environment made me feel stressed	13.2% (5/38)	28.9% (11/38)	31.6% (12/38)	10.5% (4/38)	15.8% (6/38)
The real environment made me feel stressed	21.1% (8/38)	31.6% (12/38)	28.9% (11/38)	5.3% (2/38)	13.2% (5/38)
Question	central vision	mostly central vision	partially central vision	mostly peripheral vision	peripheral vision
I perceived the SAM video projection with:	5.6% (1/18)	5.6% (1/18)	11.1% (2/18)	44.4% (8/18)	33.3% (6/18)

using the Holter ECG medilog AR12plus (SCHILLER Medizintechnik GmbH, Obfelden, Switzerland). Using the medilog DARWIN2 software (SCHILLER Medizintechnik GmbH), electrical cardiac activity was automatically detected via three leads, verified, and incorrectly detected cardiac activity was manually corrected. The secondary outcome measure of objective stress perception was the heart rate (HR) and the heart rate variability (HRV) parameters SDNN (Standard Deviation of NN intervals), SNS Index (Sympathetic Nervous System Index), SI (Stress Index) and SD2 (Standard Deviation of the distances of the points from the major axis) during resuscitation. HRV analysis was performed using the Kubios HRV version 2.0 software (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, University of Kuopio, Finland). Respiratory rate (RR) was also used as a secondary outcome measure immediately after resuscitation and was continuously recorded by the Vernier Go Direct Respiratory Belt and analyzed using Vernier Graphical Analysis™ 4 software. Finally, the ratio of salivary alpha-amylase activity (sAA) immediately after resuscitation to a resting value before resuscitation was considered as another secondary outcome measure of objective stress perception. For this purpose, three saliva samples were collected from the subjects using saliva cups (SARSTEDT). The participants were instructed to place the saliva collection device's absorbent roll in one of their cheeks for two minutes without chewing or speaking [21], [22], [23]. After being stored at -20 °C for a maximum of three days, the samples were subjected to automated in-vitro testing using the

Roche Cobas6000 [23], [24], [25]. The samples were thawed at room temperature and centrifuged at 4000 revolutions per minute for ten minutes at room temperature. 10 µl of the sample were mixed with 990 µl of distilled water. After calibrating the measurement system with distilled water and a Roche calibration standard, the measurement was started using the c501 module in serum mode [24]. The Roche cobas c systems automatically calculate the analytical activity of the sample [24]. The conversion factor was:  $U/L \times 0.0167 = \mu\text{kat/L}$ . The kinetic method is based on the cleavage of 4,6-ethylidene-(G7)-1,4-nitrophenyl-(G1)- $\alpha$ ,D-maltoheptaoside (Ethylidene Protected Substrate=EPS) by alpha-amylase, followed by the hydrolysis of all cleavage products using alpha-glucosidase (auxiliary enzyme) to p-nitrophenol (100% chromophore release) [24]. The color intensity of the formed p-nitrophenol was directly proportional to the alpha-amylase activity and was determined by measuring the increase in extinction [24].

### 2.3.3. Subjective quality of the resuscitation

The primary target of subjective resuscitation quality was assessed using a visual analog scale ranging from 0 mm ("poor resuscitation") to 100 mm ("excellent resuscitation"), which was completed by the subjects immediately after resuscitation.

Table 3: Results objective resuscitation quality

Endpoints	IG M (SD)	CG M (SD)	t(df)	95% CI of the difference	p1
TOTAL (compression, ventilation & time of CPR) (%)	49.7 (24.2)	49.9 (27.7)	t(43.907) = -0.022	(-15.6, 15.3)	0.491
Compressions (n)	360.9 (48.3)	345.7 (60.5)	t(43.901) = 0.944	(-17.2, 47.5)	0.175
Compression depth average (mm)	50.6 (10.1)	48.2 (10.1)	t(42.688) = 0.807	(-3.6, 8.4)	0.788
Average compression rate (n/min)	111.0 (9.9)	111.3 (18.0)	t(38.478) = -0.078	(-8.8, 8.2)	0.531
Endpoints	IG Md	CG Md	U	Z	p1
Compression value (%)	52.00	56.00	260.500	-0.044	0.485
Ventilation value (%)	19.00	7.00	217.500	-1.004	0.839
Compressions with correct hand position (%)	94.00	100.00	166.500	-2.263	<b>0.012</b>
Compressions with correct relief (%)	84.00	72.00	257.500	-0.111	0.542
Sufficient depth of compression (%)	83.00	68.00	227.500	-0.775	0.777
Compressions with correct frequency (%)	78.00	28.00	146.000	-2.575	0.995
Average volume (ml)	621.00	440.00	243.500	-0.423	0.660
Ventilation that exceeds max. volume (%)	37.00	4.00	226.000	-0.846	0.202
Correct ventilations (%)	6.00	25.00	223.000	-0.894	0.189
Ventilation not reaching min. volume (%)	5.00	6.00	256.500	-0.138	0.552
Checklist number of errors (n)	2.00	1.00	160.000	-2.348	<b>0.009</b>

Intervention group (IG); control group (CG); mean (M); standard deviation (SD); t value (t); degree of freedom (df); confidence interval (CI); median (Md); Mann-Whitney U statistic (U); Z statistic (Z); p value 1-sided (p1)

Table 4: Lay resuscitation checklist

Steps	Step performed?	
Evaluate if the person is responding	Yes	No
Clear the airway	Yes	No
Check breathing	Yes	No
Call Emergency Services	Yes	No
Call for an AED	Yes	No
Open clothes	Yes	No
Start compressions and ventilation	Yes	No

### 2.3.4. Objective quality of the resuscitation

The primary objective measure of the quality of resuscitation was the total score (TOTAL), which was calculated by the Laerdal Resusci Anne QCPR and the Laerdal SimPad PLUS SkillReporter immediately after resuscitation as an overall value of resuscitation performance based on the parameters of compression, ventilation, and time with CPR activity [26]. The algorithm used was developed by Laerdal Medical in close collaboration with members of the Emergency Cardiovascular Care (ECC) Subcommittee of the American Heart Association (AHA) and co-authors of the AHA Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation [27]. In addition, several secondary resuscitation parameters were also measured (see table 3) [26]. As a further secondary objective, a resuscitation checklist was

defined (see table 4). This checklist was completed by the examiner during resuscitation and was based on the recommendations for lay resuscitation ("BLS procedure for adults") of the 2015 guidelines of the German Resuscitation Council [28]. Unperformed actions were recorded as the number of errors (n).

### 2.3.5. SIMARENA trial schedule

The trial was divided into six phases (see figure 4). Following a five-minute baseline phase, during which the participant was instructed to sit quietly on a chair and relax, the pre-resuscitation phase with the initial questionnaires and the first saliva sample commenced. It was instructed that the participant would find an unconscious person in the SAM and would perform a bystander resuscitation

Phase	Duration	Measurements	Questionnaires
Preparation	15 minutes	RR, HR, HRV	socio-demographic information
Baseline	5 minutes	RR, HR, HRV	
Pre-Resuscitation	10 minutes	RR, HR, HRV	sAA
Resuscitation	5 minutes	RR, HR, HRV	TOTAL
Post-Resuscitation	5 minutes	RR, HR, HRV	sAA
Recovery	10 minutes	RR, HR, HRV	VAS-S, STAI-S, EZ, VAS-R
Rest	5 minutes	RR, HR, HRV	sAA
			VAS-S, STAI-S

Figure 4: SIMARENA trial schedule (©Leschowski)

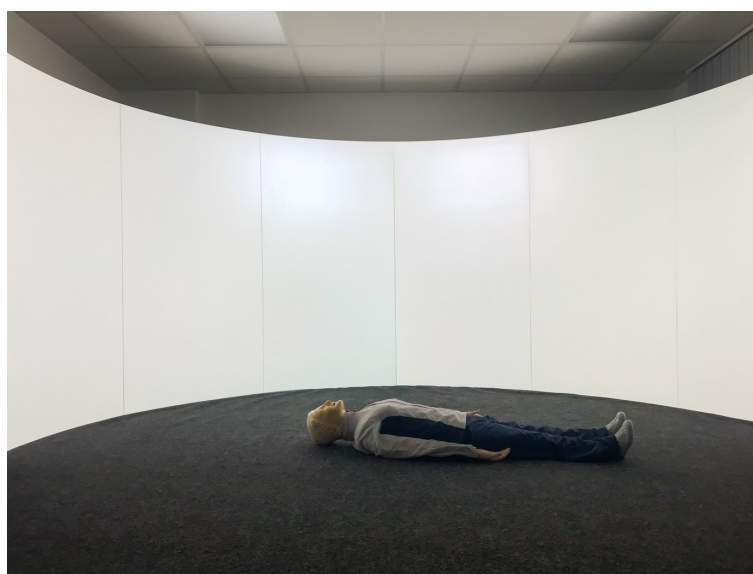


Figure 5: Control group simulation environment (©Leschowski)



Figure 6: Intervention group simulation environment (©Leschowski)

with ventilation after verifying the need for it. The participants in the control group (CG) entered the SAM, which displayed a white background without a tone signal (see figure 5). Participants in the intervention group (IG) were shown a visual and auditory representation of a major

road in the SAM (see figure 6). If the participant wanted to call emergency services or request an automated external defibrillator, the examiner took over these tasks using a standardized response list (see table 5). After five minutes, the resuscitation phase ended, and during the

Table 5: Standardized responses to subjects' questions

Question	Answer
What happened?	He just lost consciousness.
Can you get help?	Yes, I am looking for help.
Can you call an ambulance?	Yes, I will call the ambulance.
Can you perform chest compressions?	No, I have a broken arm. I will look for more help. Please continue chest compressions as long as you can.
Can you get an AED?	Yes, I am going to go get an AED.
Can you perform a ventilation?	No, I am sorry, I do not dare to do that.

post-resuscitation phase the next questionnaires were completed, and a second saliva sample was collected. After five minutes, the ten-minute "recovery" phase was initiated, during which the participant was instructed to relax while sitting. During the "rest" phase, the participant was presented the final questionnaires, and a final saliva sample was taken.

## 2.4. Statistical analysis

A priori power analysis was conducted using G\*Power 3: Statistical Power Analyses from Heinrich-Heine-University Düsseldorf based on a study by Mills et al. on the effects of emergency medical high- and low-fidelity simulations on cardiac reactivity [29]. To obtain statistically significant results regarding cardiac reactivity as the primary target of objective stress perception, a total sample of 38 participants would have been necessary based on these calculations. The participants were randomized into the intervention and control group using the RITA software (Randomization In Treatment Arms, StatSol, Lübeck) prior to the start of the trial. The statistical analysis was performed with the assistance of the Institute of Biometry and Medical Informatics using IBM SPSS Statistics 29 software (IBM, Ehningen, Germany). Descriptive analyses of the variables under investigation were conducted initially. The data was tested for normal distribution using the Shapiro-Wilk test. If the parameters were normally distributed, the Welch test was chosen as the metric test procedure. If the parameters did not follow a normal distribution, the Mann-Whitney U test was used as a non-parametric test. The distribution was tested using the Kolmogorov-Smirnov test for two samples after standardizing the data. The effect size was determined using Cohen's d for metric methods and Pearson's correlation coefficient r for non-metric methods.

## 3. Results

### 3.1. Pilot study

The SAM was constructed with development costs of 7,726.50 euros (see table 1). All 38 participants completed the questionnaire in the survey. Most of the participants were third to fifth year students. The results of the survey demonstrate that the SAM contributed to the

perception of a realistic environment through the video projection, ambient noise, and the props utilized. The video projections were predominantly perceived with peripheral vision, and subjective stress was reported during the simulations in the SAM (see table 2).

### 3.2. SIMARENA trial

The SIMARENA trial involved 46 medical students in the clinical part of the study. 21 students were randomized to the intervention group (IG) and 25 to the control group (CG). Apart from the gender distribution, there were no significant group differences. More women than men were randomized to the intervention group (IG: 61.9%, CG: 44.0%) (see table 6). A total of five HR (IG: 3, CG: 2) and six RR (IG: 3, CG: 3) recordings were excluded from the final analysis due to technical disturbances during the examinations or more than one percent of extrasystoles on the ECG [30], [31].

The post-resuscitation VAS-S, as the primary outcome measure of subjective stress, showed a significant difference between IG and CG (see figure 7). Also, the EZ parameters BEA, TEN, STIM and SPAN of the post resuscitation as secondary outcome measures showed significant differences between IG and CG. The secondary outcome measure STAI-S for post-resuscitation showed no significant difference between IG and CG (see table 7).

Cardiac reactivity, as the primary outcome measure of objective stress perception, showed a statistically significant difference between IG and CG (see figure 8). The HR and HRV parameters SDNN, SNS, SI, and SD2, as well as the RR difference between the post-resuscitation- and baseline-phase and the RR of the post-resuscitation phase, also showed significant differences between IG and CG as secondary endpoints. The sAA ratio did not show a statistically significant difference between the IG and the CG (see table 8). The VAS-R as the primary outcome measure of subjective quality of resuscitation and the TOTAL score as the primary outcome measure of objective resuscitation quality showed no significant difference between IG and CG (see table 3 and table 9). The other resuscitation parameters also showed no significant differences, except for compressions with correct hand position and the number of errors according to the resuscitation checklist (see table 3 and figure 9).



Table 6: Sample description SIMARENA trial

	IG	CG			
Amount (n)	21	25			
Female (n)	13 (61.9%)	11 (44.0%)			
Male (n)	8 (38.1%)	14 (56.0%)			
Demography	IG Md	CG Md	U	Z	p
Age (years)	25.00	25.00	261.000	-0.033	0.978
Year of study (years)	5.00	5.00	238.500	-0.549	0.599
Height (cm)	170.00	176.00	259.000	-0.077	0.943
Weight (kg)	65.00	71.00	232.000	-0.673	0.508
Time since last CPR course (months)	12.00	15.00	202.500	-1.331	0.187
Previous courses in SAM (number)	0.00	0.00	248.500	-0.342	0.746
STAI-T of pre-resuscitation (Points)	31.00	32.00	248.000	-0.320	0.755
Endpoints	IG Md	CG Md	U	Z	p
VAS-S of the pre-resuscitation (mm)	11.00	8.00	185.000	-1.717	0.087
STAI-S of the pre-resuscitation (points)	31.00	30.00	202.500	-1.326	0.188
BEA of the pre-resuscitation (Stanine Value)	7.00	7.00	261.500	-0.023	0.987
TEN of the pre-resuscitation (Stanine Value)	7.00	6.00	247.500	-0.336	0.744
STIM of the pre-resuscitation (Stanine Value)	8.00	7.00	246.500	-0.361	0.726
SPAN of the pre-resuscitation (Stanine Value)	6.00	6.00	259.000	-0.078	0.947
MOT of the pre-resuscitation (Stanine Value)	7.00	7.00	258.000	-0.101	0.925
SDNN of the Baseline (ms)	70.07	69.47	198.000	-0.236	0.825
sAA of the pre-resuscitation ( $\mu\text{kat/L}$ )	2731.00	3912.00	200.000	-1.378	0.171
Endpoints	IG M (SD)	CG M (SD)	t(df)	95% CI of the difference	p
HR of the Baseline (bpm)	80.9 (16.0)	79.4 (9.1)	t(25.492) = 0.359	(-7.2, 10.2)	0.722
SNS of the Baseline	1.0 (1.4)	0.9 (1.0)	t(29.003) = 0.416	(-0.6, 1.0)	0.680
SI of the Baseline	8.9 (2.3)	8.6 (2.8)	t(38.782) = 0.353	(-1.3, 1.9)	0.726
SD2 of the Baseline (%)	99.2 (32.2)	104.8 (34.7)	t(37.794) = -0.531	(-26.8, 15.7)	0.599
RR of the Baseline (brpm)	13.1 (2.4)	12.9 (3.0)	t(37.970) = 0.230	(-1.5, 1.9)	0.819

Intervention group (IG); Control Group (CG); Median (Md); Mann-Whitney U statistic (U); Z statistic (Z); p value (p); Mean (M); Standard deviation (SD); t value (t); Degree of freedom (df); Confidence interval (CI)

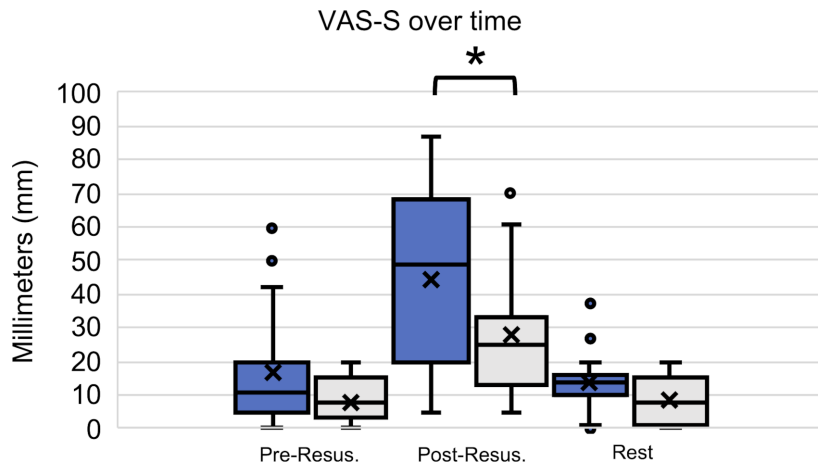


Figure 7: VAS-S over time (blue: IG, grey: CG)

Table 7: Results subjective stress perception

Endpoints	IG Md	KG Md	U	Z	p1
VAS-S of the Post-Resuscitation (mm)	49.00	25.00	160.500	-2.252	<b>0.012</b>
STAI-S of the Post-Resuscitation (Points)	37.00	35.00	216.500	-1.016	0.158
BEA of the Post-Resuscitation (Stanine-Value)	5.00	6.00	181.500	-1.815	<b>0.035</b>
TEN of the Post-Resuscitation (Stanine-Value)	5.00	7.00	169.000	-2.096	<b>0.019</b>
STIM of the Post-Resuscitation (Stanine-Value)	5.00	7.00	175.500	-1.944	<b>0.027</b>
SPAN of the Post-Resuscitation (Stanine-Value)	4.00	5.00	183.000	-1.783	<b>0.037</b>

Intervention Group (IG); Control Group (CG); Median (Md); Mann-Whitney U statistic (U); Z statistic (Z); p value 1-sided (p1); Mean (M); Standard deviation (SD); t value (t); Degree of freedom (df); Confidence interval (CI)

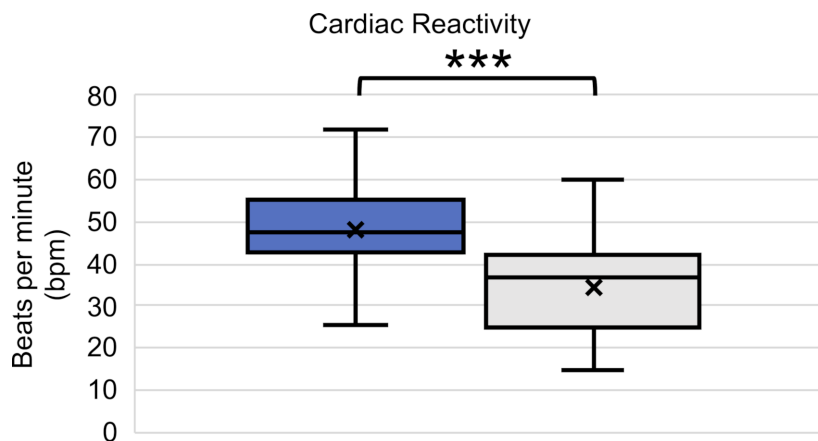


Figure 8: Cardiac reactivity (blue: IG, grey: CG)

**Table 8: Results objective stress perception**

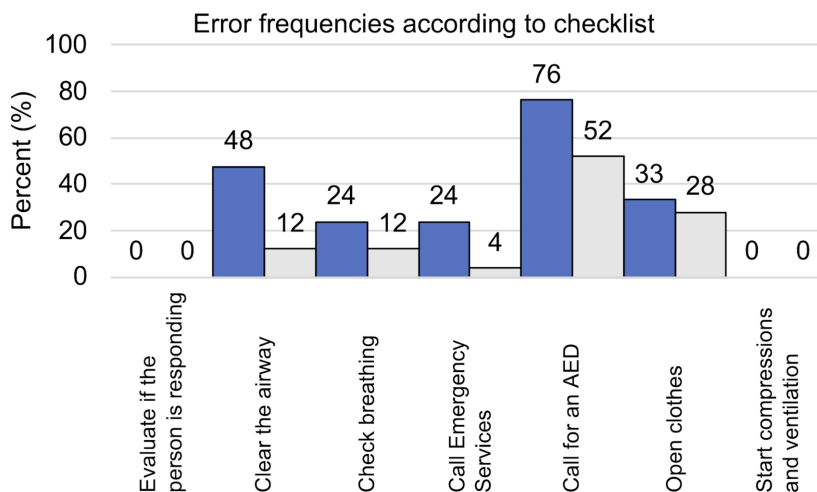
Endpoints	IG M (SD)	KG M (SD)	t(df)	95% CI of the difference	p1
CR (bpm)	48.3 (13.1)	34.7 (11.5)	t(34.048) = 3.505	(5.75, 21.60)	< 0.001
HR of the resuscitation (bpm)	129.3 (23.0)	114.1 (14.5)	t(27.250) = 2.452	(2.48, 27.90)	0.010
SDNN of the resuscitation (ms)	40.2 (14.7)	51.0 (16.1)	t(37.985) = -2.238	(-20.56, -1.03)	0.016
SNS of the resuscitation	6.4 (2.7)	4.5 (1.8)	t(28.292) = 2.511	(0.35, 3.42)	0.009
SI of the resuscitation	18.9 (5.9)	15.5 (4.1)	t(29.363) = 2.071	(0.04, 6.71)	0.024
SD2 of the resuscitation (ms)	52.0 (20.9)	68.7 (22.8)	t(37.947) = -2.440	(-30.58, -2.85)	0.010
RR difference of the post-resuscitation – pre-resuscitation (brpm)	5.2 (3.2)	3.3 (2.6)	t(32.831) = 2.063	(0.03, 3.79)	0.024
RR of the post-resuscitation (brpm)	18.3 (3.1)	16.2 (3.1)	t(36.511) = 2.167	(0.14, 4.07)	0.018
sAA ratio post-resuscitation /pre-resuscitation (%)	114.7 (51.0)	107.1 (50.6)	t(42.503) = 0.502	(-22.80, 37.91)	0.309

Intervention group (IG); control group (CG); mean (M); standard deviation (SD); t-value (t); degrees of freedom (df); confidence interval (CI); p-value 1-sided (p1)

**Table 9: Results subjective resuscitation quality**

Endpoint	IG Md	KG Md	U	Z	p1
VAS-R of the post-resuscitation (mm)	75.0	76.5	233.500	-0.423	0.340

Intervention group (IG); control group (CG); median (Md); Mann-Whitney U statistic (U); Z statistic (Z); p-value 1-sided (p1)



**Figure 9: Error frequencies according to checklist (blue: IG, grey: CG)**

## 4. Discussion

### 4.1. Development of the SAM

With a development cost of 7,726.50 euros the SAM is the first low-cost simulation arena in Germany [7], [8]. However, due to the lower expenditure, the quality of the video recordings, video projections and ambient sounds will be lower [1], [2], [3], [5], [6], [7]. The diameter of the SAM is also slightly smaller than the diameter of comparable simulation arenas due to the spatial conditions [1],

[5], [6], [7], [8], [10]. To provide enough space for the simulation, the SAM has a 180° projection screen instead of a 270° projection screen [1], [3], [4], [5], [7]. In the future, the quality of the environmental presentation could be further enhanced by using several parallel cameras to record the environment, a larger number of short-distance projectors, or several LCD monitors surrounding the simulation arena as screens, as well as stereoscopic three-dimensional projections. The integration of surround sound systems and scent generators has the potential to further enhance the immersive simulation experience.

However, research into this topic is still pending [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [32]. Unlike the arenas in Münster and Essen, developed with external partners, the SAM was built in-house and lacks an external technical contact [1], [2], [5], [6]. In the event that difficulties arise in adjusting the image to the SAM screen, assistance can be obtained by contacting the company Fly Elise-ng. Since its development, SAM has been utilized regularly for curricular and optional emergency medicine courses at Otto-von-Guericke University Magdeburg and Magdeburg University Hospital.

## 4.2. Pilot study

The survey results show a high level of student satisfaction with the SAM, that is also reflected in the ratings of comparable simulation arenas [7], [8], [9], [13]. The results of the survey also suggest that the SAM contributed to the perception of a realistic environment and stress. This is also described in other studies [7], [8], [9], [13]. Our hypothesis that the SAM would provide a satisfactory and realistic representation of the environment could thus be confirmed.

## 4.3. SIMARENA trial

### 4.3.1. Subjective perception of stress

The significantly higher VAS-S values in the IG immediately after resuscitation suggests that the SAM's depiction of the environment contributes to an increase in subjective stress, an effect that has also been reported in comparable studies [7], [9], [13]. The significantly reduced parameters BEA, TEN, STIM, and SPAN of the EZ support this result. In contrast, the STAI-S showed no significant difference between IG and CG. In the literature, comparisons between high- and low-fidelity simulations often do not show significant differences in the STAI-S [17], [33]. In some studies, a significant increase in STAI-S was shown when additional stress was induced not through changes in virtual environmental conditions, but through changes in the behavior of actors or the perceived threat of injuries [34], [35], [36]. Our hypothesis that the subjective stress level of medical students increases more during a 5-minute lay resuscitation with SAM than without SAM could thus be confirmed.

### 4.3.2. Objective perception of stress

The significant increase in CR as the primary target of objective stress perception suggests that SAM also objectively contributes to increasing stress perception. A significantly increased CR and HR can also be found in the literature [29], [34]. The significant changes in HRV and the significant increase in respiratory rate as secondary endpoints confirm this result. Tramer et al. have previously demonstrated a significant reduction in SDNN during psychological stress during resuscitation efforts [37]. It is imperative to acknowledge the disparity in

gender distribution between the intervention and control group, as women generally exhibit higher heart rates compared to men. However, studies on HRV parameters have yielded contradictory results. Some studies have observed increased parasympathetic activity in women compared to men, while others have found increased sympathetic baseline activity in women [30], [31]. The ratio of sAA from pre- to post-resuscitation phase did not show a significant increase between the IG and CG. While some studies report similar results, others have found significant increases in sAA [22], [25], [38], [39], [40]. Due to large differences in mean values as well as partly negative results, however, a large interindividual variation in sAA must be assumed [21], [22], [38]. The sAA measurements may also have been influenced by physical exertion during resuscitation or the circadian rhythm of sAA [38], [41], [42]. Furthermore, it should be noted that there are different approaches in the literature regarding the storage and processing of saliva samples [21], [22], [23], [38], [40]. In summary, our hypothesis that the objective stress level of medical students increases more during a 5-minute lay resuscitation with SAM than without SAM was confirmed.

### 4.3.3. Quality of the resuscitation

Given that the TOTAL-Score, VAS-R, and secondary endpoints did not demonstrate a statistically significant difference between the IG and CG, our hypothesis that the subjective and objective resuscitation quality of medical students decreases more during a 5-minute lay resuscitation with SAM than without SAM could therefore not be confirmed. However, the literature suggests that the quality of care deteriorates due to increased stress levels during simulations [9], [13], [17]. This discrepancy, with apparently increased subjective and objective stress levels in the IG without a corresponding reduction in resuscitation quality, can possibly be explained by the Yerkes-Dodson theory. The CG may have experienced the simulation without SAM in a state of understimulation with the same subjective and objective resuscitation quality as the IG, which was already in an incipient state of overstimulation on the Yerkes-Dodson curve due to the use of SAM (see figure 10) [43]. The statistically significant reduction in compressions with correct hand position and the significantly increased mistakes in the IG as secondary outcome measures could be first indications of a reduced resuscitation quality in the context of the increased stress perception caused by the SAM. However, Wier et al. also demonstrated that aspects of team communication, team performance, and leadership were significantly reduced through simulation in simulation arenas, which were not investigated in the SIMARENA trial [9].

### 4.3.4. Limitations

The significance of the results of the pilot study could have been increased by selecting comparable environ-

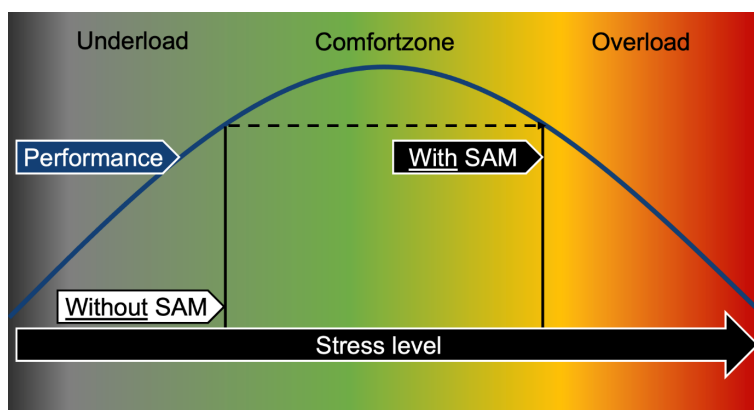


Figure 10: Influence of the SAM according to the Yerkes-Dodson theory

ments for the SAM environment representation and the real environments. Ultimately, the pilot study was only intended to answer whether the SAM subjectively generates a high level of satisfaction among the participants, whether a realistic environment can be represented and whether a simulation in the SAM induces stress. It should also be noted that the pilot study and the SIMARENA trial were not blinded. Overall, only a few students with varying levels of training voluntarily participated in the studies, indicating a high degree of preselection. Therefore, the results cannot be generalized to emergency medical personnel. Other video projections, changes in ambient noise, as well as the use of props, wind, and fog could have altered the stress perception and quality of resuscitation. Overall, the studies compare simulations without an additional environment representation with simulations with an environment representation using the SAM. This approach was chosen because it allows the additional benefit of a simulation arena to be investigated.

## 5. Conclusion

The SAM is the first affordable 180° simulation arena in Germany that enables emergency medical simulations in a realistic, rapidly interchangeable, secure, and standardized environment. It increases stress levels without reducing the quality of resuscitation, providing an optimal learning environment in which stress levels can be tailored to the participants' learning objectives through various parameters.

## Authors' ORCIDs

- Niklas Leschowski: [0000-0001-5319-7079]
- Sabine Darius: [0000-0002-8404-6406]
- Irina Böckelmann: [0000-0002-3905-3527]
- Katrin Borucki: [0000-0003-3648-2657]
- Rüdiger C. Braun-Dullaes: [0000-0003-3888-6532]

## Acknowledgements

We would like to thank Dr. Winkler-Stuck, Korinna Wendt, the dean's office, the commission for studies and education, and the student council for their support in the development and implementation of the SimArena Magdeburg.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

1. Marschall B. "Beam me in, Scotty": das SimuScape®. Münster: Universität Münster, medcampus; 2008. Zugänglich unter/available from: <https://medicampus.uni-muenster.de/5082.html>
2. Medizinische Fakultät Universität Duisburg-Essen. SimArena - Die etwas andere Lernerfahrung. Duisburg, Essen: Universität Duisburg-Essen, Med. Fakultät; 2015. Zugänglich unter/available from: <https://www.uni-due.de/~ht0209/lab2014/lehrende/das-skillslab-im-lehr-und-lernzentrum/simarena/>
3. Fidrich A, Grondstein R, Groetschel H. Innovative Technik in der praktischen Lehre: Eine interaktive Vorstellung der SimArena des SkillsLab Essen. Internationales SKILLSLAB Symposium Internationalisierung von SkillsLabs. 2015. p.51-52. Zugänglich unter/available from: [https://student.uniklinikum-leipzig.de/lernklinik/doc/Skillslab\\_Symposium\\_2015.pdf](https://student.uniklinikum-leipzig.de/lernklinik/doc/Skillslab_Symposium_2015.pdf)
4. Casmöller M, Fritzeimer S, Fidrich A, Groetschel H. Notfall Simulation - Implementierung von „SimKursen“ im SkillsLab Essen. In: Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA). Bern, 14-17.09.2016 Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2016. DocP5-691. DOI: 10.3025/16gma340
5. Kaplow M. SimuScape: Virtuelle Trainingsumgebung für medizinische Alltagssituationen. idw - Informationsdienst Wissenschaft. 20.11.2008. Zugänglich unter/available from: <https://idw-online.de/de/news289953>
6. Marschall B. Zum Hausbesuch ins „Holo-Deck“: Eröffnung des ambulanten Bereichs im Studienhospital Münster. Münster: Universität Münster, medcampus; 2008. Zugänglich unter/available from: <https://medicampus.uni-muenster.de/4067.html>

7. Thies AL, Weissenstein A, Haulsen I, Marschall B, Friederichs H. Experiences with a simulated learning environment - the SimuScape©: Virtual environments in medical education. *J Technol Sci Educ.* 2014;4(1). DOI: 10.3926/jotse.88
8. Goolsby C, Vest R, Goodwin T. New Wide Area Virtual Environment (WAVE) Medical Education. *Mil Med.* 2014;179(1):38-41. DOI: 10.7205/MILMED-D-13-00310
9. Wier GS, Tree R, Nusr R. Training Effectiveness of a Wide Area Virtual Environment in Medical Simulation. *Simul Healthc.* 2017;12(1):28-40. DOI: 10.1097/SIH.000000000000207
10. Liu A, Acosta E, Cope J, Henry V, Reyes F, Bradascio J, Wesley Meek. The Wide Area Virtual Environment: A New Paradigm for Medical Team Training. In: Schmorrow D, Fidopiastis C, editors. *Augmented Cognition: Users and Contexts.* AC 2018. Cham: Springer Verlag; 2018. (Lecture Notes in Computer Science; 10916). p.293-304. DOI: 10.1007/978-3-319-91467-1\_23
11. Urban B, Lazarovici M, Sandmeyer B. Simulation in der Notfallmedizin – stationäre Simulation. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.309-335. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_23
12. Friedrich T, Langner M, Sigmund P. Simulation in der Rettungsdienstausbildung. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.435-443. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_29
13. Wilkerson W, Avstreich D, Gruppen L, Beier KP, Woolliscroft J. Using immersive simulation for training first responders for mass casualty incidents. *Acad Emerg Med.* 200;15(11):1152-1159. DOI: 10.1111/j.1553-2712.2008.00223.x
14. Gisin S. Bitte einsteigen: Das Simulationserlebnis startet hier. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.249-260. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_18
15. Hoitz J, Braun M, Schneiderei L, Jurić M, Görsch C, Röhrborn K. Simulationsausbildung im Sanitätsdienst der Bundeswehr. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin.* Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.409-433. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_28
16. Stein D, Schwerdtfeger K, Nickel EA, Russo SG. Wie im wahren Leben: Simulation und Realitätsnähe. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p.131-142. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_11
17. Vincent A, Semmer NK, Becker C, Beck K, Tschan F, Bobst C, Schuetz P, Marsch S, Hunziker S. Does stress influence the performance of cardiopulmonary resuscitation? A narrative review of the literature. *J Crit Care.* 2021;63:223-230. DOI: 10.1016/j.jcrrc.2020.09.020
18. Laux L, Glanzmann P, Schaffner P, Spielberger CD. *Das State-Trait-Angstinventar (STAI): theoretische Grundlagen und Handanweisung.* Weinheim: Beltz; 1981.
19. Minow A, Böckelmann I. Beanspruchung, objektive Leistung und Gebrauchstauglichkeit bei simulierten Montageprozessen mit digitalen Arbeitsanweisungen. *Zentralbl Arbeitsmed Arbeitsschutz Ergon.* 2020;70(2):47-56. DOI: 10.1007/s40664-019-00372-8
20. Nitsch JR, Udris I. Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) - Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: Nitsch JR, editor. *Eigenzustandsskala (EZ-Skala): ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung.* 1. Auflage. Bad Homburg: Limpert-Verlag; 1976. p.81-102.
21. Dias RD, Scalabrini-Neto A. Acute stress in residents playing different roles during emergency simulations: a preliminary study. *Int J Med Educ.* 2017;8:239-243. DOI: 10.5116/ijme.5929.60f1
22. Dagjius Dias R, Scalabrini Neto A. Stress levels during emergency care: A comparison between reality and simulated scenarios. *J Crit Care.* 2016;33:8-13. DOI: 10.1016/j.jcrrc.2016.02.010
23. Engert V, Vogel S, Efanov SI, Duchesne A, Corbo V, Ali N, Pruessner JC. Investigation into the cross-correlation of salivary cortisol and alpha-amylase responses to psychological stress. *Psychoneuroendocrinology.* 2011;36(9):1294-1302. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.02.018
24. Roche Diagnostics GmbH. cobas AMYL2. 2019. p.1-5. Zugänglich unter/available from: [https://labogids.sintmaria.be/sites/default/files/files/amy2\\_2018-12\\_v10.pdf](https://labogids.sintmaria.be/sites/default/files/files/amy2_2018-12_v10.pdf)
25. Takai N, Yamaguchi M, Aragaki T, Eto K, Uchihashi K, Nishikawa Y. Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults. *Arch Oral Biol.* 2004;49(12):963-968. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2004.06.007
26. Laerdal. *SimPad Benutzerhandbuch.* 2016. Zugänglich unter/available from: [https://cdn.laerdal.com/downloads/f4391/ug/\\_simpad-\(d\).pdf](https://cdn.laerdal.com/downloads/f4391/ug/_simpad-(d).pdf)
27. Laerdal Medical. *Laerdal Scoring.* 2020.
28. Deutscher Rat für Wiederbelebung - German Resuscitation Council e.V. *Reanimation 2015 - Leitlinien kompakt.* Ulm: Deutscher Rat für Wiederbelebung - German Resuscitation Council e.V.; 2015. Zugänglich unter/available from: <https://www.grc-org.de/downloads/GRC-Leitlinien-2015-Kompakt.pdf>
29. Mills BW, Carter OBJ, Rudd CJ, Claxton LA, Ross NP, Strobel NA. Effects of Low- Versus High-Fidelity Simulations on the Cognitive Burden and Performance of Entry-Level Paramedicine Students: A Mixed-Methods Comparison Trial Using Eye-Tracking, Continuous Heart Rate, Difficulty Rating Scales, Video Observation and Interviews. *Simul Healthc.* 2016;11(1):10-18. DOI: 10.1097/SIH.000000000000119
30. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M. Occupational medical guideline. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 2015:1-15.
31. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I. Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed.* 2016;51(2):123-141.
32. Bowyer MW, Streete KA, Muniz GM, Liu AV. Immersive Virtual Environments for Medical Training. *Semin Colon Rectal Surg.* 2008;19(2):90-97. DOI: 10.1053/j.scrs.2008.02.005
33. Piquette D, Tarshis J, Sinuff T, Fowler RA, Pinto R, Leblanc VR. Impact of Acute Stress on Resident Performance During Simulated Resuscitation Episodes: A Prospective Randomized Cross-Over Study. *Teach Learn Med.* 2014;26(1):9-16. DOI: 10.1080/10401334.2014.859932
34. DeMaria Jr S, Bryson EO, Mooney TJ, Silverstein JH, Reich DL, Bodian C, Levine AI. Adding emotional stressors to training in simulated cardiopulmonary arrest enhances participant performance. *Med Educ.* 2010;44(10):1006-1015. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2010.03775.x
35. Harvey A, Bandiera G, Nathens AB, LeBlanc VR. Impact of stress on resident performance in simulated trauma scenarios. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;72(2):497-503. DOI: 10.1097/ta.0b013e31821f84be
36. Harvey A, Nathens AB, Bandiera G, LeBlanc VR. Threat and challenge: cognitive appraisal and stress responses in simulated trauma resuscitations. *Med Educ.* 2010;44(6):587-594. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2010.03634.x

37. Tramèr L, Becker C, Hochstrasser S, Marsch S, Hunziker S. Association of electrocardiogram alterations of rescuers and performance during a simulated cardiac arrest: A prospective simulation study. *PLoS One*. 2018;13(6):e0198661. DOI: 10.1371/journal.pone.0198661
38. Dias RD, Scalabrini Neto A. Acute stress in residents during emergency care: a study of personal and situational factors. *Stress*. 2017;20(3):241-248. DOI: 10.1080/10253890.2017.1325866
39. Valentin B, Grottko O, Skorning M, Bergrath S, Fischermann H, Rörtgen D, Mennig MT, Fitzner C, Müller MP, Kirschbaum C, Rossaint R, Beckers SK. Cortisol and alpha-amylase as stress response indicators during pre-hospital emergency medicine training with repetitive high-fidelity simulation and scenarios with standardized patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2015;23(1):31. DOI: 10.1186/s13049-015-0110-6
40. Peng HT, Tenn C, Vartanian O, Rhind SG, Jarmasz J, Tien H, Beckett A; LT-SIM study group. Biological Response to Stress During Battlefield Trauma Training: Live Tissue Versus High-Fidelity Patient Simulator. *Mil Med*. 2018;183(9-10):e349-e356. DOI: 10.1093/milmed/usx236
41. Chatterton RT, Vogelsong KM, Lu Y, Ellman AB, Hudgens GA. Salivary  $\alpha$ -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity. *Clin Physiol*. 1996;16(4):433-448. DOI: 10.1111/j.1475-097x.1996.tb00731.x
42. Nater UM, Rohleder N. Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system: Current state of research. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(4):486-496. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2009.01.014
43. Yerkes RM, Dodson JD. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J Comp Neurol Psychol*. 1908;18(5):459-482. DOI: 10.1002/cne.920180503

**Corresponding author:**

Niklas Leschowski  
 Asklepios Clinic Wandsbek, Central Emergency  
 Department, Alphonstraße 14, D-22043 Hamburg,  
 Germany, Phone: +49(0)175/6850260  
 niklas.leschowski@t-online.de

**Please cite as**

*Leschowski N, Brinkema H, Darius S, Wolter J, Böckelmann I, Borucki K, Sauer D, Braun-Dullaeus RC. Development and evaluation of the SimArena Magdeburg (SAM): A randomized controlled trial of the impact of a low-cost 180° simulation arena for emergency medical simulation training on stress perception and the associated resuscitation quality in medical students. GMS J Med Educ. 2025;42(5):Doc60. DOI: 10.3205/zma001784, URN: urn:nbn:de:0183-zma0017840*

**This article is freely available from**

<https://doi.org/10.3205/zma001784>

**Received:** 2024-11-10

**Revised:** 2025-06-22

**Accepted:** 2025-07-28

**Published:** 2025-11-17

**Copyright**

©2025 Leschowski et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

# Entwicklung und Evaluation der SimArena Magdeburg (SAM): Eine randomisierte kontrollierte Studie zu den Auswirkungen einer kostengünstigen 180° Simulationsarena für notfallmedizinisches Simulationstraining auf das Stressempfinden und die damit verbundene Reanimationsqualität von Medizinstudierenden

## Zusammenfassung

**Einleitung:** Simulationsarenen, in denen Videoaufnahmen von mehreren Projektoren auf maßgefertigte gebogene Leinwände projiziert werden, um die Realitätsnähe von notfallmedizinischen Simulationen zu erhöhen, waren bisher mit hohen Entwicklungskosten von über 100.000 Euro verbunden. Die Ziele dieses Forschungsprojektes waren (1) die Entwicklung einer kostengünstigen Simulationsarena, (2) die Untersuchung, ob die Simulationsarena die Realitätsnähe der Simulationen erhöht und (3) ob sie einen Einfluss auf das Stressempfinden und die damit verbundene Reanimationsqualität hat.

**Methoden:** In einer Pilotstudie wurde im Rahmen zweier studentischer Lehrveranstaltungen anhand von Fragebögen die Zufriedenheit, die Realitätsnähe und das subjektive Stressempfinden untersucht. In der randomisierten kontrollierten SIMARENA-Studie wurde bei Studierenden des dritten bis sechsten Studienjahres das subjektive Stressempfinden und die subjektive Reanimationsqualität mittels einer visuellen Analogskala (VAS), die objektive Reanimationsqualität mittels eines Reanimations-Feedback-Systems und das objektive Stressempfinden mittels der kardialen Reaktivität untersucht.

**Ergebnisse:** Die Entwicklungskosten der SimArena Magdeburg (SAM) beliefen sich auf 7.726,50 Euro. Fast alle Teilnehmenden waren sich einig, dass die SAM zur Wahrnehmung einer realistischen Umgebung beigetragen hat. Es gab einen signifikanten Unterschied beim subjektiven Stressempfinden. Auch die kardiale Reaktivität war bei Verwendung der SAM signifikant höher. Die subjektive und objektive Reanimationsqualität zeigte keinen signifikanten Unterschied.

**Schlussfolgerungen:** Die SAM ist die erste kostengünstige 180° Simulationsarena, die notfallmedizinische Simulationen in einer realistischen, sicheren, schnell austauschbaren und standardisierten Umgebung ermöglicht. Sie erhöht das Stressempfinden, ohne die Reanimationsqualität zu beeinträchtigen und bietet eine optimale Lernumgebung, in der das Stressniveau durch verschiedene Parameter an die Lernziele der Teilnehmenden angepasst werden kann.

**Schlüsselwörter:** Simulation, Simulationsumgebung, Simulationsarena, medizinische Ausbildung, Notfallmedizin, virtuelle Realität

Niklas Leschowski<sup>1</sup>

Hanno Brinkema<sup>2</sup>

Sabine Darius<sup>3</sup>

Juliane Wolter<sup>4</sup>

Irina Böckelmann<sup>3</sup>

Katrin Borucki<sup>4</sup>

Dorothea Sauer<sup>1</sup>

Rüdiger Christian

Braun-Dullaes<sup>5</sup>

1 Asklepios Klinik Wandsbek, Zentrum für Klinische Notfall- und Akutmedizin, Hamburg, Deutschland

2 Krankenhaus Köln-Merheim, Zentrum für Orthopädie, Plastische Chirurgie, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Köln, Deutschland

3 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Medizinische Fakultät, Bereich Arbeitsmedizin, Magdeburg, Deutschland

4 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Medizinische Fakultät, Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie, Magdeburg, Deutschland

5 Universitätsklinikum Magdeburg, Klinik für Kardiologie und Angiologie, Magdeburg, Deutschland



# 1. Einleitung

Simulationsarenen, in denen Videoaufnahmen von mehreren Projektoren auf maßgefertigte gebogene Leinwände projiziert werden, um eine realistische, schnell austauschbare, sichere und standardisierte Umgebungsdarstellung für notfallmedizinische Simulationen zu ermöglichen, werden weltweit aufgrund der hohen Entwicklungskosten von über 100.000 Euro nur selten in der notfallmedizinischen Ausbildung eingesetzt [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Die halbrunden Trainingsräume bieten eine geschützte und sichere Umgebung und ermöglichen die Simulation einer Vielzahl von Orten und Umgebungsbedingungen, in denen Rettungskräfte tätig sein müssen, in denen jedoch keine regelmäßigen Simulationen möglich sind, wie z. B. stark befahrene Straßen, Autobahnen, Eisenbahnstrecken und sogar militärische Schlachtfelder [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Mithilfe von Videoprojektionen, Umgebungsgeräuschen und flexiblen Requisiten lassen sich verschiedene Szenarien schnell austauschen, um eine standardisierte und realistische Umgebung für Lernsituationen und Prüfungen zu schaffen [1], [3], [7], [9], [10], [13].

Darüber hinaus kann die Umgebungssimulation realistische Stressbedingungen schaffen, den regulären Arbeitsablauf einschränken und die Teamarbeit und zwischenmenschliche Kommunikation herausfordern [9], [10], [13], [14], [15]. Die hohe Realitätsnähe der Simulationen ist von Bedeutung, da sie darauf abzielt, durch die nahtlose Integration der erlernten Techniken in den Alltag und in klinische Situationen ein hohes Maß an Kompetenz zu erreichen [10], [16]. Darüber hinaus kann die Entwicklung einer gewissen Stressresistenz ermöglicht werden. Gezielt können Prozesse wie Kommunikation, Führen und Entscheiden unter Stress erlebt und gleichzeitig die notwendige Einhaltung medizinischer und nichtmedizinischer Sicherheitsstandards verdeutlicht werden [9], [10], [15]. Es gibt Hinweise darauf, dass Stress die Aufmerksamkeitsressourcen potenziell verringern, die Ablenkbarkeit erhöhen und die Reanimationsleistung beeinträchtigen kann [17].

Das übergeordnete Ziel dieses Forschungsprojekts war die Entwicklung der kostengünstigen Simulationsarena „SimArena Magdeburg“ (SAM) und die Untersuchung des Mehrwerts von Simulationsarenen, insbesondere im Vergleich zu häufigen Simulationen in Seminarräumen ohne Umgebungsdarstellung. Im Rahmen eines Pilotprojekts sollten die Zufriedenheit und die subjektiv wahrgenommene Realitätsnähe der Umgebungsdarstellung durch die SAM mithilfe eines Fragebogens untersucht werden. Da Studien bisher hauptsächlich subjektive Fragebögen verwendet haben, um die Auswirkungen von Simulationsarenen auf Teilnehmende von Simulationstrainings zu untersuchen, wurde eine randomisierte kontrollierte Studie konzipiert, um zu untersuchen, wie sich der Einsatz der SAM während einer fünfminütigen Laien-Reanimation auf das subjektive und objektive Stressempfinden sowie auf die subjektive und objektive

Reanimationsqualität von Medizinstudierenden auswirkt. Unsere Hypothesen lauteten, dass die SAM eine zufriedenstellende und realistische Umgebungsdarstellung bietet und dass das subjektive und objektive Stressempfinden von Medizinstudierenden während einer fünfminütigen Laienreanimation mit Einsatz der SAM stärker ansteigt und die subjektive und objektive Reanimationsqualität stärker abnimmt als ohne Einsatz der SAM.

## 2. Methoden

### 2.1. Entwicklung

Bei der Projektionsfläche der SAM handelt es sich um eine halbrunde gebogene 180° Holzkonstruktion, die aus mehreren Segmenten besteht und mit vier Millimetern matter weißer Farbe beschichtet ist. Die Kurzdistanzbeamer und die Deckenhalterungen wurden so weit entfernt von der Projektionsfläche angebracht, dass durch beide Kurzdistanzbeamer alle Anteile der Projektionsfläche beleuchtet wurden (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Um aus zwei eigenständigen Projektionen der Kurzdistanzbeamer eine gemeinsame Projektion zu ermöglichen, wurden beide Kurzdistanzbeamer mittels der NVIDIA Systemsteuerung über die Funktion „NVIDIA Surround“ im Menü „3D-Einstellungen“ synchronisiert und zu einer einzigen Projektion vereint. Die Immersive Display Software ermöglichte die Anpassung der Projektion an die Rundung und Maße der Projektionsfläche (siehe Abbildung 3). Für die Panorama-Videoaufzeichnungen wurde die Nikon KeyMission 360 4K einen Meter über dem Boden auf einem Stativ befestigt und eine fünfminütige Aufnahme gestartet. Um das 360°-Panoramavideo in ein 180°-Panoramavideo umzuwandeln, wurde es mit dem Videobearbeitungsprogramm iMovie auf einen horizontalen Winkel von 180° zugeschnitten. Bei Bedarf wurden den Videos zusätzliche Töne hinzugefügt. Die Videoaufnahmen können mit dem QuickTime- oder VLC-Player an die Größe der Projektionsfläche angepasst und abgespielt werden. Um einen farblich passenden Untergrund für die Umgebungssimulation zu ermöglichen, wurde außerdem ein dunkelgrauer Teppich verlegt, der auch das Knien der Teilnehmenden angenehmer machen soll. Außerdem wurde ein Ventilator zur Simulation von Wind, sowie eine Nebelmaschine und ein Lichtblitzstroboskop über ein Funkschalt-Set in der Arena angeschlossen (siehe Tabelle 1).

### 2.2. Pilotstudie

Um zu untersuchen, ob das Ziel einer realistischen Umgebungsdarstellung durch die SAM erreicht wird und ob die SAM einen Einfluss auf das Stressempfinden hat, wurde die SAM in einer Pilotstudie im Rahmen zweier Lehrveranstaltungen zur Polytrauma-Versorgung im Magdeburger Ausbildungszentrum für Medizinische Basisfertigkeiten (MAMBA Skillslab) evaluiert. Zwei Simulationsszenarien wurden mit Umgebungsdarstellung durch

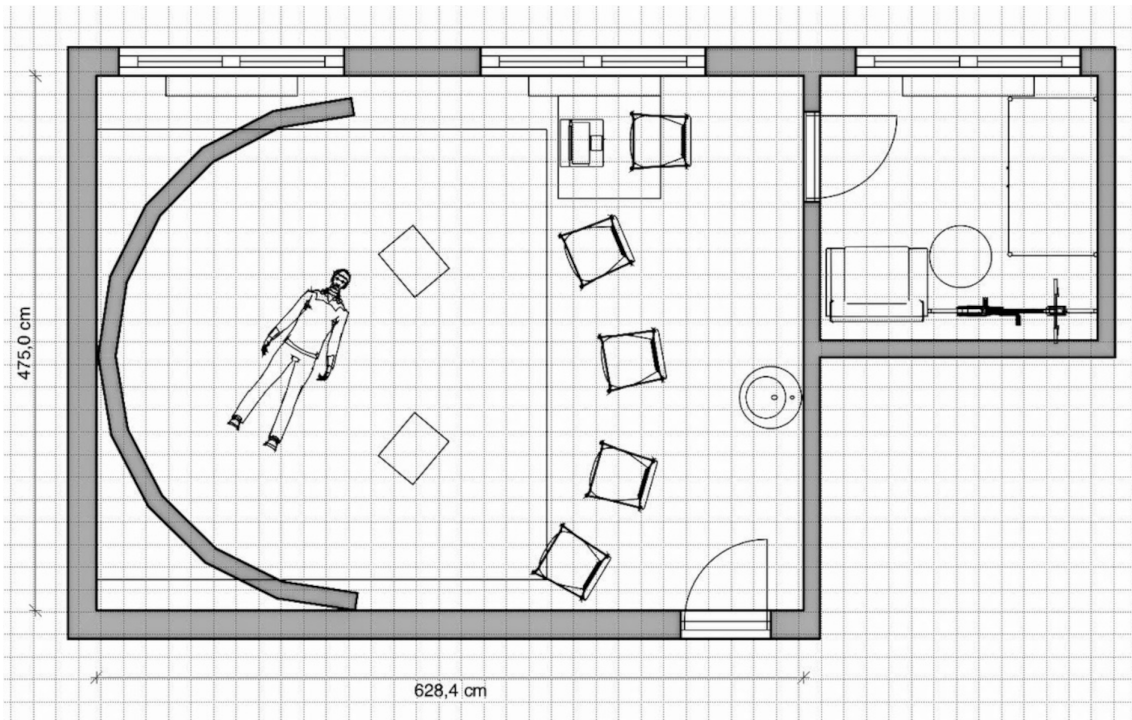


Abbildung 1: Grundriss der SAM (©Leschowski)

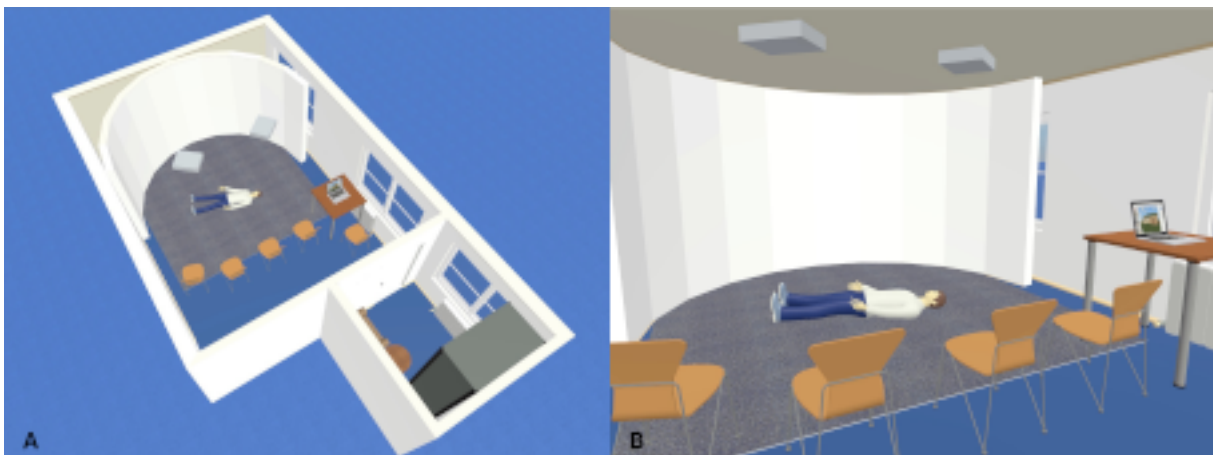


Abbildung 2: 3D-Modell: (A) Übersicht und (B) Innenansicht der SAM (©Leschowski)



Abbildung 3: Wald-Szenario in der SAM (©Leschowski)

Tabelle 1: Material SimArena Magdeburg

Bezeichnung	Menge	Kosten (EUR)
180° Projektionsfläche der Tischlerei Wohltath GmbH & Co. KG bestehend aus mehreren Bogensegmenten, innen mit 4mm weiß Mela beschichtete Platte in den Maßen: Höhe: 2000mm, Radius 2200mm	1	2.388,00
BENQ TH671ST Kurzdistanzbeamer	2	1.338,00
My Wall H16-1WL Deckenhalterung für Beamer	2	66,50
HDMI-Kabel 7 Meter mit vergoldeten Anschlüssen ohne Netzwerkfunktion	2	60,00
Rankie Adapter Mini DisplayPort (Thunderbolt) (Mini DP) auf HDMI, 4K Konverter, Schwarz	1	10,98
Immersive Display Software Pro Advanced USB Dongle	1	250,00
XMG P507 PRO Gam. Laptop 2017 -15.6" Full HD (1920 x 1080) IPS   non-glare   G-SYNC -NVIDIA GeForce GTX 1070   8 GB GDDR5 -Intel Core i7-7700HQ   2,80 - 3,80 GHz   4 Kerne / 8 Threads   6 MB Cache   45 Watt -16 GB (2x8) DDR4 RAM HyperX Impact   2666 MHz -512 GB Samsung 860 Pro Series -Intel Wireless-AC 3168   inkl. Bluetooth 4.2 -Microsoft Windows 10 Pro 64 Bit   Deutsch -Beleuchtete Multicolor Tastatur   Deutsch -Metall-Gehäuse	1	* 3.117,00
Nikon KeyMission 360 4K	1	* 229,95
Manfrotto 5001B Stativ nano schwarz	1	* 54,90
SanDisk ULTRA 200 GB microSDXC	1	* 22,47
Kunstrasen Green Anthrazit Meterware 400 cm 16 qm	1	71,84
EUROLITE N-11 LED-Nebelmaschine, Schwarz	1	49,90
OLYMPIA 98575 FL 037 Lichtblitzstroboskop	1	14,99
OLYMPIA 98814 EDL 01 Mini-Polizeileuchte Weiß	1	6,99
OK. OTF3331W Tischventilator Weiß (40 Watt)	1	19,99
BRENNENSTUHL Comfort-Line RC CE1 3001 Funkschalt-Set	1	24,99
<b>GESAMT</b>		<b>7.726,50</b>

\*Material bereits im Bestand des MAMBA Skillslabs der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

die SAM und zwei Simulationsszenarien in realen, nicht durch die SAM dargestellten, Umgebungen durchgeführt. In der SAM wurde eine Szene in einem Wald und eine Szene an einer stark befahrenen Straße simuliert. Als echte Umgebung fungierten ein Treppenhaus und eine Straße vor dem Ausbildungszentrum. In allen Simulationen mussten die Teilnehmenden eine Laerdal Resusci Anne Q CPR-Ganzkörper mit Airwaykopf im Rahmen eines Polytraumaszenarios versorgen. Im Anschluss an die Szenarien wurde von allen Teilnehmenden ein Fragebogen mit acht Fragen in Form von Likert-Skalen ausgefüllt (siehe Tabelle 2). Drei Fragen wurden erst im zweiten Kurs hinzugefügt.

## 2.3. SIMARENA-Studie

### 2.3.1. Subjektives Stressempfinden

Eine visuelle Analogskala (VAS-S) von 0 mm („kein Stress“) bis 100 mm („maximaler Stress“) diente als pri-

märer Endpunkt des subjektiven Stressempfindens. Als sekundärer Endpunkt fungierte das State-Trait-Angst-Inventar (STAI), welches anhand von zwei Fragebögen zwischen aktueller Angst, die in ihrer Intensität im Laufe der Zeit und in verschiedenen Situationen variiert (STAI-S), und habitueller Angst (STAI-T) unterscheidet [18]. Die Fragebögen bestehen jeweils aus 20 Items auf einer vierstufigen Antwortskala. Die Werte der Items werden aufaddiert, wodurch sich zwei Gesamtpunktzahlen zwischen 20 und 80 ergeben [18]. Die Faktoren „aktuelle Handlungsfähigkeit“ (BEA), „emotionale Spannung“ (TEN), „emotionale Situationsbewertung“ (STIM) und „Selbstkontrolle“ (SPAN) der Eigenzustandsskala nach Nitsch (EZ) wurden als zusätzliche sekundäre Endpunkte untersucht [19], [20]. Die EZ besteht aus 40 Eigenschaftswörtern, die auf einer 6-stufigen Ordinalskala von 1 „kaum“ bis 6 „völlig“ bewertet werden. Nach Überführung der Item-Rohwerte in flächentransformierte z'-Werte werden diese über eine Aufsummierung und eine Stanine-Transformation zu 14 Binärfaktoren in einer dreistufigen Hierarchie

Tabelle 2: SAM-Fragebogen

Frage	Likert-Skala				
	Stimme voll zu	Stimme überwiegend zu	Stimme teilweise zu	Stimme überwiegend nicht zu	Stimme nicht zu
Die Nutzung der SimArena sollte beibehalten werden, um in einer realitätsnahen Umgebung zu trainieren.	81,6% (31/38)	10,5% (4/38)	7,9% (3/38)	0,0%	0,0%
Die SimArena hat zur Wahrnehmung einer realistischen Umgebung beigetragen.	65,8% (25/38)	23,7% (9/38)	10,5% (4/38)	0,0%	0,0%
Die Videoprojektion der SimArena hat zu einer realistischen Umgebungsdarstellung geführt.	50,0% (9/18)	27,8% (5/18)	16,7% (3/18)	5,6% (1/18)	0,0%
Die Umgebungsgeräusche der SimArena haben zu einer realistischen Umgebungsdarstellung geführt.	61,1% (11/18)	11,1% (2/18)	27,8% (5/18)	0,0%	0,0%
Die Requisiten der SimArena haben zu einer realistischen Umgebungsdarstellung geführt.	57,9% (22/38)	28,9% (11/38)	10,5% (4/38)	2,6% (1/38)	0,0%
Die Umgebungsdarstellung der SimArena hat mich gestresst.	13,2% (5/38)	28,9% (11/38)	31,6% (12/38)	10,5% (4/38)	15,8% (6/38)
Die Auseinandersetzung mit der echten Umgebung hat mich gestresst.	21,1% (8/38)	31,6% (12/38)	28,9% (11/38)	5,3% (2/38)	13,2% (5/38)
Frage	Zentralen Sehen	Überwiegend zentralen Sehen	Teilweise zentralen Sehen	Überwiegend peripheren Sehen	Peripheren Sehen
Ich habe die Videoprojektion wahrgenommen mit dem:	5,6% (1/18)	5,6% (1/18)	11,1% (2/18)	44,4% (8/18)	33,3% (6/18)

zusammengefasst [19], [20]. Die Stanine-Skalen von eins bis neun sind so gepolt, dass bei allen Faktoren mit zunehmenden Werten die subjektiv positive Einschätzung der eigenen Handlungslage zunimmt [20]. Der Parameter „aktuelle Handlungsbereitschaft“ (MOT) wurde verwendet, um die Motivationslage der Teilnehmenden vor der Studienintervention zu bestimmen [20].

### 2.3.2. Objektives Stressempfinden

Die kardiale Reaktivität (CR), definiert als die Differenz zwischen der mittleren Herzfrequenz während der Reanimations- und einer Baseline-Phase vor der Reanimation, wurde als primärer Endpunkt des objektiven Stressempfindens verwendet. Zu diesem Zweck wurde eine kontinuierliche Elektrokardiographie mit dem Holter-EKG medilog AR12plus (SCHILLER Medizintechnik GmbH, Obfelden, Schweiz) durchgeführt. Mithilfe der Software medilog DARWIN2 (SCHILLER Medizintechnik GmbH) wurde die elektrische Herzaktivität über drei Ableitungen automatisch erfasst, überprüft und falsch erkannte Herzaktivitäten manuell korrigiert. Sekundäre Endpunkte für das objektive Stressempfinden waren die Herzfrequenz (HR) und folgende Parameter der Herzfrequenzvariabilität

(HRV) während der Reanimation: SDNN (Standardabweichung der NN-Intervalle), SNS-Index (Sympathetic Nervous System Index), SI (Stress Index) und SD2 (Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser). Die HRV-Analyse erfolgte mithilfe der Software Kubios HRV Version 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Universität Kuopio, Finnland). Die Atemfrequenz (RR) unmittelbar nach der Reanimation wurde ebenfalls als sekundärer Endpunkt untersucht und kontinuierlich mit dem Vernier Go Direct Respiratory Belt aufgezeichnet und mit der Software Vernier Graphical Analysis™ 4 ausgewertet. Abschließend wurde das Verhältnis der Alpha-Amylase-Aktivität im Speichel (sAA) unmittelbar nach der Reanimation zum Ruhewert vor der Reanimation als weitere sekundärer Endpunkt für das objektive Stressempfinden herangezogen. Zu diesem Zweck wurden von den Teilnehmenden mittels Salivetten (SARSTEDT) drei Speichelproben aufgefangen. Die Teilnehmenden wurden angewiesen, die Saugrollen der Salivetten zwei Minuten lang in eine Wangentasche zu legen, ohne zu kauen oder zu sprechen [21], [22], [23]. Nach einer Lagerung bei -20°C für maximal drei Tage wurden die Proben einer automatisierten maschinellen In-vitro-Testung mit dem Roche Cobas6000 zugeführt [23], [24], [25]. Dazu wur-

den die Proben bei Zimmertemperatur aufgetaut und zehn Minuten lang bei 4000 Umdrehungen pro Minute bei Raumtemperatur zentrifugiert. Es wurden 10 µl der Probe mit 990 µl Aqua destillata versetzt und nach Kalibrierung des Messsystems mit Aqua destillata und einer Standardlösung zur Kalibrierung von Roche die Messung mittels des c501 Moduls im Serum-Modus begonnen [24]. Die Roche cobas c Systeme berechneten automatisch die Analytaktivität der Probe [24]. Der Umrechnungsfaktor betrug:  $U/L \times 0.0167 = \mu\text{kat}/L$ . Die kinetische Methode beruhte auf der Spaltung von 4,6-Ethyliden-(G7)-1,4-Nitrophenyl-(G1)- $\alpha$ ,D-maltoheptaosid (Ethylidene Protected Substrate=EPS) durch die Alpha-Amylase und die nachfolgende Hydrolyse aller Spaltprodukte mit Hilfe der Alpha-Glucosidase (Hilfsenzym) zu p-Nitrophenol (100% Chromophor-Freisetzung) [24]. Die Farbintensität des gebildeten p-Nitrophenols war direkt proportional zur Alpha-Amylase-Aktivität und wurde durch Messung der Extinktionszunahme bestimmt [24].

### 2.3.3. Subjektive Reanimationsqualität

Als primärer Endpunkt der subjektiven Reanimationsqualität wurde eine visuelle Analogskala von 0 mm („schlechte Reanimation“) bis 100 mm („ausgezeichnete Reanimation“) gewählt, welche von den Teilnehmenden unmittelbar nach der Reanimation ausgefüllt wurde.

### 2.3.4. Objektive Reanimationsqualität

Der primäre Endpunkt der objektiven Reanimationsqualität war der TOTAL-Score (TOTAL), welcher unmittelbar nach der Reanimation von der Laerdal Resusci Anne QCPR und dem Laerdal SimPad PLUS SkillReporter als Gesamtwert für die Reanimationsleistung auf Grundlage der Parameter Kompression, Beatmung und Zeit mit CPR-Aktivität berechnet wurde [26]. Der verwendete Algorithmus wurde von Laerdal Medical in enger Zusammenarbeit mit Mitgliedern des Emergency Cardiovascular Care (ECC) Unterausschusses der American Heart Association (AHA) und Co-Autoren der AHA-Leitlinie für die Herz-Lungen-Wiederbelebung erstellt [27]. Darüber hinaus wurden mehrere Reanimationsparameter als sekundäre Endpunkte gemessen (siehe Tabelle 3) [26]. Als weiterer sekundärer Endpunkt wurde die Checkliste Laienreanimation definiert (siehe Tabelle 4). Diese Checkliste wurde vom Versuchsleiter während der Reanimation ausgefüllt und orientierte sich an den Empfehlungen für die Laienreanimation („BLS-Ablauf bei Erwachsenen“) der Leitlinie von 2015 des Deutschen Rates für Wiederbelebung [28]. Nicht durchgeführte Handlungen wurden als Fehleranzahl festgehalten.

### 2.3.5. Ablaufplan SIMARENA-Studie

Die Studie war in sechs Phasen unterteilt (siehe Abbildung 4). Nach einer fünfminütigen Baseline-Phase, in der die Teilnehmenden angewiesen wurden, ruhig auf einem Stuhl zu sitzen und sich zu entspannen, begann die Prä-

Reanimations-Phase mit den ersten Fragebögen und der ersten Speichelprobe. Die Teilnehmenden wurden instruiert, eine bewusstlose Person in der SAM vorzufinden und nach Überprüfung der Notwendigkeit eine Laienreanimation mit Beatmung durchzuführen. Die Teilnehmenden der Kontrollgruppe (KG) betraten die SAM, welche einen weißen Hintergrund ohne Tonsignal darstellte (siehe Abbildung 5). Den Teilnehmenden der Interventionsgruppe (IG) wurde eine visuelle und akustische Darstellung einer Hauptverkehrsstraße in der SAM geboten (siehe Abbildung 6). Wenn die Teilnehmenden den Rettungsdienst rufen oder einen automatisierten externen Defibrillator anfordern wollten, übernahm der Versuchsleiter diese Aufgaben anhand einer standardisierten Antwortliste (siehe Tabelle 5). Nach fünf Minuten endete die Reanimationsphase und in der Post-Reanimationsphase wurden die nächsten Fragebögen ausgefüllt und eine zweite Speichelprobe entnommen. Nach fünf Minuten begann die zehnminütige Erholungsphase, in welcher die Teilnehmenden angewiesen wurden, sich im Sitzen zu entspannen. Während der Ruhephase wurden den Teilnehmenden die abschließenden Fragebögen vorgelegt und eine letzte Speichelprobe entnommen.

## 2.4. Statistik

Eine a priori Power-Analyse wurde mit dem Programm G\*Power 3: Statistical Power Analyses der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf auf Basis einer Studie von Mills et al. zu den Auswirkungen von notfallmedizinischen Simulationen mit hoher und niedriger Realitätsnähe auf die kardiale Reaktivität durchgeführt [29]. Um statistisch signifikante Ergebnisse hinsichtlich der kardialen Reaktivität als primären Endpunkt des objektiven Stressempfindens zu erhalten, wäre nach diesen Berechnungen eine Gesamtstichprobe von 38 Teilnehmenden erforderlich gewesen. Die Teilnehmenden wurden vor Beginn der Studie mit Hilfe der Software RITA (Randomization In Treatment Arms, StatSol, Lübeck) in eine Interventions- und eine Kontrollgruppe randomisiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit Unterstützung des Instituts für Biometrie und Medizinische Informatik unter Verwendung der Software IBM SPSS Statistics 29 (IBM, Ehningen, Deutschland). Zunächst wurden deskriptive Analysen der Untersuchungsgrößen durchgeführt. Die Überprüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgt mittels des Shapiro-Wilk-Tests. Wiesen die Parameter eine Normalverteilung auf, wurde sich für die Durchführung des Welch-Tests als metrisches Testverfahren entschieden. Wiesen die Parameter keine Normalverteilung auf, wurde der Mann-Whitney-U-Test als nichtmetrisches Testverfahren genutzt. Die Verteilung wurde nach Standardisierung der Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei Stichproben geprüft. Die Effektstärke wurde nach metrischen Verfahren mittels Cohen's d und bei nicht-metrischen Verfahren mittels des Pearson Korrelationskoeffizienten r bestimmt.

Tabelle 3: Ergebnisse objektive Reanimationsqualität

Endpunkte	IG Mw (SD)	KG Mw (SD)	t(df)	95%-CI der Differenz	p1
TOTAL (Kompression, Beatmung & Zeit CPR Tätigkeit) (%)	49,7 (24,2)	49,9 (27,7)	t(43,907) = -0,022	(-15,6, 15,3)	0,491
Kompressionen (n)	360,9 (48,3)	345,7 (60,5)	t(43,901) = 0,944	(-17,2, 47,5)	0,175
Drucktiefe-Mittelwert (mm)	50,6 (10,1)	48,2 (10,1)	t(42,688) = 0,807	(-3,6, 8,4)	0,788
Mittelwert Kompressionsfrequenz (n/min)	111,0 (9,9)	111,3 (18,0)	t(38,478) = -0,078	(-8,8, 8,2)	0,531
Endpunkte	IG Mdn	KG Mdn	U	Z	p1
Kompressionswert (%)	52,00	56,00	260,500	-0,044	0,485
Beatmungswert (%)	19,00	7,00	217,500	-1,004	0,839
Kompressionen mit richtiger Handposition (%)	94,00	100,00	166,500	-2,263	<b>0,012</b>
Kompressionen mit korrekter Entlastung (%)	84,00	72,00	257,500	-0,111	0,542
Ausreichend tiefe Kompressionen (%)	83,00	68,00	227,500	-0,775	0,777
Kompressionen mit korrekter Frequenz (%)	78,00	28,00	146,000	-2,575	0,995
Durchschnittsvolumen (ml)	621,00	440,00	243,500	-0,423	0,660
Beatmungen, die das max. Volumen überschreiten (%)	37,00	4,00	226,000	-0,846	0,202
Korrekte Beatmungen (%)	6,00	25,00	223,000	-0,894	0,189
Beatmungen, die das min. Volumen nicht erreichen (%)	5,00	6,00	256,500	-0,138	0,552
Fehleranzahl (n) nach Checkliste	2,00	1,00	160,000	-2,348	<b>0,009</b>

Interventionsgruppe (IG); Kontrollgruppe (KG); Mittelwert (Mw); Standardabweichung (SD); t-Wert (t); Freiheitsgrade (df); Konfidenzintervall (CI); Median (Mdn); Mann-Whitney-U-Statistik (U); Z-Statistik (Z); p-Wert 1-seitig (p1)

Tabelle 4: Checkliste Laienreanimation

Schritte	Schritt durchgeführt?	
Prüfen, ob die Person reagiert	Ja	Nein
Atemweg freimachen	Ja	Nein
Atmung kontrollieren	Ja	Nein
Rettungsdienst alarmieren (lassen)	Ja	Nein
AED holen lassen	Ja	Nein
Kleidung öffnen	Ja	Nein
Herzdruckmassage und Beatmung beginnen	Ja	Nein

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Pilotstudie

Die SAM wurde mit Entwicklungskosten von 7.726,50 Euro konstruiert (siehe Tabelle 1). Alle 38 Teilnehmenden haben den Fragebogen der Umfrage ausgefüllt. Die meisten Teilnehmenden waren Medizinstudierende des dritten bis fünften Studienjahres. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass die SAM durch die Videoprojektion, die Umgebungsgeräusche und die verwendeten Requisiten zu einer realistischen Wahrnehmung der Umgebung

beigetragen hat. Die Videoprojektionen wurden überwiegend mit dem peripheren Sehen wahrgenommen und während der Simulationen in der SAM wurde von den Teilnehmenden von subjektivem Stressempfinden berichtet (siehe Tabelle 2).

#### 3.2. SIMARENA-Studie

An der SIMARENA-Studie nahmen 46 Medizinstudierende des klinischen Studienabschnittes teil. 21 Studierende wurden in die Interventions- (IG) und 25 in die Kontrollgruppe (KG) randomisiert. Abgesehen von der Geschlecht-

Phase	Dauer	Messwerte	Fragebögen
Vorbereitung	15 Minuten	RR, HR, HRV	Probandenformular
Baseline	5 Minuten	RR, HR, HRV	
Prä-Reanimation	10 Minuten	RR, HR, HRV	sAA
Reanimation	5 Minuten	RR, HR, HRV	TOTAL
Post-Reanimation	5 Minuten	RR, HR, HRV	sAA
Erholung	10 Minuten	RR, HR, HRV	VAS-S, STAI-S, EZ, VAS-R
Ruhe	5 Minuten	RR, HR, HRV	sAA
			VAS-S, STAI-S

Abbildung 4: Ablaufplan der SIMARENA-Studie (©Leschowski)



Abbildung 5: Simulationsumgebung der Kontrollgruppe in der SAM (©Leschowski)



Abbildung 6: Simulationsumgebung der Interventionsgruppe in der SAM (©Leschowski)

Tabelle 5: Standardisierte Antworten auf Rückfragen der Versuchsperson

Frage	Antwort
Was ist passiert?	Er ist einfach umgefallen.
Können Sie Hilfe holen?	Ja, ich schaue nach Hilfe.
Können Sie den Rettungsdienst rufen?	Ja, ich rufe den Rettungsdienst.
Können Sie die Herzdruckmassage durchführen?	Nein, ich habe einen Arm gebrochen. Ich schaue nach weiteren Helfern. Bitte führen Sie die Herzdruckmassage fort, solange Sie können.
Können Sie einen AED holen?	Ja, ich gehe los und hole einen AED.
Können Sie beatmen?	Nein, tut mir leid, das traue ich mir nicht zu.

terverteilung gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede. Es wurden mehr Frauen als Männer der Interventionsgruppe zugeordnet (IG: 61,9%, KG: 44,0%, siehe Tabelle 6). Aufgrund technischer Störungen während der Untersuchungen oder mehr als einem Prozent an Extrasystolen im EKG wurden insgesamt fünf HR- (IG: 3, KG: 2) und sechs RR-Aufzeichnungen (IG: 3, KG: 3) aus der Endauswertung ausgeschlossen [30], [31]. Die VAS-S der Post-Reanimation als primärer Endpunkt des subjektiven Stressempfindens zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen der IG und KG (siehe Abbildung 7).

Auch die EZ-Parameter BEA, TEN, STIM und SPAN der Post-Reanimation als sekundäre Endpunkte des subjektiven Stressempfindens zeigten signifikante Unterschiede zwischen der IG und KG. Der sekundäre Endpunkt STAI-S der Post-Reanimation zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen der IG und KG (siehe Tabelle 7). Die kardiale Reaktivität als primärer Endpunkt für das objektive Stressempfinden zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der IG und KG (siehe Abbildung 8). Die HR und HRV-Parameter SDNN, SNS, SI und SD2 sowie die RR-Differenz zwischen der Post-Reanimations- und der Baseline-Phase sowie die RR der Post-Reanimations-Phase zeigten als sekundäre Endpunkte ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen der IG und KG. Das sAA-Verhältnis zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der IG und der KG (siehe Tabelle 8). Die VAS-R als primärer Endpunkt der subjektiven Reanimationsqualität und der TOTAL-Score als primärer Endpunkt für die objektive Reanimationsqualität zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen der IG und KG (siehe Tabelle 3 und Tabelle 9). Die anderen Reanimationsparameter zeigten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme der Kompressionen mit korrekter Handposition und der Fehleranzahl nach Reanimations-Checkliste (siehe Tabelle 3 und Abbildung 9).

## 4. Diskussion

### 4.1. Entwicklung der SAM

Mit Entwicklungskosten von 7.726,50 Euro ist die SAM die erste kostengünstige Simulationsarena in Deutschland [7], [8]. Aufgrund der geringeren Ausgaben ist die Qualität der Videoaufnahmen, Videoprojektionen und Umgebungsgeräusche jedoch geringer als in vergleichbaren Simula-

tionsarenen [1], [2], [3]. Der Durchmesser der SAM ist aufgrund der räumlichen Gegebenheiten ebenfalls etwas kleiner als der Durchmesser vergleichbarer Simulationsarenen [1], [5], [6], [7], [8], [10]. Um genügend Platz für die Simulation zu bieten, verfügt die SAM über eine 180°-Projektionsfläche anstelle einer 270°-Projektionsfläche [1], [3], [4], [5], [7]. In Zukunft könnte die Qualität der Umgebungsdarstellung durch den Einsatz mehrerer paralleler Kameras zur Umgebungsaufzeichnung, einer größeren Anzahl an Kurzdistanzbeamern oder mehrerer LCD-Monitore, die die Simulationsarena als Bildschirme umgeben, sowie durch stereoskopische dreidimensionale Projektionen weiter verbessert werden. Die Integration von Surround-Sound-Systemen und Duftgeneratoren hat ebenfalls das Potenzial, das immersive Simulationserlebnis weiter zu verstärken. Zu diesem Thema besteht weiterer Forschungsbedarf [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [32]. Im Gegensatz zu den Simulationsarenen in Münster und Essen, die mit externen Partnern entwickelt wurden, wurde die SAM in Eigenregie gebaut und verfügt über keinen externen technischen Ansprechpartner [1], [2], [5], [6]. Sollten Schwierigkeiten bei der Anpassung der Videoprojektionen an die gebogene Leinwand auftreten, kann Unterstützung bei der Firma Fly Elise-ng angefragt werden. Die SAM wird regelmäßig für curriculare und fakultative Lehrveranstaltungen im Bereich der Notfallmedizin an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und am Universitätsklinikum Magdeburg eingesetzt.

### 4.2. Pilotstudie

Die Umfrageergebnisse zeigen eine hohe Zufriedenheit der Studierenden mit der SAM, die sich auch in den Bewertungen vergleichbarer Simulationsarenen widerspiegelt [7], [8], [9], [13]. Die Ergebnisse der Umfrage deuten auch darauf hin, dass der Einsatz der SAM zur Wahrnehmung einer realistischen Umgebung und von Stress beigetragen hat. Dies wird auch in anderen Studien beschrieben [7], [8], [9], [13]. Unsere Hypothese, dass die SAM eine zufriedenstellende und realistische Umgebungsdarstellung liefern würde, konnte somit angenommen werden.



Tabelle 6: Stichprobenbeschreibung SIMARENA-Studie

	IG	KG			
Anzahl (n)	21	25			
Weiblich (n)	13 (61,9%)	11 (44,0%)			
Männlich (n)	8 (38,1%)	14 (56,0%)			
Demografie	IG Mdn	KG Mdn	U	Z	p
Alter (Jahre)	25,00	25,00	261,000	-0,033	0,978
Studienjahr (Jahr)	5,00	5,00	238,500	-0,549	0,599
Größe (cm)	170,00	176,00	259,000	-0,077	0,943
Gewicht (kg)	65,00	71,00	232,000	-0,673	0,508
Zeit seit dem letzten Reanimationskurs (Monate)	12,00	15,00	202,500	-1,331	0,187
Vorherige Kurse in der SAM (Anzahl)	0,00	0,00	248,500	-0,342	0,746
STAI-T der Prä-Reanimation (Punkte)	31,00	32,00	248,000	-0,320	0,755
Endpunkte	IG Mdn	KG Mdn	U	Z	p
VAS-S der Prä-Reanimation (mm)	11,00	8,00	185,000	-1,717	0,087
STAI-S der Prä-Reanimation (Punkte)	31,00	30,00	202,500	-1,326	0,188
Beanspruchung der Prä-Reanimation (Stanine-Wert)	7,00	7,00	261,500	-0,023	0,987
Tension der Prä-Reanimation (Stanine-Wert)	7,00	6,00	247,500	-0,336	0,744
Stimmungslage der Prä-Reanimation (Stanine-Wert)	8,00	7,00	246,500	-0,361	0,726
Spannungslage der Prä-Reanimation (Stanine-Wert)	6,00	6,00	259,000	-0,078	0,947
Motivation der Prä-Reanimation (Stanine-Wert)	7,00	7,00	258,000	-0,101	0,925
SDNN der Baseline (ms)	70,07	69,47	198,000	-0,236	0,825
sAA der Prä-Reanimation (µkat/L)	2731,00	3912,00	200,000	-1,378	0,171
Endpunkte	IG Mw (SD)	KG Mw (SD)	t(df)	95%-CI der Differenz	p
HR der Baseline (bpm)	80,9 (16,0)	79,4 (9,1)	t(25,492) = 0,359	(-7,2, 10,2)	0,722
SNS der Baseline	1,0 (1,4)	0,9 (1,0)	t(29,003) = 0,416	(-0,6, 1,0)	0,680
SI der Baseline	8,9 (2,3)	8,6 (2,8)	t(38,782) = 0,353	(-1,3, 1,9)	0,726
SD2 der Baseline (%)	99,2 (32,2)	104,8 (34,7)	t(37,794) = -0,531	(-26,8, 15,7)	0,599
RR der Baseline (brpm)	13,1 (2,4)	12,9 (3,0)	t(37,970) = 0,230	(-1,5, 1,9)	0,819

Interventionsgruppe (IG); Kontrollgruppe (KG); Median (Mdn); Mann-Whitney-U-Statistik (U); Z-Statistik (Z); p-Wert (p); Mittelwert (Mw); Standardabweichung (SD); t-Wert (t); Freiheitsgrade (df); Konfidenzintervall (CI)

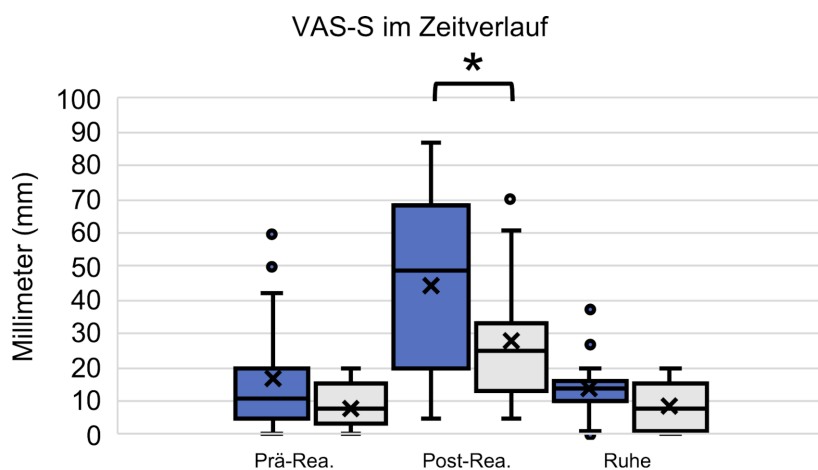


Abbildung 7: VAS-S im Zeitverlauf (blau: IG; grau: KG)

Tabelle 7: Ergebnisse subjektives Stressempfinden

Endpunkte	IG Mdn	KG Mdn	U	Z	p1
VAS-S der Post-Reanimation (mm)	49,00	25,00	160,500	-2,252	<b>0,012</b>
STAI-S der Post-Reanimation (Punkte)	37,00	35,00	216,500	-1,016	0,158
BEA der Post-Reanimation (Stanine-Wert)	5,00	6,00	181,500	-1,815	<b>0,035</b>
TEN der Post-Reanimation (Stanine-Wert)	5,00	7,00	169,000	-2,096	<b>0,019</b>
STIM der Post-Reanimation (Stanine-Wert)	5,00	7,00	175,500	-1,944	<b>0,027</b>
SPAN der Post-Reanimation (Stanine-Wert)	4,00	5,00	183,000	-1,783	<b>0,037</b>

Interventionsgruppe (IG); Kontrollgruppe (KG); Median (Mdn); Mann-Whitney-U-Statistik (U); Z-Statistik (Z); p-Wert 1-seitig (p1); Mittelwert (Mw); Standardabweichung (SD); t-Wert (t); Freiheitsgrade (df); Konfidenzintervall (CI)

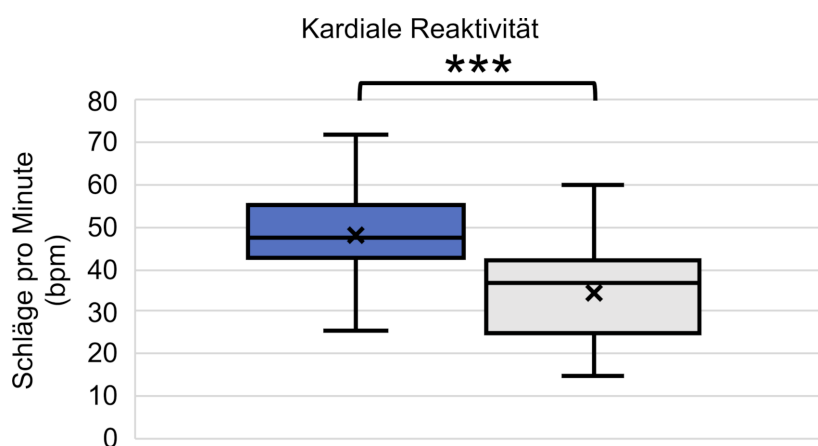


Abbildung 8: Kardiale Reaktivität (blau: IG; grau: KG)

Tabelle 8: Ergebnisse objektives Stressempfinden

Endpunkte	IG Mw (SD)	KG Mw (SD)	t(df)	95%-CI der Differenz	p1
CR (bpm)	48,3 (13,1)	34,7 (11,5)	t(34,048) = 3,505	(5,75, 21,60)	< 0,001
HR der Reanimation (bpm)	129,3 (23,0)	114,1 (14,5)	t(27,250) = 2,452	(2,48, 27,90)	0,010
SDNN der Reanimation (ms)	40,2 (14,7)	51,0 (16,1)	t(37,985) = -2,238	(-20,56, -1,03)	0,016
SNS der Reanimation	6,4 (2,7)	4,5 (1,8)	t(28,292) = 2,511	(0,35, 3,42)	0,009
SI der Reanimation	18,9 (5,9)	15,5 (4,1)	t(29,363) = 2,071	(0,04, 6,71)	0,024
SD2 der Reanimation (ms)	52,0 (20,9)	68,7 (22,8)	t(37,947) = -2,440	(-30,58, -2,85)	0,010
RR-Differenz der Post-Reanimation - Baseline (brpm)	5,2 (3,2)	3,3 (2,6)	t(32,831) = 2,063	(0,03, 3,79)	0,024
RR der Post-Reanimation (brpm)	18,3 (3,1)	16,2 (3,1)	t(36,511) = 2,167	(0,14, 4,07)	0,018
sAA-Verhältnis Post-Reanimation/Prä-Reanimation (%)	114,7 (51,0)	107,1 (50,6)	t(42,503) = 0,502	(-22,80, 37,91)	0,309

Interventionsgruppe (IG); Kontrollgruppe (KG); Mittelwert (Mw); Standardabweichung (SD); t-Wert (t); Freiheitsgrade (df); Konfidenzintervall (CI); p-Wert 1-seitig (p1)

Tabelle 9: Ergebnisse subjektive Reanimationsqualität

Endpunkt	IG Mdn	KG Mdn	U	Z	p1
VAS-R der Post-Reanimation (mm)	75,0	76,5	233,500	-0,423	0,340

Interventionsgruppe (IG); Kontrollgruppe (KG); Median (Mdn); Mann-Whitney-U-Statistik (U); Z-Statistik (Z); p-Wert 1-seitig (p1)

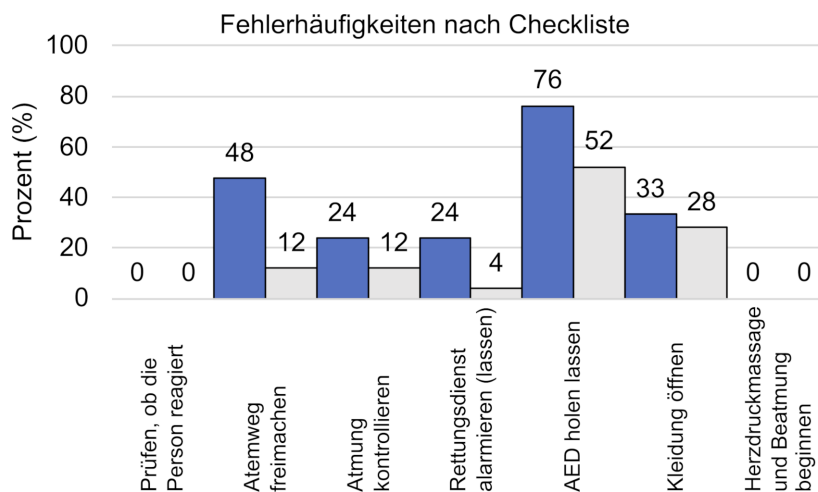


Abbildung 9: Fehlerhäufigkeiten nach Checkliste (blau: IG; grau: KG)

### 4.3. SIMARENA-Studie

#### 4.3.1. Subjektives Stressempfinden

Die signifikant höheren VAS-S-Werte in der IG unmittelbar nach der Reanimation lassen vermuten, dass die Umgebungsdarstellung durch die SAM zu einer Zunahme des subjektiven Stressempfindens beiträgt. Dieser Effekt wurde auch bereits in vergleichbaren Studien berichtet [7], [9], [13]. Die deutlich reduzierten Parameter BEA, TEN, STIM und SPAN der EZ stützen dieses Ergebnis. Im Gegensatz dazu zeigte das STAI-S keinen signifikanten

Unterschied zwischen der IG und KG. In der Literatur zeigen Vergleiche zwischen Simulationen mit hoher und niedriger Realitätsnähe oft keine signifikanten Unterschiede des STAI-S [17], [33]. In einigen Studien wurde ein signifikanter Anstieg des STAI-S festgestellt, wenn zusätzlicher Stress nicht durch Veränderungen der virtuellen Umgebungsbedingungen, sondern durch Veränderungen im Verhalten der Darsteller oder die wahrgenommene Gefahr von Verletzungen hervorgerufen wurde [34], [35], [36]. Unsere Hypothese, dass das subjektive Stressempfinden von Medizinstudierenden während einer fünfminütigen Laienreanimation mit Einsatz der SAM stärker an-

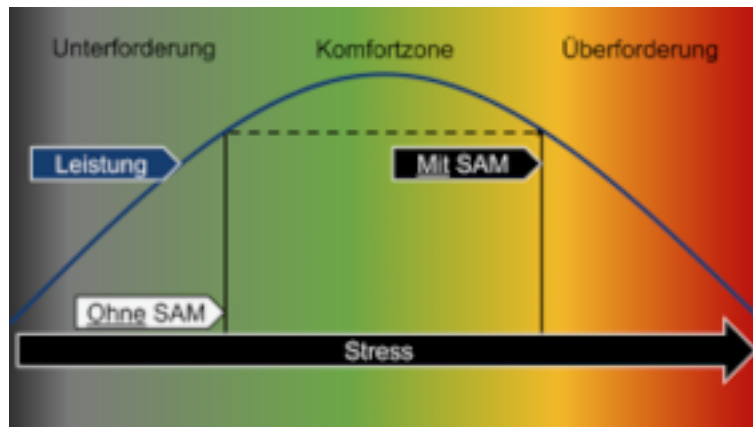


Abbildung 10: Einfluss der SAM nach der Yerkes-Dodson-Theorie

steigt als ohne Einsatz der SAM, konnte somit bestätigt werden.

#### 4.3.2. Objektives Stressempfinden

Der signifikante Anstieg der CR als primärer Endpunkt des objektiven Stressempfindens deutet darauf hin, dass die SAM auch objektiv zur Erhöhung des Stressempfindens beiträgt. In der Literatur finden sich ebenfalls signifikant erhöhte CR- und HR-Werte [29], [34]. Die signifikanten Veränderungen der HRV und der signifikante Anstieg der Atemfrequenz als sekundäre Endpunkte bestätigen dieses Ergebnis. Tramer et al. haben in der Vergangenheit bereits eine signifikante Verringerung der SDNN während psychischem Stress bei Wiederbelebensmaßnahmen gezeigt [37]. Es ist unbedingt zu berücksichtigen, dass die Geschlechterverteilung in der Interventions- und Kontrollgruppe unterschiedlich ist, da Frauen im Allgemeinen eine höhere Herzfrequenz aufweisen als Männer. Studien zu HRV-Parametern haben jedoch widersprüchliche Ergebnisse geliefert. Einige Studien haben bei Frauen eine erhöhte parasympathische Aktivität im Vergleich zu Männern beobachtet, während andere eine erhöhte sympathische Grundaktivität bei Frauen festgestellt haben [30], [31]. Das Verhältnis der sAA von der Post- zur Prä-Reanimations-Phase zeigte keinen signifikanten Anstieg zwischen der IG und der KG. Während einige Studien ähnliche Ergebnisse aufzeigen, konnten andere einen signifikanten Anstieg der sAA feststellen [22], [25], [38], [39], [40]. Aufgrund großer Unterschiede in den Mittelwerten sowie teilweise negativer Ergebnisse muss jedoch von einer großen interindividuellen Streubreite der sAA ausgegangen werden [21], [22], [38]. Die sAA-Messungen könnten auch durch die körperliche Anstrengung während der Reanimation oder den zirkadianen Rhythmus der sAA beeinflusst worden sein [38], [41], [42]. Darüber hinaus ist zu beachten, dass in der Literatur unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Lagerung und Verarbeitung der Speichelproben bestehen [21], [22], [23], [38], [40]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Hypothese, dass das objektive Stressempfinden von Medizinstudierenden während einer fünfminütigen Laienreanimation

mit Einsatz der SAM stärker ansteigt als ohne Einsatz der SAM, angenommen werden kann.

#### 4.3.3. Reanimationsqualität

Da der TOTAL-Score, die VAS-R und die sekundären Endpunkte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der IG und der KG zeigten, konnte unsere Hypothese, dass die subjektive und objektive Reanimationsqualität von Medizinstudierenden während einer fünfminütigen Laienreanimation mit Einsatz der SAM stärker abnimmt als ohne Einsatz der SAM, nicht bestätigt werden. Die Literatur deutet jedoch darauf hin, dass sich die Versorgungsqualität aufgrund eines erhöhten Stressniveaus während Simulationen verschlechtert [9], [13], [17]. Diese Diskrepanz, bei der offenbar das subjektive und objektive Stressempfinden in der IG erhöht waren, ohne dass dies mit einer entsprechenden Verringerung der Reanimationsqualität einherging, lässt sich möglicherweise durch die Yerkes-Dodson-Theorie erklären. Die KG hat die Simulation ohne Einsatz der SAM möglicherweise in einem Zustand der Unterstimulation mit Erreichen derselben subjektiven und objektiven Reanimationsqualität erlebt wie die IG, welche sich aufgrund des Einsatzes der SAM bereits in einem beginnenden Zustand der Überstimulation auf der Yerkes-Dodson-Kurve befand (siehe Abbildung 10) [43]. Die statistisch signifikante Verringerung der Kompressionen mit korrekter Handposition und die signifikant erhöhte Fehlerquote in der IG als sekundäre Endpunkte könnten erste Anzeichen für eine verminderte Reanimationsqualität im Zusammenhang mit dem durch die SAM verursachten erhöhten Stressempfinden sein. Wier et al. zeigten jedoch auch, dass Aspekte der Teamkommunikation, der Teamleistung und der Führung, welche in der SIMARENA-Studie nicht untersucht wurden, durch Simulationen in Simulationsarenen maßgeblich beeinträchtigt werden [9].

#### 4.3.4. Limitationen

Die Aussagekraft der Ergebnisse der Pilotstudie hätte durch die Auswahl vergleichbarer Umgebungen für die Umgebungsdarstellung durch die SAM und die realen Umgebungen erhöht werden können. Letztendlich sollte

die Pilotstudie beantworten, ob die SAM subjektiv eine hohe Zufriedenheit bei den Teilnehmenden erzeugt, ob eine realistische Umgebung dargestellt werden kann und ob eine Simulation in der SAM das Stressempfinden erhöht. Es ist auch zu beachten, dass die Pilotstudie und die SIMARENA-Studie nicht verblindet waren. Insgesamt nahmen nur wenige Studierende mit unterschiedlichem Ausbildungsstand freiwillig an den Untersuchungen teil, was auch auf eine hohe Vorselektion hindeuten kann. Daher lassen sich die Ergebnisse nicht auf Rettungsdienstpersonal verallgemeinern. Andere Videoprojektionen, Änderungen der Umgebungsgeräusche sowie der Einsatz von Requisiten, Wind und Nebel hätten das Stressempfinden und die Reanimationsqualität verändern können. Insgesamt vergleichen die Studien Simulationen ohne zusätzliche Umgebungsdarstellung mit Simulationen mit einer Umgebungsdarstellung durch die SAM. Dieser Ansatz wurde gewählt, weil er den zusätzlichen Vorteil einer Simulationsarena untersucht.

## 5. Schlussfolgerung

Die SAM ist die erste kostengünstige 180° Simulationsarena in Deutschland, die notfallmedizinische Simulationen in einer realistischen, sicheren, schnell austauschbaren und standardisierten Umgebung ermöglicht. Sie erhöht das Stressempfinden, ohne die Reanimationsqualität zu beeinträchtigen und bietet eine optimale Lernumgebung, in der das Stressniveau durch verschiedene Parameter an die Lernziele der Teilnehmenden angepasst werden kann.

## ORCIDs der Autor\*innen

- Niklas Leschowski: [0000-0001-5319-7079]
- Sabine Darius: [0000-0002-8404-6406]
- Irina Böckelmann: [0000-0002-3905-3527]
- Katrin Borucki: [0000-0003-3648-2657]
- Rüdiger C. Braun-Dullaes: [0000-0003-3888-6532]

## Danksagungen

Wir bedanken uns bei Frau Dr. Winkler-Stuck, Frau Korinna Wendt, dem Studiendekanat, der Kommission für Studium und Lehre und dem Fachschaftsrat für ihre Unterstützung bei der Entwicklung und Umsetzung der SimArena Magdeburg.

## Interessenkonflikt

Die Autor\*innen erklären, dass sie keinen Interessenkonflikt im Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

## Literatur

1. Marschall B. "Beam me in, Scotty": das SimuScape®. Münster: Universität Münster, medcampus; 2008. Zugänglich unter/available from: <https://medcampus.uni-muenster.de/5082.html>
2. Medizinische Fakultät Universität Duisburg-Essen. SimArena - Die etwas andere Lernerfahrung. Duisburg, Essen: Universität Duisburg-Essen, Med. Fakultät; 2015. Zugänglich unter/available from: <https://www.uni-due.de/~ht0209/lab2014/lehrende/das-skillslab-im-lehr-und-lernzentrum/simarena/>
3. Fidrich A, Grondstein R, Groetschel H. Innovative Technik in der praktischen Lehre: Eine interaktive Vorstellung der SimArena des SkillsLab Essen. Internationales SKILLSLAB Symposium Internationalisierung von SkillsLabs. 2015. p.51-52. Zugänglich unter/available from: [https://student.uniklinikum-leipzig.de/lernklinik/doc/Skillslab\\_Symposium\\_2015.pdf](https://student.uniklinikum-leipzig.de/lernklinik/doc/Skillslab_Symposium_2015.pdf)
4. Crasmöller M, Fritze-meier S, Fidrich A, Groetschel H. Notfall Simulation – Implementierung von „SimKursen“ im SkillsLab Essen. In: Jahrestagung der Gesellschaft für Medizinische Ausbildung (GMA). Bern, 14-17.09.2016 Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2016. DocP5-691. DOI: 10.3025/16gma340
5. Kaplow M. SimuScape: Virtuelle Trainingsumgebung für medizinische Alltagssituationen. idw - Informationsdienst Wissenschaft. 20.11.2008. Zugänglich unter/available from: <https://idw-online.de/de/news289953>
6. Marschall B. Zum Hausbesuch ins „Holo-Deck“: Eröffnung des ambulanten Bereichs im Studienhospital Münster. Münster: Universität Münster, medcampus; 2008. Zugänglich unter/available from: <https://medcampus.uni-muenster.de/4067.html>
7. Thies AL, Weissenstein A, Haulsen I, Marschall B, Friederichs H. Experiences with a simulated learning environment - the SimuScape®: Virtual environments in medical education. J Technol Sci Educ. 2014;4(1). DOI: 10.3926/jotse.88
8. Goolsby C, Vest R, Goodwin T. New Wide Area Virtual Environment (WAVE) Medical Education. Mil Med. 2014;179(1):38-41. DOI: 10.7205/MILMED-D-13-00310
9. Wier GS, Tree R, Nusr R. Training Effectiveness of a Wide Area Virtual Environment in Medical Simulation. Simul Healthc. 2017;12(1):28-40. DOI: 10.1097/SIH.000000000000207
10. Liu A, Acosta E, Cope J, Henry V, Reyes F, Bradascio J, Wesley Meek. The Wide Area Virtual Environment: A New Paradigm for Medical Team Training. In: Schmorow D, Fidopiastis C, editors. Augmented Cognition: Users and Contexts. AC 2018. Cham: Springer Verlag; 2018. (Lecture Notes in Computer Science; 10916). p.293-304. DOI: 10.1007/978-3-319-91467-1\_23
11. Urban B, Lazarovici M, Sandmeyer B. Simulation in der Notfallmedizin – stationäre Simulation. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. Simulation in der Medizin. Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.309-335. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_23
12. Friedrich T, Langner M, Sigmund P. Simulation in der Rettungsdienstausbildung. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. Simulation in der Medizin. Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.435-443. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_29
13. Wilkerson W, Avstreich D, Gruppen L, Beier KP, Woolliscroft J. Using immersive simulation for training first responders for mass casualty incidents. Acad Emerg Med. 200;15(11):1152-1159. DOI: 10.1111/j.1553-2712.2008.00223.x
14. Gisin S. Bitte einsteigen: Das Simulationserlebnis startet hier. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. Simulation in der Medizin. Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.249-260. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_18

15. Hoitz J, Braun M, Schneiderei L, Jurić M, Görsch C, Röhrborn K. Simulationsausbildung im Sanitätsdienst der Bundeswehr. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2018. p.409-433. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_28
16. Stein D, Schwerdtfeger K, Nickel EA, Russo SG. Wie im wahren Leben: Simulation und Realitätsnähe. In: St. Pierre M, Breuer G, editors. *Simulation in der Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018. p.131-142. DOI: 10.1007/978-3-662-54566-9\_11
17. Vincent A, Semmer NK, Becker C, Beck K, Tschan F, Bobst C, Schuetz P, Marsch S, Hunziker S. Does stress influence the performance of cardiopulmonary resuscitation? A narrative review of the literature. *J Crit Care*. 2021;63:223-230. DOI: 10.1016/j.jcrc.2020.09.020
18. Laux L, Glanzmann P, Schaffner P, Spielberger CD. *Das State-Trait-Angstinventar (STAI): theoretische Grundlagen und Handanweisung*. Weinheim: Beltz; 1981.
19. Minow A, Böckelmann I. Beanspruchung, objektive Leistung und Gebrauchstauglichkeit bei simulierten Montageprozessen mit digitalen Arbeitsanweisungen. *Zentralbl Arbeitsmed Arbeitsschutz Ergon*. 2020;70(2):47-56. DOI: 10.1007/s40664-019-00372-8
20. Nitsch JR, Udris I. Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) - Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: Nitsch JR, editor. *Eigenzustandsskala (EZ-Skala): ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung*. 1. Auflage. Bad Homburg: Limpert-Verlag; 1976. p.81-102.
21. Dias RD, Scalabrini-Neto A. Acute stress in residents playing different roles during emergency simulations: a preliminary study. *Int J Med Educ*. 2017;8:239-243. DOI: 10.5116/ijme.5929.60f1
22. Daglius Dias R, Scalabrini Neto A. Stress levels during emergency care: A comparison between reality and simulated scenarios. *J Crit Care*. 2016;33:8-13. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.02.010
23. Engert V, Vogel S, Efanov SI, Duchesne A, Corbo V, Ali N, Pruessner JC. Investigation into the cross-correlation of salivary cortisol and alpha-amylase responses to psychological stress. *Psychoneuroendocrinology*. 2011;36(9):1294-1302. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2011.02.018
24. Roche Diagnostics GmbH. cobas AMYL2. 2019. p.1-5. Zugänglich unter/available from: [https://labogids.sintmaria.be/sites/default/files/files/amy2\\_2018-12\\_v10.pdf](https://labogids.sintmaria.be/sites/default/files/files/amy2_2018-12_v10.pdf)
25. Takai N, Yamaguchi M, Aragaki T, Eto K, Uchihashi K, Nishikawa Y. Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults. *Arch Oral Biol*. 2004;49(12):963-968. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2004.06.007
26. Laerdal. *SimPad Benutzerhandbuch*. 2016. Zugänglich unter/available from: [https://cdn.laerdal.com/downloads/f4391/ug\\_simpad-\(d\).pdf](https://cdn.laerdal.com/downloads/f4391/ug_simpad-(d).pdf)
27. Laerdal Medical. *Laerdal Scoring*. 2020.
28. Deutscher Rat für Wiederbelebung - German Resuscitation Council e.V. *Reanimation 2015 - Leitlinien kompakt*. Ulm: Deutscher Rat für Wiederbelebung - German Resuscitation Council e.V.; 2015. Zugänglich unter/available from: <https://www.grc-org.de/downloads/GRC-Leitlinien-2015-Kompakt.pdf>
29. Mills BW, Carter OBJ, Rudd CJ, Claxton LA, Ross NP, Strobel NA. Effects of Low- Versus High-Fidelity Simulations on the Cognitive Burden and Performance of Entry-Level Paramedicine Students: A Mixed-Methods Comparison Trial Using Eye-Tracking, Continuous Heart Rate, Difficulty Rating Scales, Video Observation and Interviews. *Simul Healthc*. 2016;11(1):10-18. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000119
30. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M. Occupational medical guideline. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed*. 2015:1-15.
31. Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I. Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed*. 2016;51(2):123-141.
32. Bowyer MW, Streete KA, Muniz GM, Liu AV. Immersive Virtual Environments for Medical Training. *Semin Colon Rectal Surg*. 2008;19(2):90-97. DOI: 10.1053/j.scrs.2008.02.005
33. Piquette D, Tarshis J, Sinuff T, Fowler RA, Pinto R, Leblanc VR. Impact of Acute Stress on Resident Performance During Simulated Resuscitation Episodes: A Prospective Randomized Cross-Over Study. *Teach Learn Med*. 2014;26(1):9-16. DOI: 10.1080/10401334.2014.859932
34. DeMaria Jr S, Bryson EO, Mooney TJ, Silverstein JH, Reich DL, Bodian C, Levine AI. Adding emotional stressors to training in simulated cardiopulmonary arrest enhances participant performance. *Med Educ*. 2010;44(10):1006-1015. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2010.03775.x
35. Harvey A, Bandiera G, Nathens AB, LeBlanc VR. Impact of stress on resident performance in simulated trauma scenarios. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012;72(2):497-503. DOI: 10.1097/ta.0b013e31821f84be
36. Harvey A, Nathens AB, Bandiera G, LeBlanc VR. Threat and challenge: cognitive appraisal and stress responses in simulated trauma resuscitations. *Med Educ*. 2010;44(6):587-594. DOI: 10.1111/j.1365-2923.2010.03634.x
37. Tramèr L, Becker C, Hochstrasser S, Marsch S, Hunziker S. Association of electrocardiogram alterations of rescuers and performance during a simulated cardiac arrest: A prospective simulation study. *PLoS One*. 2018;13(6):e0198661. DOI: 10.1371/journal.pone.0198661
38. Dias RD, Scalabrini Neto A. Acute stress in residents during emergency care: a study of personal and situational factors. *Stress*. 2017;20(3):241-248. DOI: 10.1080/10253890.2017.1325866
39. Valentin B, Grottko O, Skorning M, Bergrath S, Fischermann H, Rörtgen D, Mennig MT, Fitzner C, Müller MP, Kirschbaum C, Rossaint R, Beckers SK. Cortisol and alpha-amylase as stress response indicators during pre-hospital emergency medicine training with repetitive high-fidelity simulation and scenarios with standardized patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2015;23(1):31. DOI: 10.1186/s13049-015-0110-6
40. Peng HT, Tenn C, Vartanian O, Rhind SG, Jarmasz J, Tien H, Beckett A; LT-SIM study group. Biological Response to Stress During Battlefield Trauma Training: Live Tissue Versus High-Fidelity Patient Simulator. *Mil Med*. 2018;183(9-10):e349-e356. DOI: 10.1093/milmed/usx236
41. Chatterton RT, Vogelsong KM, Lu Y, Ellman AB, Hudgens GA. Salivary  $\alpha$ -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity. *Clin Physiol*. 1996;16(4):433-448. DOI: 10.1111/j.1475-097x.1996.tb00731.x
42. Nater UM, Rohleder N. Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system: Current state of research. *Psychoneuroendocrinology*. 2009;34(4):486-496. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2009.01.014
43. Yerkes RM, Dodson JD. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J Comp Neurol Psychol*. 1908;18(5):459-482. DOI: 10.1002/cne.920180503

**Korrespondenzadresse:**

Niklas Leschowski  
Asklepios Klinik Wandsbek, Zentrum für Klinische Notfall-  
und Akutmedizin, Alphonsstraße 14, 22043 Hamburg,  
Deutschland, Tel.: +49(0)175/6850260  
niklas.leschowski@t-online.de

*Artikel online frei zugänglich unter*  
<https://doi.org/10.3205/zma001784>

*Eingereicht:* 10.11.2024  
*Überarbeitet:* 22.06.2025  
*Angenommen:* 28.07.2025  
*Veröffentlicht:* 17.11.2025

**Bitte zitieren als**

Leschowski N, Brinkema H, Darius S, Wolter J, Böckelmann I, Borucki K, Sauer D, Braun-Dullaeus RC. Development and evaluation of the SimArena Magdeburg (SAM): A randomized controlled trial of the impact of a low-cost 180° simulation arena for emergency medical simulation training on stress perception and the associated resuscitation quality in medical students. *GMS J Med Educ.* 2025;42(5):Doc60.  
DOI: 10.3205/zma001784, URN: urn:nbn:de:0183-zma0017840

**Copyright**

©2025 Leschowski et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.